

PROBLEM SOLVING TEKNIK TERAPAN

IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISIS LAPANGAN

MENUJU SOLUSI TEKNIK

Agri Americo Agamuddin, S.Pd., M.Pd.T.,
Firdaus, S.Pd. M.Pd.T., | Elsa Sabrina, S.Pd. M.Pd.T.

Buku Problem Solving Teknik Terapan Identifikasi Masalah dan Analisis Lapangan Menuju Solusi Teknik membahas konsep, prinsip, dan penerapan pemecahan masalah dalam berbagai bidang keteknikan dengan pendekatan yang sistematis dan berbasis kondisi nyata di lapangan. Materi disusun mulai dari pemahaman dasar problem solving, identifikasi dan perumusan masalah, pengumpulan data teknis, analisis akar masalah, pemanfaatan teknologi digital, hingga pengembangan solusi inovatif yang efektif, efisien, dan sesuai standar profesi.

Disajikan dengan bahasa yang mudah dipahami, dilengkapi tabel, gambar, ilustrasi, dan contoh penerapan, buku ini dirancang untuk membantu mahasiswa, dosen, guru vokasi, praktisi, serta tenaga profesional dalam mengembangkan kemampuan berpikir analitis, mengambil keputusan berbasis data, dan menyelesaikan berbagai permasalahan teknik secara tepat. Buku ini diharapkan menjadi referensi yang mendukung peningkatan kompetensi lulusan pendidikan vokasi dan kesiapan menghadapi tantangan dunia kerja serta perkembangan teknologi di era industri modern.

UNP PRESS
Penerbitan & Percetakan

PROBLEM SOLVING TEKNIK TERAPAN

Agri Americo Agamuddin, S.Pd., M.Pd.T.,
Firdaus, S.Pd. M.Pd.T., | Elsa Sabrina, S.Pd. M.Pd.T.

PROBLEM SOLVING

TEKNIK TERAPAN

IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISIS LAPANGAN

MENUJU SOLUSI TEKNIK



Penerbitan & Percetakan
UNP PRESS

Agri Americo Agamuddin, S.Pd., M.Pd.T.,
Firdaus, S.Pd. M.Pd.T.,
Elsa Sabrina, S.Pd. M.Pd.T.



PENERBITAN & PERCETAKAN UNP PRESS
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang
Sumatera Barat



DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

**PROBLEM SOLVING TEKNIK TERAPAN
IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISIS LAPANGAN
MENUJU SOLUSI TEKNIK**

**Agri Americo Agamuddin, S.Pd., M.Pd.T., Firdaus, S.Pd. M.Pd.T.,
Elsa Sabrina, S.Pd. M.Pd.T.**

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

DUMMY

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NO 19 TAHUN 2002
TENTANG HAK CIPTA
PASAL 72
KETENTUAN PIDANA SANGSI PELANGGARAN

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu Ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulan dan denda paling sedikit Rp 1.000.000, 00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan denda paling banyak Rp 5.000.000.000, 00 (lima milyar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyerahkan, menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan denda paling banyak Rp 500.000.000, 00 (lima ratus juta rupiah).

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

**PROBLEM SOLVING TEKNIK TERAPAN
IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISIS LAPANGAN
MENUJU SOLUSI TEKNIK**

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

**Agri Americo Agamuddin, S.Pd., M.Pd.T., Firdaus, S.Pd. M.Pd.T.,
Elsa Sabrina, S.Pd. M.Pd.T.**

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS



2026

**PROBLEM SOLVING TEKNIK TERAPAN
IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISIS LAPANGAN
MENUJU SOLUSI TEKNIK**

editor, Tim editor UNP Press

Penerbit UNP Press, Padang, 2020

1 (satu) jilid; 17.6 x 25 cm (B5)

Jumlah Halaman xiv 423 Halaman Buku



ISBN :



Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis
Hak penerbitan pada UNP Press

Penyusun: Agri Americo Agamuddin, S.Pd., M.Pd.T., Firdaus, S.Pd.
M.Pd.T., Elsa Sabrina, S.Pd. M.Pd.T.

Editor Substansi: TIM UNP Press

Editor Bahasa: Prof. Dr. Harris Effendi Thahar, M.Pd.

Desain Sampul & Layout: TIM UNP Press

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Swt. atas segala rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga buku yang berjudul *Problem Solving* Teknik Terapan Identifikasi Masalah dan Analisis Lapangan Menuju Solusi Teknik ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini disusun sebagai salah satu bentuk kontribusi dalam mendukung pengembangan pembelajaran pendidikan vokasi, khususnya pada bidang keteknikan yang menekankan penguasaan kompetensi praktis, kemampuan analitis, serta keterampilan menyelesaikan permasalahan nyata di dunia kerja.

Perkembangan teknologi, digitalisasi industri, serta semakin kompleksnya tantangan di dunia kerja menuntut lulusan pendidikan vokasi tidak hanya menguasai teori dan prosedur teknis, tetapi juga memiliki kemampuan berpikir kritis, analitis, sistematis, dan adaptif dalam menghadapi berbagai persoalan yang muncul di lapangan. Kemampuan *problem solving* telah menjadi salah satu kompetensi utama yang dibutuhkan oleh berbagai sektor industri karena menjadi dasar dalam proses pengambilan keputusan, peningkatan mutu, efisiensi kerja, keselamatan, serta pengembangan inovasi.

Buku ini disusun dengan pendekatan yang mengintegrasikan konsep teoritis dan praktik lapangan sehingga dapat menjadi panduan bagi mahasiswa, dosen, guru, instruktur, praktisi, maupun tenaga profesional dalam memahami proses pemecahan masalah teknik secara sistematis. Pembahasan dimulai dari orientasi *problem solving* dalam pendidikan vokasi, karakteristik permasalahan lapangan, teknik perumusan masalah, pengumpulan data dan bukti teknis, analisis akar masalah, pemanfaatan teknologi digital, hingga pengembangan solusi inovatif yang dapat diterapkan pada berbagai bidang keteknikan.

Setiap bab dirancang secara bertahap dengan dilengkapi ilustrasi, tabel, gambar, contoh penerapan, serta pembahasan yang kontekstual agar memudahkan pembaca dalam memahami hubungan antara teori dan praktik. Dengan pendekatan tersebut, buku ini diharapkan tidak hanya menjadi sumber belajar, tetapi juga menjadi referensi dalam membangun budaya kerja yang berbasis data, berpikir sistem, pengambilan keputusan yang objektif, serta perbaikan berkelanjutan di lingkungan pendidikan maupun industri.

Penyusunan buku ini tidak terlepas dari berbagai referensi ilmiah, standar kompetensi internasional, pengalaman praktis di bidang pendidikan vokasi, serta berbagai masukan dari rekan sejawat. Oleh karena itu, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, sehingga buku ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa buku ini masih memiliki keterbatasan dan masih dapat terus disempurnakan seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, teknologi, serta kebutuhan dunia kerja. Oleh karena itu, kritik, saran, dan masukan yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan edisi-edisi berikutnya.

Akhirnya, penulis berharap semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, pendidik, praktisi, peneliti, serta seluruh pembaca dalam meningkatkan kemampuan *problem solving* teknik terapan dan berkontribusi terhadap peningkatan kualitas sumber daya manusia di bidang keteknikan.

Padang, Juli 2026

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VII
DAFTAR GAMBAR	X
DAFTAR TABEL	XII
BAB 1. ORIENTASI <i>PROBLEM SOLVING</i> TEKNIK TERAPAN	1
A. PERAN <i>PROBLEM SOLVING</i> DALAM PENDIDIKAN VOKASI KETEKNIKAN.....	7
B. PERBEDAAN MASALAH AKADEMIK DAN MASALAH LAPANGAN.....	15
C. KOMPETENSI TEKNIS, ANALITIS, DAN PRAKTIS DALAM PEMECAHAN MASALAH.....	23
D. CARA BERPIKIR SISTEM DALAM PEKERJAAN TEKNIK	31
E. TANGGUNG JAWAB TEKNISI, <i>SUPERVISOR</i> , DAN PRAKTISI TEKNIK.....	39
BAB 2. KARAKTER TANTANGAN LAPANGAN DALAM DUNIA TEKNIK	49
A. KONDISI NYATA PEKERJAAN DI BENGKEL, LABORATORIUM, STUDIO, DAN LAPANGAN.....	55
B. KESENJANGAN ANTARA PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN	65
C. FAKTOR MANUSIA, ALAT, BAHAN, METODE, DAN LINGKUNGAN KERJA.....	74
D. GEJALA MASALAH PADA MUTU, WAKTU, BIAYA, KESELAMATAN, DAN PRODUKTIVITAS	83
E. TANTANGAN TEKNIK PADA ERA OTOMASI DAN DIGITALISASI INDUSTRI.....	92
F. PENYUSUNAN AGENDA OBSERVASI LAPANGAN	102

BAB 3.	PERUMUSAN MASALAH TEKNIK SECARA SISTEMATIS	112
	A. MENGUBAH KELUHAN LAPANGAN MENJADI PERNYATAAN MASALAH	116
	B. MENENTUKAN BATAS MASALAH DAN RUANG LINGKUP PEKERJAAN	122
	C. MENYUSUN ASUMSI TEKNIS YANG DAPAT DIUJI.....	129
	D. MERUMUSKAN KEBUTUHAN PENGGUNA DAN KRITERIA KINERJA	134
	E. MENENTUKAN PRIORITAS MASALAH BERDASARKAN DAMPAK.....	139
	F. MENYUSUN DOKUMEN RINGKAS PERUMUSAN MASALAH	143
BAB 4.	PENGUMPULAN DATA LAPANGAN DAN BUKTI TEKNIS	149
	A. JENIS DATA DALAM PEKERJAAN TEKNIK TERAPAN	152
	B. PERENCANAAN PENGUKURAN DAN INSPEKSI LAPANGAN	159
	C. PEMILIHAN ALAT UKUR DAN PRINSIP KALIBRASI.....	165
	D. TEKNIK SAMPLING DAN KECUKUPAN DATA	172
	E. DOKUMENTASI FOTO, VIDEO, FORMULIR, DAN LOG DIGITAL	178
	F. VALIDITAS, RELIABILITAS, DAN ETIKA PENGGUNAAN DATA LAPANGAN.....	185
BAB 5.	ANALISIS AKAR MASALAH DALAM KASUS KETEKNIKAN	192
	A. MEMBEDAKAN GEJALA, PENYEBAB SEMENTARA, DAN AKAR MASALAH	194
	B. ANALISIS POLA DARI DATA HASIL PENGAMATAN	205
	C. DIAGRAM SEBAB AKIBAT UNTUK KASUS TEKNIK.....	216
	D. METODE LIMA MENGAPA DALAM ANALISIS LAPANGAN.....	226

E. ANALISIS PARETO UNTUK MENENTUKAN PENYEBAB DOMINAN	235
F. VERIFIKASI AKAR MASALAH MELALUI BUKTI TEKNIS..	244
BAB 6. PEMANFAATAN TEKNOLOGI DIGITAL UNTUK PROBLEM SOLVING TEKNIK.....	256
A. PENGGUNAAN <i>SPREADSHEET</i> UNTUK PEMODELAN SEDERHANA	264
B. PEMANFAATAN CAD DAN BIM DALAM ANALISIS VISUAL	276
C. SENSOR DAN <i>INTERNET OF THINGS</i> UNTUK PEMANTAUAN KONDISI.....	287
D. SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK DATA BERBASIS LOKASI.....	297
E. KECERDASAN BUATAN SEBAGAI ALAT BANTU DIAGNOSIS AWAL.....	307
F. <i>DASHBOARD</i> DATA UNTUK MENYAJIKAN TEMUAN TEKNIS	319
BAB 7. PENGEMBANGAN IDE SOLUSI INOVATIF	332
A. PRINSIP BERPIKIR KREATIF DALAM KONTEKS TEKNIK ..	339
B. <i>DESIGN THINKING</i> UNTUK MASALAH KETEKNIKAN TERAPAN.....	348
C. <i>BRAINSTORMING</i> TEKNIS DAN MATRIKS MORFOLOGI	357
D. <i>BENCHMARKING</i> TERHADAP PRAKTIK INDUSTRI.....	363
E. PENYUSUNAN ALTERNATIF SOLUSI YANG HEMAT SUMBER DAYA	368
F. PEMBUATAN SKETSA KONSEP DAN PORTOFOLIO SOLUSI	374
DAFTAR PUSTAKA	380
GLOSARIUM	389
INDEKS	401
TENTANG PENULIS	421

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Alur <i>Problem Solving</i> Teknik Terapan dari Tantangan Lapangan menuju Solusi Inovatif	5
Gambar 2. Hubungan <i>Problem Solving</i> dengan Kompetensi Lulusan Vokasi Keteknikan	14
Gambar 3. Peralihan dari Masalah Akademik menuju Masalah Lapangan	20
Gambar 4. Integrasi Kompetensi dalam Pemecahan Masalah Teknik Terapan.....	28
Gambar 5. Pola Berpikir Sistem dalam Analisis Masalah Teknik....	36
Gambar 6. Rantai Tanggung Jawab dalam <i>Problem Solving</i> Teknik Terapan.....	45
Gambar 7. Hubungan Kondisi Lapangan, Gejala Masalah, dan Keputusan Teknis.....	53
Gambar 8. Hubungan Lingkungan Kerja Teknik dan Kompetensi Dominan	61
Gambar 9. Alur Pengelolaan Dokumentasi Lapangan sebagai Bukti Teknis.....	184
Gambar 10. Hubungan Validitas, Reliabilitas, dan Etika dalam Penggunaan Data Lapangan	191
Gambar 11. Hubungan Gejala, Penyebab Sementara, dan Akar Masalah	198
Gambar 12. Alur Analisis Pola dari Data Hasil Pengamatan	214
Gambar 13. Contoh Diagram Sebab Akibat untuk Kasus Panel Listrik Sering Trip.....	221
Gambar 14. Alur Metode Lima Mengapa dalam Analisis Lapangan	230
Gambar 15. Alur Verifikasi Akar Masalah Melalui Bukti Teknis	249
Gambar 16. Alur Pemanfaatan Teknologi Digital dalam <i>Problem Solving</i> Teknik.....	261

Gambar 17. Contoh Pengelolaan Data <i>Problem Solving</i> Teknik Menggunakan <i>Spreadsheet</i> Digital	264
Gambar 18. Struktur Pemodelan Sederhana Menggunakan <i>Spreadsheet</i>	268
Gambar 19. Contoh Pemanfaatan CAD dan BIM dalam Analisis Visual	276
Gambar 20. Contoh Pemanfaatan Sensor dalam <i>Internet of Things</i> (IoT)	287
Gambar 21. Contoh Visualisasi Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk Pemetaan Titik Kerusakan, Genangan, Inspeksi, dan Sebaran Data Sensor.....	297
Gambar 22. Contoh <i>Dashboard Artificial Intelligence</i> (AI) untuk Analisis Gejala, Deteksi Anomali Sensor, dan <i>Monitoring</i> Gangguan Mesin	307
Gambar 23. Contoh <i>Dashboard</i> Data untuk Menyajikan Temuan Teknis dalam <i>Problem Solving</i> Teknik	320



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kedudukan <i>Problem Solving</i> dalam Pendidikan Vokasi Keteknikan	3
Tabel 2. Peran <i>Problem Solving</i> dalam Pendidikan Vokasi Keteknikan	10
Tabel 3. Perbedaan Masalah Akademik dan Masalah Lapangan dalam Pendidikan Vokasi Keteknikan.....	18
Tabel 4. Kompetensi Teknis, Analitis, dan Praktis dalam Pemecahan Masalah Teknik Terapan.....	25
Tabel 5. Unsur Berpikir Sistem dalam Pekerjaan Teknik.....	33
Tabel 6. Tanggung Jawab Teknisi, <i>Supervisor</i> , dan Praktisi Teknik dalam <i>Problem Solving</i> Teknik Terapan.....	42
Tabel 7. Karakter Utama Tantangan Lapangan dalam Dunia Teknik.....	51
Tabel 8. Karakter Kondisi Nyata Pekerjaan di Bengkel, Laboratorium, Studio, dan Lapangan.....	59
Tabel 9. Bentuk Kesenjangan Antara Perencanaan dan Pelaksanaan dalam Pekerjaan Teknik.....	69
Tabel 10. Faktor Manusia, Alat, Bahan, Metode, dan Lingkungan Kerja dalam Analisis Masalah Teknik	77
Tabel 11. Gejala Masalah pada Mutu, Waktu, Biaya, Keselamatan, dan Produktivitas	87
Tabel 12. Tantangan Teknik pada Era Otomasi dan Digitalisasi Industri	97
Tabel 13. Format Agenda Observasi Lapangan untuk <i>Problem Solving</i> Teknik Terapan	108
Tabel 14. Perbedaan Keluhan, Gejala, Masalah Awal, dan Rumusan Masalah Teknik.....	115
Tabel 15. Contoh Perubahan Keluhan Lapangan Menjadi Pernyataan Masalah Teknik.....	119

Tabel 16. Dimensi Batas Masalah dan Ruang Lingkup Pekerjaan	125
Tabel 17. Contoh Asumsi Teknis yang dapat Diuji dalam Kasus Keteknikan	131
Tabel 18. Hubungan Kebutuhan Pengguna dan Kriteria Kinerja	136
Tabel 19. Matriks Prioritas Masalah Berdasarkan Dampak dan Urgensi	141
Tabel 20. Format Dokumen Ringkas Perumusan Masalah Teknik....	146
Tabel 21. Hubungan Tahap <i>Problem Solving</i> dan Kebutuhan Data ..	151
Tabel 22. Jenis Data dalam Pekerjaan Teknik Terapan	155
Tabel 23. Format Perencanaan Pengukuran dan Inspeksi Lapangan .	162
Tabel 24. Kriteria Pemilihan Alat Ukur dalam Pekerjaan Teknik Terapan.....	168
Tabel 25. Teknik <i>Sampling</i> dalam Pekerjaan Teknik Terapan	174
Tabel 26. Fungsi Dokumentasi Foto, Video, Formulir, dan Log Digital dalam Pekerjaan Teknik Terapan.....	181
Tabel 27. Validitas, Reliabilitas, dan Etika Penggunaan Data Lapangan	188
Tabel 28. Perbedaan Gejala, Penyebab Sementara, dan Akar Masalah dalam Kasus Keteknikan.....	197
Tabel 29. Jenis Pola Data Hasil Pengamatan dalam Analisis Akar Masalah	208
Tabel 30. Kategori Penyebab dalam Diagram Sebab Akibat untuk Kasus Teknik.....	220
Tabel 31. Contoh Penerapan Metode Lima Mengapa dalam Kasus Teknik Terapan	229
Tabel 32. Contoh Analisis Pareto Penyebab Keterlambatan Pekerjaan Lapangan	238
Tabel 33. Format Verifikasi Akar Masalah Melalui Bukti Teknis	248
Tabel 34. Pemanfaatan Teknologi Digital dalam Tahap <i>Problem Solving</i> Teknik Terapan	259

Tabel 35. Struktur <i>Spreadsheet</i> untuk Pemodelan Sederhana dalam <i>Problem Solving Teknik</i>	267
Tabel 36. Pemanfaatan CAD dan BIM dalam Analisis Visual <i>Problem Solving Teknik</i>	280
Tabel 37. Pemanfaatan Sensor dan IoT untuk Pemantauan Kondisi dalam <i>Problem Solving Teknik</i>	290
Tabel 38. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam <i>Problem Solving Teknik Terapan</i>	300
Tabel 39. Pemanfaatan Kecerdasan Buatan Sebagai Alat Bantu Diagnosis Awal dalam <i>Problem Solving Teknik</i>	311
Tabel 40. Komponen <i>Dashboard</i> Data untuk Menyajikan Temuan Teknis	323
Tabel 41. Hubungan Analisis Masalah dan Pengembangan Ide Solusi Inovatif	335
Tabel 42. Prinsip Berpikir Kreatif dalam Konteks Teknik	342
Tabel 43. Tahapan <i>Design Thinking</i> dalam Masalah Keteknikan Terapan.....	353
Tabel 44. Contoh <i>Brainstorming</i> Teknis dan Matriks Morfologi untuk Kasus Genangan Drainase	360

BAB 1

ORIENTASI *PROBLEM SOLVING* TEKNIK TERAPAN

Pendidikan vokasi keteknikan memiliki hubungan langsung dengan dunia kerja, dunia industri, dan kebutuhan masyarakat. Orientasi utamanya bukan hanya penguasaan teori, tetapi juga kemampuan menerapkan pengetahuan teknis untuk menyelesaikan masalah nyata. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu mampu membaca situasi lapangan, mengenali gejala masalah, mengumpulkan bukti teknis, menganalisis penyebab, memilih solusi, menguji hasil, dan menyusun rekomendasi kerja yang dapat diterapkan.

Problem solving teknik terapan menjadi kompetensi inti dalam proses tersebut. Dalam konteks keteknikan, *problem solving* tidak cukup dipahami sebagai kemampuan menjawab soal hitungan. *Problem solving* mencakup proses berpikir sistematis, berbasis data, terukur, dan bertanggung jawab. Seorang lulusan vokasi keteknikan perlu mampu menghadapi masalah pada pekerjaan konstruksi, produksi, instalasi, perawatan, pengujian, pengawasan mutu, keselamatan kerja, dan penggunaan teknologi digital.

Kebutuhan terhadap kemampuan ini semakin penting karena dunia kerja teknik mengalami perubahan cepat. UNESCO menegaskan bahwa Technical and Vocational Education and Training atau TVET perlu mendukung transisi menuju ekonomi digital, hijau, dan inklusif (UNESCO, 2022). Laporan World Bank, UNESCO, dan ILO juga menunjukkan bahwa sistem TVET perlu lebih responsif terhadap perubahan teknologi, kebutuhan pasar kerja, demografi, dan tantangan iklim (World Bank, UNESCO, & ILO, 2023). Artinya, pendidikan vokasi keteknikan perlu membekali mahasiswa dengan kemampuan teknis yang relevan sekaligus kemampuan adaptif untuk menyelesaikan masalah yang belum selalu memiliki prosedur baku.

Dalam standar pendidikan teknologi rekayasa, kemampuan menyelesaikan masalah teknik juga menjadi bagian penting dari capaian pembelajaran. ABET menyebutkan bahwa lulusan program engineering technology perlu mampu menerapkan pengetahuan, teknik,

keterampilan, dan peralatan modern untuk menyelesaikan masalah teknik sesuai bidangnya (ABET, 2025). Pernyataan ini memperlihatkan bahwa kompetensi *problem solving* berada di pusat pendidikan keteknikan terapan. Kemampuan tersebut tidak berdiri sendiri. Kemampuan itu harus terhubung dengan penguasaan alat, metode kerja, komunikasi teknis, pengujian, analisis data, kerja tim, dan etika profesi.

Bab ini menjadi dasar untuk memahami mengapa *problem solving* teknik terapan penting dalam pendidikan vokasi keteknikan. Pembahasan diarahkan pada pemahaman awal mengenai peran *problem solving*, karakter masalah lapangan, cara berpikir teknis, serta keterkaitan antara kompetensi mahasiswa dan kebutuhan dunia kerja. Dengan memahami orientasi ini, pembaca dapat melihat bahwa *problem solving* bukan tahap akhir setelah teori dipelajari, tetapi bagian utama dari proses belajar, praktik, dan pengembangan profesional.

Problem solving teknik terapan juga perlu dibedakan dari pemecahan masalah yang bersifat umum. Masalah teknik biasanya memiliki batasan nyata. Batasan tersebut meliputi waktu, biaya, mutu, standar, keselamatan, lingkungan, ketersediaan alat, kemampuan tenaga kerja, dan kondisi lapangan. Karena itu, solusi teknik tidak hanya dinilai dari aspek benar atau salah. Solusi teknik harus layak diterapkan, aman digunakan, efisien, dapat diuji, dan memberi manfaat bagi pengguna.

Dalam praktik lapangan, masalah sering muncul dalam bentuk gejala. Contohnya adalah retak pada elemen bangunan, getaran berlebih pada mesin, panas berlebih pada panel listrik, keterlambatan pekerjaan, rendahnya mutu produk, kegagalan alat ukur, atau rendahnya produktivitas kerja. Gejala tersebut belum tentu menunjukkan akar masalah. Praktisi teknik perlu menelusuri penyebab dengan data, bukan hanya dugaan. Di sinilah *problem solving* teknik terapan berperan sebagai pendekatan kerja yang membantu mahasiswa dan praktisi mengambil keputusan secara rasional.

Pemecahan masalah teknik juga menuntut kemampuan reflektif. Dewey (1933) menekankan pentingnya berpikir reflektif dalam menghadapi situasi yang meragukan atau bermasalah. Polya (1973) merumuskan pemecahan masalah melalui tahapan memahami masalah, menyusun rencana, melaksanakan rencana, dan memeriksa kembali

hasil. Dalam konteks pendidikan teknik modern, Jonassen (2011) menjelaskan bahwa masalah dunia nyata sering bersifat kompleks, kontekstual, dan tidak selalu memiliki satu jawaban benar. Ketiga pandangan tersebut relevan untuk pendidikan vokasi karena mahasiswa tidak hanya perlu menyelesaikan latihan terstruktur, tetapi juga kasus nyata yang membutuhkan observasi, pertimbangan teknis, dan validasi hasil.

Bab ini menggunakan pendekatan terapan. Pembaca diajak memahami *problem solving* sebagai proses kerja yang dapat dilatih melalui pengalaman, studi kasus, proyek, simulasi, praktikum, dan kegiatan lapangan. Pembelajaran tidak hanya berfokus pada hasil akhir, tetapi juga pada proses berpikir dan bukti yang mendukung keputusan. Oleh karena itu, mahasiswa perlu belajar menyusun pernyataan masalah, memilih data yang tepat, menggunakan alat analisis, merancang alternatif solusi, dan menyampaikan rekomendasi secara tertulis maupun lisan.

Tabel 1 menyajikan kedudukan *problem solving* dalam pendidikan vokasi keteknikan. Tabel ini memperlihatkan bahwa *problem solving* tidak hanya berkaitan dengan kemampuan berpikir, tetapi juga dengan keterampilan praktik, pengambilan keputusan, komunikasi, dan tanggung jawab profesional.

Tabel 1. Kedudukan *Problem Solving* dalam Pendidikan Vokasi Keteknikan

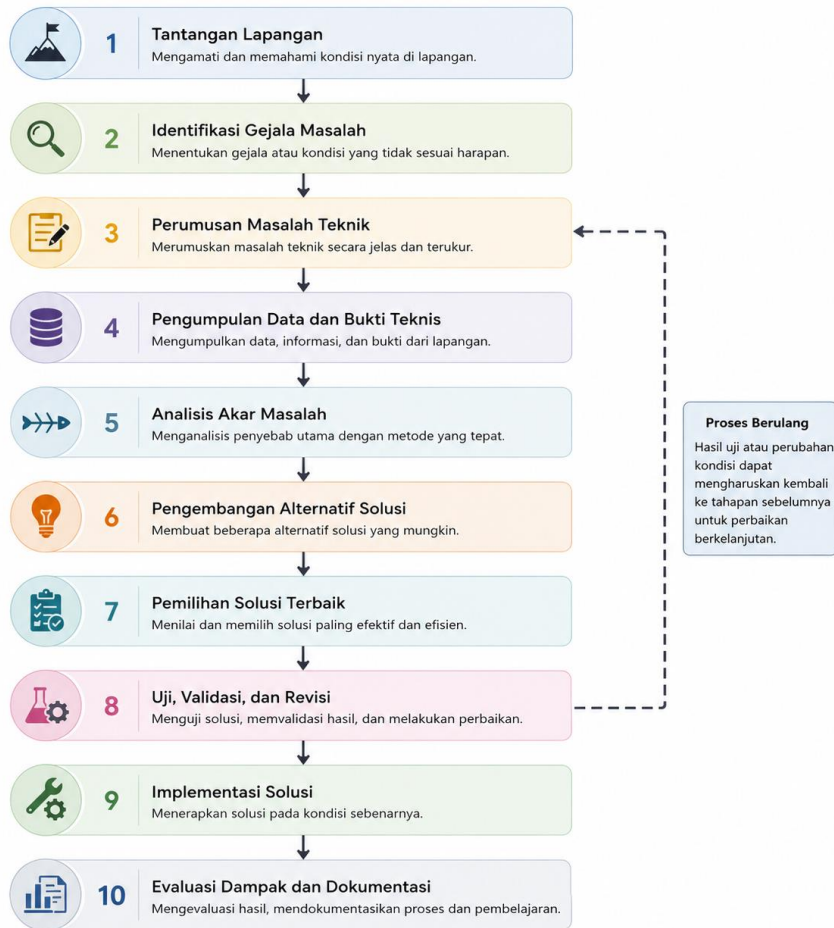
Aspek Pembelajaran	Orientasi Utama	Bentuk Penerapan dalam Vokasi Keteknikan
Pengetahuan teknis	Memahami prinsip, konsep, standar, dan prosedur kerja	Menggunakan teori dasar untuk membaca kondisi teknis di lapangan
Keterampilan praktik	Mengoperasikan alat, melakukan pengukuran, dan menjalankan prosedur	Melakukan inspeksi, pengujian, perawatan, dan perbaikan sesuai SOP
Analisis data	Mengolah bukti teknis untuk menemukan pola masalah	Membandingkan hasil ukur dengan standar, spesifikasi, atau kriteria mutu

Aspek Pembelajaran	Orientasi Utama	Bentuk Penerapan dalam Vokasi Keteknikan
Pengambilan keputusan	Memilih solusi berdasarkan kriteria teknis dan kondisi nyata	Menentukan metode kerja, material, alat, jadwal, dan tindakan korektif
Komunikasi teknis	Menyampaikan masalah, data, analisis, dan rekomendasi secara jelas	Menulis laporan, membuat gambar, menyusun formulir, dan melakukan presentasi teknis
Etika dan tanggung jawab	Menjamin solusi aman, layak, dan tidak merugikan pengguna	Mempertimbangkan keselamatan, lingkungan, biaya, mutu, dan dampak sosial

Tabel 1 menunjukkan bahwa *problem solving* teknik terapan bersifat multidimensional. Mahasiswa tidak cukup hanya memahami teori. Mahasiswa perlu menghubungkan teori dengan alat, data, standar, prosedur, dan keputusan kerja. Keterampilan ini penting karena lulusan vokasi sering berada pada posisi operasional, teknis, pengawasan, atau pelaksanaan. Pada posisi tersebut, keputusan harian sering menentukan mutu pekerjaan, keselamatan, biaya, dan keberhasilan proyek.

Selain itu, *problem solving* perlu dilihat sebagai proses yang berulang. Solusi pertama tidak selalu menjadi solusi terbaik. Dalam pekerjaan teknik, hasil uji dapat menunjukkan bahwa rancangan perlu diperbaiki. Data lapangan dapat membuktikan bahwa asumsi awal kurang tepat. Kondisi proyek dapat berubah karena cuaca, ketersediaan material, kerusakan alat, atau perubahan kebutuhan pengguna. Karena itu, *problem solving* teknik terapan memerlukan sikap terbuka terhadap evaluasi dan perbaikan berkelanjutan.

Gambar 1 memperlihatkan alur umum *problem solving* teknik terapan yang digunakan sebagai kerangka berpikir dalam buku ini.



Gambar 1. Alur *Problem Solving* Teknik Terapan dari Tantangan Lapangan menuju Solusi Inovatif

Gambar 1 menjelaskan bahwa *problem solving* teknik terapan dimulai dari tantangan nyata di lapangan. Tantangan tersebut perlu diubah menjadi masalah teknik yang jelas. Setelah itu, data dikumpulkan untuk membuktikan kondisi yang sebenarnya. Analisis akar masalah dilakukan agar solusi tidak hanya mengatasi gejala. Alternatif solusi kemudian dikembangkan, dipilih, diuji, divalidasi, dan diterapkan. Tahap akhir berupa evaluasi dan dokumentasi agar pengalaman penyelesaian masalah dapat menjadi pengetahuan baru bagi mahasiswa, institusi, dan dunia kerja.

Alur tersebut sejalan dengan kebutuhan pendidikan vokasi yang menekankan keterampilan kerja, pembelajaran berbasis pengalaman, dan kesiapan menghadapi masalah nyata. Kolb (1984) menjelaskan bahwa pembelajaran efektif dapat terjadi melalui siklus pengalaman konkret, refleksi, konseptualisasi, dan eksperimen aktif. Dalam pendidikan vokasi keteknikan, siklus tersebut tampak dalam kegiatan praktikum, proyek lapangan, magang industri, studi kasus, dan tugas pemecahan masalah. Mahasiswa belajar bukan hanya dari instruksi dosen, tetapi juga dari pengamatan, kegagalan uji, koreksi prosedur, dan evaluasi hasil kerja.

Problem solving teknik terapan juga memiliki hubungan erat dengan inovasi. Inovasi dalam konteks vokasi tidak selalu berarti penemuan teknologi besar. Inovasi dapat berupa perbaikan metode kerja, penyederhanaan alat bantu, pengurangan pemborosan material, peningkatan keselamatan kerja, optimasi waktu pelaksanaan, digitalisasi formulir inspeksi, atau penggunaan sensor sederhana untuk memantau kondisi alat. Inovasi yang baik lahir dari pemahaman masalah yang tepat. Karena itu, kemampuan *problem solving* menjadi dasar penting bagi pengembangan solusi inovatif.

Dalam buku ini, istilah solusi inovatif dipahami sebagai solusi yang memenuhi empat kriteria. Pertama, solusi menjawab masalah yang benar. Kedua, solusi dapat diterapkan dengan sumber daya yang tersedia. Ketiga, solusi memberi nilai tambah terhadap mutu, waktu, biaya, keselamatan, produktivitas, atau keberlanjutan. Keempat, solusi dapat diuji dan dijelaskan secara teknis. Dengan kriteria tersebut, inovasi tidak berhenti sebagai gagasan, tetapi menjadi tindakan teknis yang dapat dipertanggungjawabkan.

Orientasi Bab 1 juga menekankan pentingnya integrasi lintas bidang keteknikan. Masalah lapangan jarang berdiri dalam satu disiplin saja. Kerusakan bangunan dapat berkaitan dengan material, pelaksanaan, drainase, beban, dan pemeliharaan. Gangguan produksi dapat berkaitan dengan mesin, listrik, manusia, tata letak, dan kontrol mutu. Masalah lingkungan dapat berkaitan dengan proses industri, sistem perpipaan, energi, dan perilaku operasional. Karena itu, mahasiswa vokasi perlu

memahami bahwa *problem solving* teknik terapan sering membutuhkan kerja lintas bidang.

Bab ini menjadi pintu masuk untuk membangun cara berpikir tersebut. Setelah membaca Bab 1, pembaca diharapkan mampu memahami posisi *problem solving* dalam pendidikan vokasi keteknikan, mengenali pentingnya kemampuan menyelesaikan masalah lapangan, dan melihat hubungan antara kompetensi teknis dengan kebutuhan industri modern. Pemahaman ini menjadi dasar untuk mempelajari bab-bab berikutnya, mulai dari karakter tantangan lapangan, perumusan masalah, pengumpulan data, analisis akar masalah, penggunaan teknologi digital, pengembangan solusi, hingga dokumentasi hasil.

Setelah mempelajari Bab 1, pembaca diharapkan mampu:

1. Menjelaskan makna *problem solving* teknik terapan dalam pendidikan vokasi keteknikan.
2. Menguraikan perbedaan antara masalah teoritis dan masalah lapangan.
3. Menjelaskan hubungan *problem solving* dengan kompetensi teknis, komunikasi, etika, dan tanggung jawab profesional.
4. Mengidentifikasi posisi *problem solving* dalam kesiapan kerja lulusan vokasi.
5. Menjelaskan alur umum *problem solving* dari tantangan lapangan menuju solusi inovatif.

Bab ini membahas orientasi dasar *problem solving* teknik terapan. Pembahasan diawali dengan peran *problem solving* dalam pendidikan vokasi keteknikan. Selanjutnya, bab ini menguraikan perbedaan masalah akademik dan masalah lapangan, kompetensi yang dibutuhkan dalam pemecahan masalah, cara berpikir sistem, tanggung jawab praktisi teknik, serta peta isi buku. Ruang lingkup ini disusun agar pembaca memiliki landasan konseptual sebelum mempelajari teknik analisis dan penerapan *problem solving* pada bab berikutnya.

A. Peran *Problem Solving* dalam Pendidikan Vokasi Keteknikan

Problem solving memiliki peran penting dalam pendidikan vokasi keteknikan karena pendidikan vokasi berorientasi pada kemampuan kerja nyata. Mahasiswa tidak hanya dituntut memahami konsep,

rumus, gambar, alat, dan prosedur. Mahasiswa juga perlu mampu menggunakan seluruh pengetahuan tersebut untuk menyelesaikan masalah teknis yang muncul di laboratorium, bengkel, studio, proyek, industri, dan lingkungan kerja. Dalam konteks ini, *problem solving* menjadi jembatan antara pengetahuan akademik dan tindakan teknis yang dapat diterapkan.

Pendidikan vokasi keteknikan memiliki karakter berbeda dari pendidikan yang hanya menekankan penguasaan teori. Pendidikan vokasi menempatkan praktik, keterampilan, prosedur kerja, keselamatan, mutu, dan kesiapan kerja sebagai bagian utama dari proses pembelajaran. Karena itu, *problem solving* dalam pendidikan vokasi harus bersifat terapan. Mahasiswa perlu belajar mengenali masalah, membaca kondisi lapangan, menentukan data yang diperlukan, menggunakan alat ukur, membandingkan hasil dengan standar, lalu menyusun solusi yang dapat dijalankan.

UNESCO (2022) menekankan bahwa pendidikan dan pelatihan teknik vokasi perlu mendukung transisi menuju ekonomi digital, hijau, dan inklusif. Pandangan ini menunjukkan bahwa lulusan vokasi tidak cukup hanya menguasai keterampilan rutin. Mereka perlu memiliki kemampuan adaptif agar dapat bekerja dalam kondisi yang berubah. Kemampuan adaptif tersebut sangat berkaitan dengan *problem solving* karena dunia kerja teknik selalu menghadirkan variasi masalah, keterbatasan sumber daya, serta kebutuhan peningkatan mutu.

Dalam pendidikan keteknikan terapan, *problem solving* juga menjadi bagian dari standar kompetensi lulusan. ABET (2025) menempatkan kemampuan menerapkan pengetahuan, teknik, keterampilan, dan alat modern untuk menyelesaikan masalah teknik sebagai unsur penting dalam pendidikan teknologi rekayasa. Hal ini memperkuat posisi *problem solving* sebagai kompetensi inti, bukan sekadar materi tambahan. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu dibiasakan untuk menyelesaikan masalah melalui tahapan yang jelas, dapat diuji, dan dapat dipertanggungjawabkan.

OECD (2024) juga menempatkan *adaptive problem solving* sebagai salah satu keterampilan penting bagi orang dewasa dalam

menghadapi perubahan dunia kerja. *Adaptive problem solving* berarti kemampuan menyesuaikan cara berpikir dan tindakan ketika menghadapi kondisi baru, informasi yang belum lengkap, atau masalah yang tidak memiliki prosedur tunggal. Keterampilan ini sangat relevan bagi mahasiswa vokasi keteknikan karena masalah lapangan sering muncul dalam situasi yang tidak sepenuhnya ideal.

Dalam pekerjaan teknik, masalah tidak selalu hadir dalam bentuk yang jelas. Masalah sering muncul sebagai gejala. Misalnya, beton mengalami retak, mesin menghasilkan getaran, motor listrik cepat panas, saluran drainase tidak berfungsi, panel listrik sering trip, hasil produksi tidak seragam, atau jadwal pekerjaan terlambat. Gejala tersebut perlu dibaca secara sistematis. Mahasiswa perlu memahami bahwa tindakan cepat belum tentu menjadi tindakan tepat. Solusi yang hanya mengatasi gejala dapat menimbulkan masalah baru jika akar penyebabnya belum ditemukan.

Peran *problem solving* dalam pendidikan vokasi keteknikan dapat dilihat dari empat fungsi utama. Pertama, *problem solving* membantu mahasiswa menghubungkan teori dengan praktik. Kedua, *problem solving* melatih mahasiswa mengambil keputusan berdasarkan data. Ketiga, *problem solving* membentuk kebiasaan kerja yang sistematis dan aman. Keempat, *problem solving* mendorong mahasiswa menghasilkan solusi inovatif yang sesuai dengan kebutuhan lapangan.

Fungsi pertama berkaitan dengan integrasi teori dan praktik. Teori teknik sering dipelajari dalam bentuk konsep, persamaan, gambar, spesifikasi, dan standar. Namun, dunia kerja menuntut mahasiswa untuk mengubah teori tersebut menjadi tindakan. Misalnya, konsep kuat tekan beton perlu diterapkan dalam pengujian benda uji, evaluasi mutu material, dan keputusan penerimaan pekerjaan. Konsep beban listrik perlu diterapkan dalam pemilihan kabel, proteksi, dan pengaturan panel. Konsep toleransi perlu diterapkan dalam pemeriksaan hasil produksi. Dalam semua contoh tersebut, *problem solving* membantu mahasiswa memahami bahwa teori memiliki fungsi praktis.

Fungsi kedua berkaitan dengan pengambilan keputusan berbasis data. Keputusan teknik tidak boleh hanya didasarkan pada kebiasaan,

dugaan, atau pengalaman pribadi tanpa bukti. Mahasiswa perlu dilatih menggunakan data hasil pengukuran, observasi, inspeksi, pengujian, dokumentasi visual, dan catatan pekerjaan. Data tersebut menjadi dasar untuk menentukan apakah suatu kondisi masih memenuhi standar, perlu diperbaiki, atau harus diganti. Dengan cara ini, *problem solving* membangun budaya kerja yang objektif dan terukur.

Fungsi ketiga berkaitan dengan pembentukan kebiasaan kerja sistematis. Pendidikan vokasi keteknikan perlu melatih mahasiswa mengikuti prosedur kerja, tetapi juga memahami alasan teknis di balik prosedur tersebut. *Problem solving* membantu mahasiswa menyusun langkah kerja, menentukan prioritas, mengendalikan risiko, dan mengevaluasi hasil. Kebiasaan ini penting karena pekerjaan teknik sering melibatkan alat, energi, struktur, mesin, sistem listrik, bahan kimia, atau lingkungan kerja yang memiliki potensi bahaya.

Fungsi keempat berkaitan dengan inovasi terapan. Inovasi dalam pendidikan vokasi tidak harus selalu berupa teknologi baru berskala besar. Inovasi dapat muncul dalam bentuk alat bantu sederhana, metode kerja yang lebih efisien, perbaikan prosedur inspeksi, digitalisasi formulir, penggunaan sensor murah, perubahan tata letak kerja, atau pengurangan limbah material. *Problem solving* menjadi dasar inovasi karena solusi yang baik harus dimulai dari pemahaman masalah yang benar.

Tabel 2. Peran *Problem Solving* dalam Pendidikan Vokasi Keteknikan

Peran <i>Problem Solving</i>	Makna dalam Pembelajaran	Contoh Penerapan dalam Vokasi Keteknikan
Menghubungkan teori dan praktik	Mahasiswa menggunakan konsep teknik untuk membaca dan menyelesaikan masalah nyata	Menggunakan teori kuat tekan beton untuk mengevaluasi mutu pekerjaan struktur
Melatih pengambilan keputusan berbasis data	Mahasiswa menentukan tindakan berdasarkan hasil ukur, pengujian, dan standar teknis	Menentukan penyebab panel listrik sering trip berdasarkan data arus dan beban
Membentuk pola kerja sistematis	Mahasiswa mengikuti tahapan identifikasi, analisis, solusi, uji, dan evaluasi	Menyusun prosedur <i>troubleshooting</i> mesin yang mengalami getaran berlebih

Peran <i>Problem Solving</i>	Makna dalam Pembelajaran	Contoh Penerapan dalam Vokasi Keteknikan
Meningkatkan kesiapan kerja	Mahasiswa terbiasa menghadapi masalah yang mirip dengan kondisi industri	Menganalisis keterlambatan pekerjaan berdasarkan tenaga kerja, alat, material, dan metode
Mendorong inovasi terapan	Mahasiswa menghasilkan solusi sederhana, efisien, dan dapat diterapkan	Membuat alat bantu inspeksi, formulir digital, atau sistem <i>monitoring</i> sederhana
Menguatkan tanggung jawab profesional	Mahasiswa mempertimbangkan keselamatan, mutu, biaya, dan dampak lingkungan	Memilih metode perbaikan yang aman, ekonomis, dan sesuai standar kerja

Tabel 2 menunjukkan bahwa *problem solving* tidak berdiri sebagai satu mata kuliah yang terpisah dari pembelajaran teknik. *Problem solving* justru melekat pada seluruh kegiatan pembelajaran vokasi. Dalam praktikum, mahasiswa memecahkan masalah penggunaan alat dan interpretasi hasil uji. Dalam proyek, mahasiswa memecahkan masalah perencanaan, biaya, waktu, mutu, dan koordinasi. Dalam magang industri, mahasiswa menghadapi masalah operasional yang membutuhkan keputusan cepat tetapi tetap harus berbasis prosedur dan bukti.

Problem solving juga mendukung pembelajaran berbasis proyek. Dalam pembelajaran berbasis proyek, mahasiswa bekerja dengan masalah yang lebih dekat dengan kondisi nyata. Mereka perlu menyusun tujuan, mengelola sumber daya, membagi peran, mengumpulkan data, membuat rancangan solusi, menguji hasil, dan menyampaikan laporan. Proses ini membantu mahasiswa mengembangkan kemampuan teknis sekaligus kemampuan komunikasi, kolaborasi, manajemen waktu, dan tanggung jawab kerja.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, *problem solving* perlu dilatih melalui kasus yang kontekstual. Kasus kontekstual adalah kasus yang berasal dari kondisi nyata atau disusun menyerupai kondisi nyata. Kasus semacam ini lebih efektif untuk membangun kesiapan kerja karena mahasiswa belajar menghadapi batasan yang biasa muncul di lapangan. Batasan tersebut dapat berupa keterbatasan

alat, waktu, biaya, data, tenaga kerja, kondisi cuaca, mutu material, atau perubahan kebutuhan pengguna.

World Economic Forum (2025) menunjukkan bahwa *analytical thinking* tetap menjadi keterampilan inti yang paling banyak dianggap penting oleh pemberi kerja. Temuan ini relevan dengan pendidikan vokasi keteknikan karena *analytical thinking* merupakan bagian penting dari *problem solving*. Mahasiswa tidak hanya perlu mengetahui cara menggunakan alat. Mereka juga perlu memahami mengapa masalah terjadi, bagaimana data dibaca, serta solusi mana yang paling layak diterapkan.

Peran *problem solving* juga terlihat dalam penguatan soft skills teknis. Soft skills teknis berbeda dari soft skills umum karena berkaitan langsung dengan pekerjaan teknik. Contohnya adalah kemampuan menyampaikan temuan inspeksi, memberi alasan teknis terhadap suatu keputusan, bekerja dalam tim proyek, membaca instruksi kerja, membuat laporan hasil uji, dan menjelaskan risiko pekerjaan. Mahasiswa yang mampu memecahkan masalah biasanya lebih siap menyampaikan pendapat teknis karena keputusan yang diambil memiliki dasar data.

Dalam praktik pembelajaran, *problem solving* dapat diterapkan melalui beberapa strategi. Strategi pertama adalah pemberian studi kasus dari dunia kerja. Strategi kedua adalah praktikum berbasis masalah, yaitu praktikum yang tidak hanya mengikuti instruksi langkah demi langkah, tetapi juga menuntut mahasiswa menganalisis hasil dan mencari penyebab penyimpangan. Strategi ketiga adalah proyek lintas bidang, yaitu proyek yang menggabungkan beberapa kompetensi teknik. Strategi keempat adalah refleksi teknis, yaitu kegiatan menilai kembali proses kerja, kesalahan, dan perbaikan yang dapat dilakukan.

Penerapan *problem solving* juga membantu mahasiswa memahami pentingnya standar. Dalam pekerjaan teknik, solusi tidak boleh hanya dinilai dari kreativitas. Solusi harus sesuai dengan standar, spesifikasi, prosedur keselamatan, dan aturan yang berlaku. Mahasiswa perlu memahami bahwa inovasi yang tidak aman atau tidak sesuai standar tidak dapat disebut sebagai solusi teknik yang baik. Oleh karena itu,

problem solving dalam pendidikan vokasi harus selalu dihubungkan dengan keselamatan, mutu, etika, dan tanggung jawab profesional.

Problem solving juga berperan dalam membangun budaya perbaikan berkelanjutan. Setiap hasil pekerjaan teknik perlu dievaluasi. Jika hasil belum memenuhi kriteria, mahasiswa perlu menemukan penyebab dan memperbaiki proses. Budaya ini penting karena dunia kerja modern menuntut efisiensi, akurasi, dan peningkatan mutu secara terus-menerus. Melalui *problem solving*, mahasiswa belajar bahwa kesalahan bukan hanya kegagalan, tetapi juga sumber data untuk memperbaiki proses kerja.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, dosen memiliki peran penting sebagai fasilitator *problem solving*. Dosen tidak hanya menyampaikan materi, tetapi juga merancang situasi belajar yang mendorong mahasiswa berpikir, mencoba, mengamati, menguji, dan memperbaiki. Dosen dapat memberikan pertanyaan pemantik, studi kasus, data lapangan, skenario kerusakan, gambar kerja, hasil uji, atau masalah proyek. Dengan cara ini, mahasiswa tidak hanya menerima jawaban, tetapi belajar membangun jawaban melalui proses teknis yang benar.

Mahasiswa juga perlu diberi kesempatan untuk menghadapi ketidakpastian secara terkendali. Dalam pembelajaran konvensional, masalah sering memiliki data lengkap dan jawaban tunggal. Dalam pekerjaan teknik, data sering belum lengkap, kondisi berubah, dan solusi memiliki beberapa alternatif. Karena itu, pembelajaran vokasi perlu memberi ruang bagi mahasiswa untuk membandingkan pilihan solusi. Mahasiswa perlu menilai kelebihan, kelemahan, risiko, biaya, dan dampak dari setiap alternatif.



Gambar 2. Hubungan *Problem Solving* dengan Kompetensi Lulusan Vokasi Keteknikan

Gambar 2 menunjukkan bahwa *problem solving* teknik terapan berada di pusat kompetensi lulusan vokasi keteknikan. Kemampuan ini menghubungkan pengetahuan teknis, keterampilan praktik, analisis data, pengambilan keputusan, dan komunikasi teknis. Seluruh unsur tersebut bermuara pada kesiapan kerja dan kemampuan menghasilkan inovasi terapan. Dengan demikian, *problem solving* bukan hanya kemampuan berpikir, tetapi juga kemampuan bertindak secara tepat dalam batasan keselamatan, mutu, efisiensi, dan keberlanjutan.

Berdasarkan uraian tersebut, peran *problem solving* dalam pendidikan vokasi keteknikan dapat dipahami sebagai fondasi pembelajaran yang mengintegrasikan pengetahuan, keterampilan, sikap, dan tanggung jawab profesional. Mahasiswa yang memiliki kemampuan *problem solving* akan lebih siap menghadapi masalah lapangan karena mereka terbiasa bekerja dengan data, prosedur, standar, dan evaluasi. Mereka juga lebih mampu menyesuaikan diri dengan perubahan teknologi dan kebutuhan industri.

Dengan demikian, *problem solving* perlu ditempatkan sebagai pendekatan utama dalam pembelajaran vokasi keteknikan. Setiap

mata kuliah praktik, proyek, magang, dan tugas akhir dapat dirancang untuk melatih kemampuan ini. Semakin sering mahasiswa dilibatkan dalam proses pemecahan masalah nyata, semakin kuat kesiapan mereka untuk memasuki dunia kerja. Pendidikan vokasi keteknikan yang baik tidak hanya menghasilkan lulusan yang dapat mengikuti instruksi, tetapi juga lulusan yang mampu memahami masalah, mengambil keputusan, dan menghasilkan solusi inovatif yang dapat dipertanggungjawabkan.

Problem solving berperan penting dalam pendidikan vokasi keteknikan karena membantu mahasiswa menghubungkan teori dengan praktik, mengambil keputusan berbasis data, bekerja secara sistematis, dan menghasilkan inovasi terapan. Kemampuan ini relevan dengan kebutuhan dunia kerja modern yang menuntut lulusan adaptif, analitis, komunikatif, dan bertanggung jawab. Dalam konteks vokasi, *problem solving* harus dilatih melalui praktikum, studi kasus, proyek, magang, dan tugas berbasis masalah nyata.

B. Perbedaan Masalah Akademik dan Masalah Lapangan

Masalah akademik dan masalah lapangan memiliki karakter yang berbeda. Perbedaan ini perlu dipahami sejak awal karena pendidikan vokasi keteknikan tidak hanya menyiapkan mahasiswa untuk menyelesaikan soal di ruang kelas. Pendidikan vokasi juga menyiapkan mahasiswa agar mampu menghadapi kondisi kerja yang nyata, kompleks, dan sering berubah. Dalam konteks *problem solving* teknik terapan, kemampuan membedakan dua jenis masalah ini menjadi dasar penting sebelum mahasiswa masuk ke tahap analisis dan penyusunan solusi.

Masalah akademik biasanya disusun untuk tujuan pembelajaran. Masalah ini memiliki data yang relatif lengkap, batasan yang jelas, serta jawaban yang dapat diprediksi. Dosen atau penyusun soal biasanya telah menentukan konsep, rumus, atau prosedur yang perlu digunakan. Tujuan utamanya adalah menguji pemahaman mahasiswa terhadap materi tertentu. Karena itu, masalah akademik sangat penting untuk membangun dasar teori, kemampuan berhitung, pemahaman konsep, serta ketelitian dalam mengikuti prosedur ilmiah.

Sebaliknya, masalah lapangan muncul dari kondisi nyata. Masalah ini tidak selalu memiliki data lengkap. Penyebabnya juga tidak selalu terlihat langsung. Masalah lapangan dapat dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti manusia, alat, bahan, metode kerja, lingkungan, waktu, biaya, standar mutu, dan keselamatan. Dalam situasi seperti ini, mahasiswa tidak cukup hanya mengingat teori. Mahasiswa perlu mengamati kondisi, mengajukan pertanyaan teknis, mengumpulkan data, memeriksa bukti, dan mengambil keputusan berdasarkan pertimbangan yang rasional.

Jonassen (2011) menjelaskan bahwa masalah dunia nyata sering bersifat tidak terstruktur. Masalah seperti ini membutuhkan proses identifikasi, penafsiran, penyusunan alternatif, dan pembenaran keputusan. Pandangan ini relevan dengan pendidikan vokasi keteknikan karena masalah lapangan jarang hadir dalam bentuk yang rapi seperti soal latihan. Masalah dapat muncul sebagai gejala, seperti kerusakan, penyimpangan mutu, keterlambatan pekerjaan, pemborosan material, penurunan kinerja alat, atau kondisi kerja yang tidak aman.

Perbedaan lain terletak pada cara menilai hasil. Pada masalah akademik, jawaban sering dinilai berdasarkan ketepatan prosedur dan hasil akhir. Jika rumus benar, data dimasukkan dengan tepat, dan perhitungan sesuai, maka jawaban dapat dianggap benar. Pada masalah lapangan, hasil tidak hanya dinilai dari ketepatan teknis. Hasil juga dinilai dari kelayakan pelaksanaan, keamanan, biaya, waktu, mutu, keberlanjutan, dan penerimaan pengguna. Solusi yang benar secara teori belum tentu layak diterapkan jika tidak sesuai dengan kondisi lapangan.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, kedua jenis masalah ini sama-sama penting. Masalah akademik membangun fondasi keilmuan. Masalah lapangan membangun kemampuan penerapan. Mahasiswa yang hanya terbiasa dengan masalah akademik dapat mengalami kesulitan ketika berhadapan dengan kondisi kerja yang tidak ideal. Sebaliknya, mahasiswa yang hanya mengandalkan pengalaman lapangan tanpa dasar akademik dapat mengambil

keputusan yang kurang terukur. Oleh karena itu, pembelajaran vokasi perlu mengintegrasikan keduanya.

UNESCO (2022) menegaskan bahwa pendidikan dan pelatihan teknik vokasi perlu merespons perubahan dunia kerja, termasuk digitalisasi, transisi hijau, dan perubahan kebutuhan keterampilan. Dalam kondisi seperti ini, mahasiswa perlu dilatih untuk tidak hanya mengikuti prosedur tetap, tetapi juga menyesuaikan cara berpikir ketika menghadapi situasi baru. OECD (2024) menyebut kemampuan ini sebagai *adaptive problem solving*, yaitu kemampuan mencapai tujuan dalam situasi dinamis ketika metode penyelesaian tidak langsung tersedia.

Pada bidang teknik sipil, perbedaan masalah akademik dan masalah lapangan dapat dilihat melalui contoh sederhana. Dalam masalah akademik, mahasiswa dapat diminta menghitung kapasitas saluran drainase berdasarkan data debit, kemiringan, dan dimensi saluran. Data biasanya telah tersedia. Rumus yang digunakan juga telah dipelajari. Namun, dalam masalah lapangan, genangan air dapat terjadi meskipun perhitungan awal menunjukkan kapasitas saluran cukup. Penyebabnya dapat berupa sedimentasi, sampah, kerusakan kemiringan, penyempitan saluran, perubahan tata guna lahan, atau kesalahan pelaksanaan. Mahasiswa perlu memeriksa kondisi nyata sebelum membuat kesimpulan.

Pada bidang teknik mesin, masalah akademik dapat berupa perhitungan daya motor atau analisis sederhana terhadap elemen mesin. Dalam masalah lapangan, mesin dapat mengalami getaran berlebih, suara abnormal, suhu meningkat, atau hasil kerja tidak presisi. Penyebabnya dapat berasal dari ketidaksejajaran poros, keausan bearing, pelumasan tidak tepat, pemasangan komponen yang kurang baik, atau beban kerja yang melebihi kapasitas. Masalah seperti ini memerlukan inspeksi, pengukuran, dan analisis penyebab.

Pada bidang teknik elektro, masalah akademik dapat berupa perhitungan arus, tegangan, daya, atau pemilihan proteksi berdasarkan data yang lengkap. Dalam masalah lapangan, panel listrik dapat sering trip, kabel panas, lampu berkedip, atau peralatan tidak stabil. Penyebabnya dapat berupa beban tidak seimbang,

sambungan longgar, harmonisa, proteksi tidak sesuai, kualitas daya rendah, atau kondisi lingkungan panel yang buruk. Solusi harus mempertimbangkan data pengukuran, standar keselamatan, dan kondisi operasional.

Dengan demikian, masalah lapangan menuntut kemampuan yang lebih luas. Mahasiswa perlu menggabungkan teori, observasi, data, pengalaman, standar, dan komunikasi. Mereka juga perlu memahami bahwa satu masalah dapat memiliki lebih dari satu penyebab. Satu solusi juga dapat memiliki dampak terhadap aspek lain. Misalnya, solusi yang mempercepat pekerjaan dapat meningkatkan risiko keselamatan jika tidak dikendalikan. Solusi yang murah dapat menurunkan mutu jika material tidak memenuhi spesifikasi. Solusi yang kuat secara teknis dapat sulit diterapkan jika alat dan tenaga kerja tidak tersedia.

Tabel 3. Perbedaan Masalah Akademik dan Masalah Lapangan dalam Pendidikan Vokasi Keteknikan

Aspek Pembeda	Masalah Akademik	Masalah Lapangan
Tujuan utama	Menguji pemahaman konsep, rumus, dan prosedur	Menyelesaikan kondisi nyata yang mengganggu fungsi, mutu, keselamatan, atau produktivitas
Sumber masalah	Buku ajar, soal latihan, modul praktikum, atau skenario dosen	Proyek, bengkel, laboratorium, industri, lingkungan kerja, atau keluhan pengguna
Kelengkapan data	Data biasanya tersedia dan terstruktur	Data sering belum lengkap, tersebar, atau perlu dikumpulkan terlebih dahulu
Batasan masalah	Batasan jelas dan telah ditentukan	Batasan dapat berubah karena kondisi alat, waktu, biaya, cuaca, tenaga kerja, dan standar
Prosedur penyelesaian	Biasanya mengikuti rumus atau langkah yang telah dipelajari	Memerlukan observasi, diagnosis, pengujian, pembandingan, dan keputusan teknis
Jawaban	Umumnya memiliki satu jawaban paling tepat	Dapat memiliki beberapa alternatif solusi yang perlu dinilai kelayakannya
Penilaian hasil	Berdasarkan ketepatan konsep, prosedur, dan hasil akhir	Berdasarkan mutu solusi, keamanan, biaya, waktu, kemudahan penerapan, dan dampak

Aspek Pembeda	Masalah Akademik	Masalah Lapangan
Risiko	Risiko nyata relatif kecil karena berada dalam konteks pembelajaran	Risiko dapat berdampak pada keselamatan, kerusakan alat, biaya, mutu, dan pengguna
Contoh	Menghitung kuat tekan rata-rata beton dari data uji	Menentukan penyebab retak beton pada elemen struktur di lapangan
Kompetensi yang dilatih	Pemahaman teori, ketelitian, dan kemampuan prosedural	Analisis situasi, pengambilan keputusan, komunikasi teknis, dan tanggung jawab profesional

Tabel 3 menunjukkan bahwa masalah akademik dan masalah lapangan tidak saling menggantikan. Keduanya saling melengkapi. Masalah akademik membantu mahasiswa membangun dasar konseptual yang kuat. Masalah lapangan membantu mahasiswa menerapkan dasar tersebut dalam kondisi nyata. Pendidikan vokasi keteknikan perlu menghubungkan keduanya agar mahasiswa tidak hanya mampu menjawab soal, tetapi juga mampu menyelesaikan masalah teknis yang memiliki konsekuensi nyata.

Perbedaan tersebut juga berpengaruh terhadap strategi pembelajaran. Untuk masalah akademik, dosen dapat menggunakan kuliah, latihan soal, diskusi konsep, dan praktikum terstruktur. Untuk masalah lapangan, dosen perlu menggunakan studi kasus, pembelajaran berbasis proyek, simulasi kerusakan, kunjungan industri, magang, dan tugas observasi. Strategi ini membantu mahasiswa belajar menghadapi ketidakpastian secara bertahap. Mahasiswa tidak langsung dibiarkan menghadapi masalah kompleks tanpa bekal, tetapi dilatih dari masalah sederhana menuju masalah nyata.

Dalam standar pendidikan teknologi rekayasa, kemampuan menyelesaikan masalah teknik perlu dikaitkan dengan penggunaan pengetahuan, keterampilan, alat modern, pengujian, pengukuran, komunikasi, dan kerja tim (ABET, 2025). Hal ini mempertegas bahwa masalah lapangan tidak dapat diselesaikan hanya dengan hafalan. Mahasiswa perlu mampu bekerja dengan alat, membaca data, berdiskusi dengan tim, dan menyampaikan rekomendasi secara jelas.

Peralihan dari masalah akademik menuju masalah lapangan juga membutuhkan perubahan cara berpikir. Mahasiswa perlu berpindah dari pola “mencari jawaban akhir” menuju pola “memahami situasi dan menyusun keputusan terbaik”. Dalam masalah akademik, pertanyaan biasanya telah diberikan. Dalam masalah lapangan, pertanyaan sering harus dirumuskan sendiri. Misalnya, masalah “jalan cepat rusak” perlu diubah menjadi pertanyaan teknis, seperti apakah penyebabnya berasal dari beban berlebih, drainase buruk, material tidak sesuai, pemadatan kurang, atau mutu pelaksanaan yang rendah.



Gambar 3. Peralihan dari Masalah Akademik menuju Masalah Lapangan

Gambar 3 memperlihatkan bahwa mahasiswa perlu melewati proses bertahap dari masalah akademik menuju masalah lapangan. Tahap pertama adalah penguatan konsep dan prosedur. Tahap kedua

adalah latihan terapan berbasis kasus. Tahap ketiga adalah penyelesaian masalah lapangan yang memerlukan pengumpulan data, analisis, uji solusi, dan pengambilan keputusan. Proses ini penting agar mahasiswa memiliki kesiapan berpikir sebelum menghadapi kondisi kerja yang lebih kompleks.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat menggunakan masalah akademik sebagai pintu masuk menuju masalah lapangan. Misalnya, setelah mahasiswa menghitung kapasitas saluran, dosen dapat memberikan kasus genangan di area kampus. Setelah mahasiswa menghitung daya motor, dosen dapat memberi kasus motor cepat panas. Setelah mahasiswa mempelajari kuat tekan beton, dosen dapat memberi kasus hasil uji beton yang tidak memenuhi spesifikasi. Dengan cara ini, mahasiswa belajar bahwa teori tidak berhenti pada hasil hitungan, tetapi harus diuji dalam konteks nyata.

Mahasiswa juga perlu dibiasakan untuk menulis pernyataan masalah. Dalam masalah akademik, soal biasanya sudah menyatakan apa yang harus dicari. Dalam masalah lapangan, mahasiswa perlu menyusun sendiri pernyataan masalah berdasarkan observasi. Pernyataan masalah yang baik harus jelas, spesifik, dapat diuji, dan memiliki batasan. Misalnya, pernyataan “kualitas pekerjaan buruk” masih terlalu umum. Pernyataan yang lebih tepat adalah “permukaan beton lantai kerja mengalami retak rambut pada area tertentu dalam waktu tiga hari setelah pengecoran, sehingga perlu dianalisis kemungkinan penyebab dari material, metode pengecoran, perawatan beton, dan kondisi lingkungan.”

Pernyataan masalah yang jelas akan membantu mahasiswa memilih data yang tepat. Jika masalah berkaitan dengan mutu material, maka data yang dibutuhkan dapat berupa hasil uji laboratorium, spesifikasi bahan, dan prosedur penyimpanan. Jika masalah berkaitan dengan metode kerja, maka data yang dibutuhkan dapat berupa urutan pelaksanaan, kondisi alat, jumlah tenaga kerja, dan pengawasan mutu. Jika masalah berkaitan dengan keselamatan, maka data yang dibutuhkan dapat berupa potensi bahaya, penggunaan alat pelindung diri, kondisi tempat kerja, dan kepatuhan terhadap SOP.

Perbedaan masalah akademik dan masalah lapangan juga terlihat pada cara menggunakan kesalahan. Dalam masalah akademik, kesalahan sering dinilai sebagai jawaban yang tidak tepat. Dalam masalah lapangan, kesalahan dapat menjadi sumber pembelajaran jika dianalisis secara objektif. Misalnya, hasil pengujian yang menyimpang dapat menunjukkan masalah pada alat, prosedur, bahan, atau cara pencatatan data. Karena itu, mahasiswa perlu dilatih untuk tidak hanya mencari hasil benar, tetapi juga memahami penyebab kesalahan dan cara memperbaikinya.

Dalam konteks pendidikan vokasi, masalah lapangan perlu diajarkan dengan tetap memperhatikan keamanan dan kendali pembelajaran. Mahasiswa dapat menghadapi skenario nyata, tetapi dosen tetap perlu mengatur batas risiko. Simulasi, studi kasus, data lapangan terdokumentasi, dan proyek terbatas dapat digunakan sebelum mahasiswa menangani masalah nyata yang lebih besar. Pendekatan ini membantu mahasiswa belajar dari pengalaman tanpa mengabaikan keselamatan dan mutu kerja.

Perbedaan antara masalah akademik dan masalah lapangan menunjukkan bahwa pendidikan vokasi keteknikan perlu memiliki desain pembelajaran yang seimbang. Mahasiswa membutuhkan teori yang kuat, tetapi juga membutuhkan pengalaman menyelesaikan masalah yang tidak selalu rapi. Mereka perlu mampu menghitung, mengukur, mengamati, berdiskusi, menyimpulkan, dan mengambil keputusan. Keseimbangan ini akan membentuk lulusan yang bukan hanya mampu mengerjakan soal, tetapi juga mampu bekerja, beradaptasi, dan memberi solusi di lingkungan teknik yang nyata.

Masalah akademik dan masalah lapangan memiliki fungsi yang berbeda dalam pendidikan vokasi keteknikan. Masalah akademik membangun dasar konsep, prosedur, dan ketelitian. Masalah lapangan membangun kemampuan observasi, analisis, pengambilan keputusan, dan tanggung jawab profesional. Keduanya perlu diintegrasikan agar mahasiswa memiliki fondasi teori yang kuat sekaligus mampu menghadapi kondisi kerja nyata yang kompleks, dinamis, dan penuh batasan.

C. Kompetensi Teknis, Analitis, dan Praktis dalam Pemecahan Masalah

Pemecahan masalah dalam pendidikan vokasi keteknikan membutuhkan perpaduan antara kompetensi teknis, kompetensi analitis, dan kompetensi praktis. Ketiga kompetensi ini saling berhubungan. Kompetensi teknis membantu mahasiswa memahami prinsip, standar, alat, bahan, dan sistem kerja. Kompetensi analitis membantu mahasiswa membaca data, menemukan pola, menilai penyebab, dan mengambil keputusan. Kompetensi praktis membantu mahasiswa menerapkan solusi secara aman, efisien, dan sesuai kondisi lapangan.

Dalam konteks vokasi keteknikan, *problem solving* tidak dapat hanya bergantung pada satu jenis kemampuan. Mahasiswa yang kuat secara teori tetapi lemah dalam praktik akan kesulitan menerapkan solusi di lapangan. Mahasiswa yang terampil menggunakan alat tetapi lemah dalam analisis akan mudah mengambil keputusan berdasarkan kebiasaan, bukan bukti. Mahasiswa yang mampu menganalisis data tetapi tidak memahami prosedur teknis juga dapat menghasilkan rekomendasi yang sulit diterapkan. Oleh karena itu, pendidikan vokasi perlu membangun ketiga kompetensi tersebut secara terpadu.

ABET (2025) menempatkan kemampuan menerapkan pengetahuan, teknik, keterampilan, dan alat modern sebagai bagian penting dalam penyelesaian masalah teknik. Standar ini menunjukkan bahwa lulusan keteknikan terapan perlu menguasai aspek pengetahuan sekaligus kemampuan menggunakan alat dan metode kerja. Dalam pendidikan vokasi, standar tersebut dapat diterjemahkan ke dalam kegiatan pembelajaran yang menekankan praktik, pengukuran, pengujian, analisis hasil, komunikasi teknis, dan evaluasi solusi.

Kompetensi teknis merupakan dasar utama dalam pemecahan masalah teknik. Kompetensi ini mencakup pemahaman terhadap konsep dasar, prinsip kerja sistem, spesifikasi teknis, standar, gambar kerja, karakter material, prosedur pengujian, serta penggunaan alat. Tanpa kompetensi teknis, mahasiswa akan sulit memahami apa yang sebenarnya terjadi pada objek yang bermasalah. Misalnya, mahasiswa

teknik sipil perlu memahami sifat beton, baja, tanah, air, beban, dan metode pelaksanaan. Mahasiswa teknik mesin perlu memahami gaya, gerak, pelumasan, getaran, komponen mesin, dan proses manufaktur. Mahasiswa teknik elektro perlu memahami arus, tegangan, daya, proteksi, rangkaian, dan sistem kendali.

Kompetensi teknis juga membuat mahasiswa mampu membedakan kondisi normal dan kondisi menyimpang. Dalam pekerjaan teknik, masalah sering diketahui karena ada penyimpangan dari standar atau kinerja yang diharapkan. Contohnya adalah kuat tekan beton lebih rendah dari spesifikasi, suhu motor lebih tinggi dari batas operasi, ukuran produk tidak sesuai toleransi, atau debit aliran tidak memenuhi kebutuhan. Untuk mengenali penyimpangan tersebut, mahasiswa harus memahami standar teknis dan batas kinerja sistem.

Kompetensi analitis berperan dalam menafsirkan masalah. Kompetensi ini mencakup kemampuan mengidentifikasi gejala, mengolah data, membandingkan hasil pengukuran, menemukan hubungan sebab akibat, dan menentukan akar masalah. OECD (2024) menjelaskan bahwa *adaptive problem solving* menjadi keterampilan penting karena individu perlu menghadapi kondisi dinamis dan informasi yang tidak selalu lengkap. Dalam pekerjaan teknik, kondisi seperti ini sering terjadi. Data dapat tersebar, alat ukur dapat terbatas, kondisi lapangan dapat berubah, dan penyebab masalah dapat lebih dari satu.

Kompetensi analitis menuntut mahasiswa untuk tidak terburu-buru menyimpulkan. Masalah teknik harus dianalisis dengan bukti. Jika lantai beton retak, penyebabnya tidak boleh langsung disimpulkan sebagai mutu beton rendah. Penyebab dapat berasal dari perawatan beton yang kurang baik, susut, beban awal, sambungan yang tidak tepat, perubahan suhu, atau metode pengecoran. Jika mesin bergetar, penyebabnya tidak selalu kerusakan mesin. Penyebab dapat berupa ketidaksejajaran poros, ketidakseimbangan beban, baut longgar, pondasi tidak stabil, atau keausan komponen. Analisis yang baik membantu mahasiswa menghindari keputusan yang keliru.

Kompetensi praktis berperan dalam penerapan solusi. Kompetensi ini berkaitan dengan kemampuan menggunakan alat, menjalankan prosedur kerja, melakukan inspeksi, melakukan perbaikan, menguji hasil, menjaga keselamatan, dan menyelesaikan pekerjaan sesuai sumber daya yang tersedia. Dalam pendidikan vokasi, kompetensi praktis menjadi ciri utama karena mahasiswa disiapkan untuk bekerja dalam lingkungan nyata. UNESCO (2022) menegaskan bahwa TVET berada pada hubungan langsung antara pendidikan dan dunia kerja. Karena itu, kompetensi praktis perlu dikembangkan melalui kegiatan laboratorium, bengkel, studio, proyek, magang, dan pembelajaran berbasis kasus.

Kompetensi praktis tidak sama dengan pekerjaan manual semata. Kompetensi praktis mencakup tindakan teknis yang sadar, terencana, dan terukur. Mahasiswa tidak hanya melakukan pekerjaan, tetapi juga memahami alasan di balik pekerjaan tersebut. Misalnya, ketika melakukan pengujian material, mahasiswa perlu memahami tujuan pengujian, prosedur alat, cara membaca hasil, potensi kesalahan, dan makna data. Ketika melakukan perawatan alat, mahasiswa perlu memahami gejala kerusakan, urutan pemeriksaan, risiko keselamatan, dan kriteria alat layak pakai.

Ketiga kompetensi tersebut perlu dikembangkan secara bersamaan. Dalam proses *problem solving*, mahasiswa pertama-tama menggunakan kompetensi teknis untuk memahami objek dan standar kerja. Setelah itu, mahasiswa menggunakan kompetensi analitis untuk membaca gejala, mengolah data, dan menentukan penyebab. Selanjutnya, mahasiswa menggunakan kompetensi praktis untuk menerapkan solusi, menguji hasil, dan mengevaluasi dampak. Jika salah satu kompetensi lemah, proses pemecahan masalah menjadi tidak utuh.

Tabel 4. Kompetensi Teknis, Analitis, dan Praktis dalam Pemecahan Masalah Teknik Terapan

Jenis Kompetensi	Unsur Utama	Fungsi dalam Problem Solving	Contoh Penerapan
Kompetensi teknis	Konsep teknik, standar, spesifikasi, gambar kerja,	Membantu mahasiswa memahami objek masalah dan batas kinerja teknis	Membaca gambar kerja sebelum menilai kesalahan

Jenis Kompetensi	Unsur Utama	Fungsi dalam Problem Solving	Contoh Penerapan
	material, alat, dan prosedur		pelaksanaan konstruksi
Kompetensi analitis	Observasi, pengolahan data, perbandingan, penalaran sebab akibat, dan evaluasi bukti	Membantu mahasiswa menemukan pola masalah dan akar penyebab	Membandingkan hasil uji kuat tekan beton dengan spesifikasi mutu
Kompetensi praktis	Penggunaan alat, inspeksi, pengujian, perbaikan, keselamatan kerja, dan validasi hasil	Membantu mahasiswa menerapkan solusi secara aman dan sesuai kondisi lapangan	Melakukan pengukuran ulang setelah perbaikan kemiringan saluran drainase
Integrasi kompetensi	Penggabungan teori, data, tindakan, dan evaluasi	Membentuk proses pemecahan masalah yang lengkap dan dapat dipertanggungjawabkan	Menyusun rekomendasi teknis berdasarkan data, standar, biaya, dan risiko
Komunikasi pendukung	Laporan, gambar, tabel data, dokumentasi foto, dan presentasi teknis	Membantu mahasiswa menyampaikan masalah dan solusi kepada pihak lain	Menulis laporan hasil inspeksi panel listrik yang mengalami gangguan
Sikap profesional	Ketelitian, tanggung jawab, disiplin, etika, dan kepedulian terhadap keselamatan	Menjamin proses <i>problem solving</i> tidak mengabaikan mutu dan keselamatan	Menghentikan pekerjaan sementara ketika ditemukan kondisi kerja tidak aman

Tabel 4 menunjukkan bahwa kompetensi teknis, analitis, dan praktis memiliki fungsi yang berbeda tetapi saling melengkapi. Kompetensi teknis memberi dasar pemahaman. Kompetensi analitis memberi dasar penilaian. Kompetensi praktis memberi dasar tindakan. Ketiganya perlu didukung oleh komunikasi teknis dan sikap profesional agar solusi dapat dijelaskan, diterapkan, dan dievaluasi dengan baik.

Dalam pembelajaran vokasi, pengembangan kompetensi teknis dapat dilakukan melalui kuliah terapan, praktik laboratorium, pembacaan standar, latihan gambar, penggunaan perangkat lunak teknik, dan pengenalan alat. Mahasiswa perlu belajar mengenali istilah teknis, simbol, satuan, spesifikasi, toleransi, serta prosedur kerja. Penguasaan ini penting karena kesalahan membaca informasi teknis dapat menyebabkan kesalahan tindakan. Misalnya, kesalahan

membaca satuan, skala gambar, jenis material, atau urutan prosedur dapat memengaruhi mutu pekerjaan.

Pengembangan kompetensi analitis dapat dilakukan melalui latihan membaca data, studi kasus, diskusi penyebab, analisis grafik, penyusunan hipotesis, dan perbandingan hasil pengujian dengan standar. Mahasiswa perlu dilatih untuk membedakan gejala dan penyebab. Gejala adalah tanda yang terlihat. Penyebab adalah faktor yang menghasilkan gejala. Akar masalah adalah penyebab utama yang perlu diperbaiki agar masalah tidak berulang. Perbedaan ini penting karena banyak kesalahan teknis terjadi akibat solusi diberikan hanya pada gejala.

Pengembangan kompetensi praktis dapat dilakukan melalui demonstrasi, simulasi, praktikum, proyek, kerja bengkel, kerja lapangan, dan magang industri. Mahasiswa perlu diberi kesempatan untuk menggunakan alat, mengatur bahan, melakukan pengukuran, memperbaiki kesalahan, dan mengevaluasi hasil. Namun, kegiatan praktik harus tetap mengikuti standar keselamatan. Kompetensi praktis yang baik selalu terkait dengan disiplin kerja, penggunaan alat pelindung diri, pemeriksaan alat, pengendalian risiko, dan pencatatan hasil kerja.

World Economic Forum (2025) menunjukkan bahwa *analytical thinking* menjadi salah satu keterampilan inti yang paling dibutuhkan oleh pemberi kerja. Temuan ini penting bagi pendidikan vokasi karena lulusan teknik tidak hanya dituntut mampu bekerja secara operasional. Mereka juga perlu mampu memahami masalah, membaca data, dan membuat keputusan. Dalam dunia kerja modern, pekerjaan rutin semakin banyak dibantu oleh teknologi. Sementara itu, kemampuan manusia untuk menilai situasi, beradaptasi, dan mengambil keputusan tetap menjadi kebutuhan penting.

Kompetensi teknis, analitis, dan praktis juga perlu dikaitkan dengan literasi digital. Mahasiswa vokasi keteknikan saat ini berhadapan dengan alat ukur digital, perangkat lunak desain, sensor, *dashboard* data, sistem informasi proyek, dan platform dokumentasi. Literasi digital tidak menggantikan kompetensi teknis dasar. Literasi digital memperkuat kemampuan mahasiswa dalam mengumpulkan

data, memvisualisasikan temuan, melakukan simulasi, dan menyampaikan rekomendasi. Namun, mahasiswa tetap perlu memahami prinsip kerja agar tidak hanya bergantung pada hasil perangkat lunak.



Gambar 4. Integrasi Kompetensi dalam Pemecahan Masalah Teknik Terapan

Gambar 4 menjelaskan hubungan bertahap antara kompetensi teknis, analitis, dan praktis. Kompetensi teknis membantu mahasiswa memahami masalah. Kompetensi analitis membantu mahasiswa menentukan solusi berdasarkan data dan bukti. Kompetensi praktis membantu mahasiswa menerapkan solusi secara nyata. Hasil akhirnya adalah solusi teknik yang layak, aman, efisien, dan terukur.

Integrasi ketiga kompetensi tersebut dapat diterapkan dalam berbagai bidang vokasi keteknikan. Pada teknik sipil, mahasiswa dapat menganalisis genangan di area kampus. Kompetensi teknis digunakan untuk memahami drainase, kemiringan, debit, dan kondisi saluran. Kompetensi analitis digunakan untuk mengolah data curah

hujan, dimensi saluran, sedimentasi, dan pola aliran. Kompetensi praktis digunakan untuk melakukan pengukuran, membuat sketsa kondisi, membersihkan hambatan, menguji aliran, dan menyusun rekomendasi perbaikan.

Pada teknik mesin, mahasiswa dapat menganalisis getaran pada mesin produksi. Kompetensi teknis digunakan untuk memahami komponen mesin, poros, bearing, pelumasan, dan sistem transmisi. Kompetensi analitis digunakan untuk membaca pola getaran, membandingkan kondisi operasi, dan menentukan kemungkinan penyebab. Kompetensi praktis digunakan untuk melakukan inspeksi, penyetelan, pelumasan, pengencangan komponen, dan pengujian ulang.

Pada teknik elektro, mahasiswa dapat menganalisis gangguan panel listrik. Kompetensi teknis digunakan untuk memahami rangkaian, proteksi, beban, kabel, dan standar keselamatan. Kompetensi analitis digunakan untuk membaca data arus, tegangan, suhu, dan pola gangguan. Kompetensi praktis digunakan untuk melakukan pengukuran, pemeriksaan sambungan, pengujian proteksi, dan penyusunan tindakan perbaikan. Contoh-contoh ini menunjukkan bahwa ketiga kompetensi berlaku lintas bidang keteknikan.

Dalam proses pembelajaran, dosen dapat menilai ketiga kompetensi melalui rubrik yang jelas. Kompetensi teknis dapat dinilai dari pemahaman konsep, ketepatan menggunakan istilah, kemampuan membaca gambar, dan pemahaman standar. Kompetensi analitis dapat dinilai dari kemampuan mengumpulkan data, menyusun alasan, menentukan akar masalah, dan memilih solusi. Kompetensi praktis dapat dinilai dari kemampuan menggunakan alat, mengikuti prosedur, menjaga keselamatan, menguji hasil, dan menyusun laporan kerja.

Penilaian berbasis kompetensi perlu menilai proses dan hasil. Hasil akhir penting, tetapi proses *problem solving* juga harus diperhatikan. Mahasiswa perlu menunjukkan bagaimana mereka memahami masalah, data apa yang digunakan, bagaimana mereka menganalisis penyebab, mengapa mereka memilih solusi tertentu, dan bagaimana solusi tersebut diuji. Dengan cara ini, dosen dapat menilai kemampuan berpikir dan kemampuan kerja secara lebih lengkap.

Kompetensi teknis, analitis, dan praktis juga perlu dikembangkan melalui kerja tim. Masalah lapangan sering membutuhkan kolaborasi. Dalam satu proyek, mahasiswa dapat berbagi peran sebagai pengumpul data, analis, perancang solusi, pelaksana uji, dokumentator, dan penyaji laporan. Kerja tim melatih komunikasi, koordinasi, tanggung jawab, dan kemampuan menerima masukan. Kompetensi ini penting karena dunia kerja teknik jarang diselesaikan oleh satu orang secara terpisah.

Selain kerja tim, mahasiswa perlu mengembangkan kebiasaan refleksi. Refleksi membantu mahasiswa melihat kembali keputusan yang telah diambil. Pertanyaan reflektif dapat berupa: apakah data yang digunakan sudah cukup, apakah penyebab yang dipilih benar-benar terbukti, apakah solusi aman, apakah biaya masuk akal, apakah hasil uji memenuhi kriteria, dan apa yang perlu diperbaiki pada pekerjaan berikutnya. Refleksi membuat *problem solving* menjadi proses pembelajaran berkelanjutan.

Kompetensi dalam pemecahan masalah juga memiliki dimensi etika. Solusi teknik dapat berdampak pada keselamatan manusia, biaya pengguna, lingkungan, dan keandalan sistem. Karena itu, mahasiswa tidak boleh mengabaikan standar, memalsukan data, menyembunyikan kesalahan, atau memilih solusi yang membahayakan hanya karena lebih cepat atau lebih murah. Dalam pendidikan vokasi, etika perlu diajarkan sebagai bagian dari tindakan teknis sehari-hari, bukan hanya sebagai teori profesi.

Pada akhirnya, kompetensi teknis, analitis, dan praktis membentuk dasar kemampuan *problem solving* teknik terapan. Mahasiswa yang memiliki ketiga kompetensi ini akan lebih siap menghadapi masalah lapangan. Mereka dapat memahami objek teknis, membaca data, menentukan penyebab, memilih solusi, menerapkan tindakan, dan mengevaluasi hasil. Pendidikan vokasi keteknikan perlu memastikan bahwa ketiga kompetensi ini dilatih secara konsisten melalui pembelajaran teori, praktikum, proyek, studi kasus, dan pengalaman industri.

Kompetensi teknis, analitis, dan praktis merupakan tiga pilar utama dalam pemecahan masalah teknik terapan. Kompetensi teknis

membantu mahasiswa memahami konsep, standar, alat, bahan, dan prosedur. Kompetensi analitis membantu mahasiswa membaca data, menemukan penyebab, dan mengambil keputusan. Kompetensi praktis membantu mahasiswa menerapkan solusi secara aman dan terukur. Ketiganya perlu dikembangkan secara terpadu agar mahasiswa vokasi mampu menghasilkan solusi yang layak, efisien, aman, dan dapat dipertanggungjawabkan.

D. Cara Berpikir Sistem dalam Pekerjaan Teknik

Cara berpikir sistem merupakan kemampuan melihat pekerjaan teknik sebagai satu kesatuan yang terdiri atas banyak unsur yang saling berhubungan. Dalam pekerjaan teknik, masalah jarang muncul dari satu faktor tunggal. Masalah biasanya muncul karena hubungan antara manusia, alat, bahan, metode, lingkungan, data, biaya, waktu, standar, dan keputusan kerja. Oleh karena itu, mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami bahwa setiap tindakan teknis dapat menimbulkan dampak pada bagian lain dari sistem.

Berpikir sistem membantu mahasiswa menghindari cara pandang yang terlalu sempit. Dalam banyak kasus, masalah yang terlihat di permukaan hanya merupakan gejala. Penyebab sebenarnya dapat berada pada bagian lain dari sistem. Misalnya, keterlambatan pekerjaan konstruksi tidak selalu disebabkan oleh pekerja yang lambat. Keterlambatan dapat berasal dari keterlambatan material, gambar kerja yang belum jelas, perubahan desain, alat yang tidak tersedia, cuaca, koordinasi yang lemah, atau keputusan manajemen proyek. Jika mahasiswa hanya melihat satu bagian, solusi yang dihasilkan dapat kurang tepat.

Meadows (2008) menjelaskan bahwa sistem terdiri atas elemen, hubungan, dan tujuan. Ketiga unsur ini penting dalam pekerjaan teknik. Elemen dapat berupa pekerja, alat, komponen, material, data, prosedur, dan lingkungan kerja. Hubungan menunjukkan bagaimana satu elemen memengaruhi elemen lain. Tujuan menunjukkan fungsi yang ingin dicapai oleh sistem. Dalam pekerjaan teknik, tujuan dapat berupa struktur yang aman, mesin yang andal, sistem listrik yang stabil, saluran yang berfungsi, produk yang memenuhi toleransi, atau proses kerja yang efisien.

Senge (2006) menekankan bahwa berpikir sistem membantu seseorang melihat pola hubungan, bukan hanya kejadian yang terpisah. Pandangan ini penting bagi mahasiswa vokasi karena pekerjaan lapangan sering dipenuhi kejadian teknis yang saling terkait. Misalnya, kerusakan alat ukur dapat memengaruhi kualitas data. Kualitas data dapat memengaruhi keputusan. Keputusan yang salah dapat menyebabkan perbaikan yang tidak efektif. Perbaikan yang tidak efektif dapat menambah biaya dan waktu kerja. Rangkaian ini menunjukkan bahwa satu masalah kecil dapat berkembang menjadi masalah besar jika hubungan antarelemen tidak dipahami.

Dalam pekerjaan teknik, berpikir sistem juga berkaitan dengan batas sistem. Batas sistem digunakan untuk menentukan bagian mana yang akan dianalisis dan bagian mana yang berada di luar ruang lingkup pembahasan. Batas sistem tidak boleh terlalu sempit karena dapat menghilangkan faktor penting. Batas sistem juga tidak boleh terlalu luas karena analisis menjadi sulit dikendalikan. Mahasiswa perlu belajar menentukan batas sistem secara jelas agar proses pemecahan masalah tetap fokus, tetapi tidak mengabaikan hubungan penting.

Contoh batas sistem dapat dilihat pada masalah genangan air di area kampus. Jika batas sistem hanya ditetapkan pada satu saluran yang tersumbat, maka solusi mungkin hanya berupa pembersihan saluran. Namun, jika batas sistem diperluas secara wajar, mahasiswa dapat melihat hubungan antara curah hujan, kemiringan lahan, kapasitas saluran, sedimentasi, sampah, perubahan permukaan tanah, dan perilaku pengguna. Dengan cara ini, solusi tidak hanya bersifat sementara, tetapi dapat diarahkan pada perbaikan sistem drainase secara lebih menyeluruh.

Berpikir sistem juga menuntut pemahaman terhadap umpan balik. Umpan balik terjadi ketika hasil suatu tindakan kembali memengaruhi kondisi sistem. Dalam pekerjaan teknik, umpan balik dapat berbentuk hasil inspeksi, hasil pengujian, laporan kerusakan, keluhan pengguna, data sensor, atau catatan pemeliharaan. Umpan balik membantu praktisi teknik mengetahui apakah tindakan yang dilakukan berhasil

atau perlu diperbaiki. Tanpa umpan balik, keputusan teknis mudah terlepas dari kondisi nyata.

Sterman (2000) menjelaskan bahwa banyak masalah sistemik muncul karena hubungan sebab akibat yang tidak langsung, keterlambatan dampak, dan umpan balik yang tidak dipahami. Dalam pekerjaan teknik, keterlambatan dampak sering terjadi. Misalnya, mutu pemadatan tanah yang kurang baik mungkin tidak langsung menimbulkan kerusakan. Dampaknya dapat muncul setelah beban berulang, hujan, atau perubahan kadar air. Jika mahasiswa tidak memahami keterlambatan dampak, mereka dapat salah menilai penyebab kerusakan.

Cara berpikir sistem juga membantu mahasiswa memahami trade-off dalam pengambilan keputusan teknik. Trade-off terjadi ketika peningkatan pada satu aspek dapat menurunkan aspek lain. Misalnya, percepatan pekerjaan dapat meningkatkan risiko keselamatan jika pengendalian kerja tidak diperkuat. Penggunaan material murah dapat menekan biaya awal, tetapi dapat meningkatkan biaya perawatan. Penambahan alat dapat meningkatkan produktivitas, tetapi juga meningkatkan biaya operasional. Berpikir sistem membantu mahasiswa menilai dampak keputusan secara lebih lengkap.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, cara berpikir sistem perlu dilatih melalui kegiatan yang dekat dengan pekerjaan nyata. Mahasiswa dapat diminta memetakan komponen sistem, mengidentifikasi hubungan antarfaktor, menentukan batas masalah, membaca aliran proses, menganalisis umpan balik, dan menyusun dampak dari alternatif solusi. Kegiatan ini dapat diterapkan pada praktikum, proyek, studi kasus, magang, atau tugas akhir berbasis masalah lapangan.

Tabel 5. Unsur Berpikir Sistem dalam Pekerjaan Teknik

Unsur Berpikir Sistem	Makna dalam Pekerjaan Teknik	Contoh Penerapan
Elemen sistem	Bagian yang membentuk kerja teknik	Pekerja, alat, material, prosedur, data, lingkungan, dan standar

Unsur Berpikir Sistem	Makna dalam Pekerjaan Teknik	Contoh Penerapan
Hubungan antarelemen	Pengaruh satu bagian terhadap bagian lain	Keterlambatan material memengaruhi jadwal pekerjaan dan produktivitas tenaga kerja
Tujuan sistem	Fungsi akhir yang ingin dicapai	Saluran drainase harus mengalirkan air tanpa menimbulkan genangan
Batas sistem	Ruang lingkup yang dianalisis	Analisis kerusakan jalan dibatasi pada lapis permukaan, drainase, beban lalu lintas, dan mutu pelaksanaan
Umpan balik	Informasi hasil kerja yang digunakan untuk memperbaiki keputusan	Hasil pengujian kuat tekan digunakan untuk mengevaluasi mutu beton
Keterlambatan dampak	Jarak waktu antara penyebab dan akibat	Pemadatan tanah yang buruk baru terlihat setelah terjadi penurunan permukaan
Trade-off	Pertukaran antara beberapa aspek keputusan	Metode cepat dapat menghemat waktu, tetapi membutuhkan pengendalian keselamatan lebih ketat
Perilaku sistem	Pola kinerja sistem dari waktu ke waktu	Produktivitas menurun ketika alat sering rusak dan waktu perbaikan meningkat

Tabel 5 menunjukkan bahwa berpikir sistem tidak hanya berarti melihat masalah secara luas. Berpikir sistem menuntut mahasiswa memahami unsur, hubungan, tujuan, batas, umpan balik, waktu, dan dampak keputusan. Unsur-unsur tersebut membantu mahasiswa membaca masalah teknik secara lebih utuh. Dengan demikian, solusi yang dihasilkan tidak hanya menyelesaikan gejala, tetapi juga memperbaiki kondisi sistem yang menyebabkan masalah.

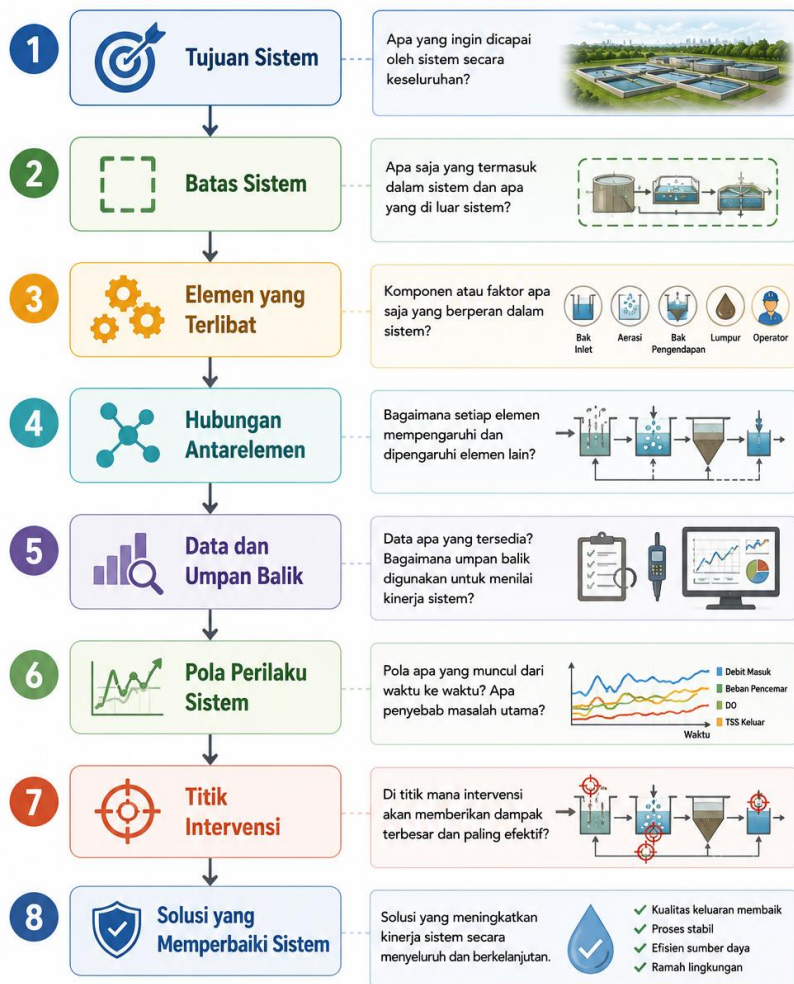
Penerapan berpikir sistem dapat dimulai dari pertanyaan sederhana. Pertama, apa saja elemen yang terlibat dalam masalah ini. Kedua, bagaimana hubungan antar elemen tersebut. Ketiga, apa tujuan sistem yang terganggu. Keempat, data apa yang menunjukkan bahwa sistem tidak bekerja dengan baik. Kelima, bagian mana yang berada dalam batas analisis. Keenam, dampak apa yang mungkin muncul jika solusi diterapkan. Pertanyaan ini membantu mahasiswa menyusun analisis yang lebih terarah.

Dalam pekerjaan teknik sipil, berpikir sistem dapat digunakan untuk memahami kerusakan jalan. Kerusakan jalan tidak cukup dianalisis dari permukaan yang berlubang. Mahasiswa perlu melihat hubungan antara beban kendaraan, kualitas material, tebal perkerasan, drainase, tanah dasar, metode pemadatan, suhu, air, dan pemeliharaan. Solusi tambal sulam dapat menyelesaikan gejala sementara, tetapi kerusakan dapat muncul kembali jika drainase buruk atau tanah dasar tidak stabil.

Dalam pekerjaan teknik mesin, berpikir sistem dapat digunakan untuk memahami penurunan kinerja mesin produksi. Penurunan kinerja tidak selalu disebabkan oleh satu komponen. Faktor yang perlu dilihat meliputi kondisi bearing, pelumasan, kesejajaran poros, getaran, suhu, beban kerja, jadwal perawatan, kualitas operator, dan ketersediaan suku cadang. Jika hubungan antarfaktor tidak dipahami, tindakan perbaikan dapat hanya mengganti komponen tanpa menyelesaikan penyebab utama.

Dalam pekerjaan teknik elektro, berpikir sistem dapat digunakan untuk menganalisis gangguan panel listrik. Panel yang sering trip dapat berkaitan dengan beban berlebih, sambungan longgar, proteksi tidak sesuai, suhu lingkungan, ketidakseimbangan beban, kualitas daya, atau pola penggunaan peralatan. Solusi yang hanya menaikkan kapasitas pengaman tanpa analisis dapat membahayakan sistem. Mahasiswa perlu memahami hubungan antara proteksi, kabel, beban, panas, dan keselamatan.

Dalam pekerjaan teknik lingkungan, berpikir sistem dapat digunakan untuk memahami masalah pengolahan air limbah. Kualitas keluaran yang buruk dapat berkaitan dengan debit masuk, beban pencemar, waktu tinggal, kondisi bak, aerasi, pengendapan, perawatan, dan perilaku operator. Perbaikan tidak cukup dilakukan pada satu titik jika aliran proses secara keseluruhan tidak dipahami. Pemikiran sistem membantu mahasiswa melihat hubungan antara proses fisik, kimia, biologis, dan operasional.



Gambar 5. Pola Berpikir Sistem dalam Analisis Masalah Teknik

Gambar 5 menunjukkan pola berpikir sistem dalam analisis masalah teknik. Proses dimulai dengan memahami tujuan sistem. Setelah itu, mahasiswa menentukan batas sistem agar analisis tetap jelas. Langkah berikutnya adalah mengidentifikasi elemen yang terlibat dan hubungan antarelelemen. Data dan umpan balik digunakan untuk membaca pola perilaku sistem. Dari pola tersebut, mahasiswa dapat menentukan titik intervensi yang paling tepat. Tujuan akhirnya adalah menghasilkan solusi yang memperbaiki sistem, bukan hanya menutup gejala masalah.

Titik intervensi merupakan bagian penting dalam berpikir sistem. Titik intervensi adalah bagian dari sistem yang dapat diubah untuk menghasilkan perbaikan. Titik intervensi tidak selalu berada pada gejala yang terlihat. Misalnya, pada kasus genangan air, titik intervensi dapat berupa perbaikan kemiringan saluran, penambahan inlet, jadwal pembersihan, perubahan tata letak drainase, atau edukasi pengguna agar tidak membuang sampah. Pemilihan titik intervensi harus didukung oleh data dan analisis hubungan antarfaktor.

Dalam rekayasa sistem, pendekatan siklus hidup juga menjadi bagian penting. ISO/IEC/IEEE 15288:2023 menjelaskan proses siklus hidup sistem yang dapat digunakan untuk sistem buatan manusia, elemen sistem, dan sistem dari sistem. Pendekatan ini relevan dengan pendidikan vokasi karena setiap produk teknik memiliki tahap kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, operasi, pemeliharaan, dan penghentian. Mahasiswa perlu memahami bahwa keputusan pada satu tahap dapat memengaruhi tahap lain.

INCOSE (2023) juga menekankan pentingnya rekayasa sistem sebagai praktik yang mengelola sistem kompleks dengan banyak elemen yang saling berinteraksi. Dalam konteks vokasi, mahasiswa tidak harus mempelajari rekayasa sistem pada tingkat yang sangat teoritis. Namun, mahasiswa perlu memahami prinsip dasarnya, yaitu setiap pekerjaan teknik harus dilihat sebagai bagian dari sistem yang memiliki tujuan, batas, interaksi, kebutuhan pengguna, risiko, dan siklus hidup.

Cara berpikir sistem juga membantu mahasiswa memahami peran pemangku kepentingan. Dalam pekerjaan teknik, keputusan tidak hanya berdampak pada teknisi atau pelaksana. Keputusan dapat memengaruhi pengguna, pemilik proyek, operator, masyarakat sekitar, institusi, pemasok, dan regulator. Misalnya, pemilihan metode perbaikan jalan dapat memengaruhi keselamatan pengguna jalan, biaya pemerintah, waktu tempuh masyarakat, dan dampak lingkungan. Mahasiswa perlu belajar bahwa solusi teknik yang baik harus mempertimbangkan pihak yang terdampak.

Selain itu, berpikir sistem mendorong mahasiswa melihat keberlanjutan. Keberlanjutan tidak hanya berkaitan dengan

lingkungan, tetapi juga dengan daya tahan solusi, biaya perawatan, ketersediaan material, kemudahan operasi, dan dampak jangka panjang. Solusi yang tampak cepat dan murah dapat menjadi mahal jika sering rusak, sulit dirawat, atau menimbulkan limbah. Dalam pekerjaan teknik modern, keberlanjutan menjadi bagian dari kualitas solusi.

Berpikir sistem juga mengurangi risiko solusi parsial. Solusi parsial adalah solusi yang hanya memperbaiki satu bagian, tetapi menimbulkan masalah pada bagian lain. Contohnya adalah menaikkan kapasitas produksi tanpa memperbaiki sistem pendinginan mesin. Produksi mungkin meningkat sementara, tetapi risiko kerusakan mesin juga meningkat. Contoh lain adalah mempercepat pekerjaan konstruksi tanpa menambah pengawasan mutu. Jadwal mungkin tercapai, tetapi kualitas pekerjaan dapat menurun. Berpikir sistem membantu mahasiswa menilai konsekuensi seperti ini sebelum keputusan diterapkan.

Dalam proses pembelajaran, dosen dapat melatih berpikir sistem dengan meminta mahasiswa membuat peta hubungan masalah. Peta hubungan dapat dibuat dalam bentuk diagram sederhana. Mahasiswa menuliskan gejala, faktor penyebab, hubungan antarfaktor, data pendukung, dan dampak. Setelah itu, mahasiswa menentukan titik intervensi. Kegiatan ini dapat dilakukan pada kasus sederhana, seperti keterlambatan praktikum, kerusakan alat laboratorium, hasil uji yang tidak konsisten, atau masalah drainase kampus.

Mahasiswa juga dapat dilatih menggunakan diagram alir proses. Diagram alir membantu melihat urutan kerja dan titik rawan masalah. Dalam pekerjaan teknik, banyak masalah terjadi karena aliran proses tidak dipahami dengan baik. Misalnya, kesalahan pengujian laboratorium dapat terjadi karena urutan persiapan benda uji, kalibrasi alat, pembacaan data, atau pencatatan hasil tidak berjalan sesuai prosedur. Dengan diagram alir, mahasiswa dapat melihat titik pemeriksaan dan potensi kesalahan secara lebih jelas.

Cara berpikir sistem tidak menggantikan analisis teknis detail. Berpikir sistem justru membantu menentukan di mana analisis teknis perlu dilakukan. Setelah hubungan masalah dipetakan, mahasiswa

dapat memilih analisis yang sesuai. Misalnya, analisis hidrologi untuk masalah drainase, analisis getaran untuk masalah mesin, analisis beban untuk masalah panel listrik, atau analisis kualitas air untuk masalah lingkungan. Dengan demikian, berpikir sistem berfungsi sebagai kerangka awal untuk menentukan arah analisis.

Pada akhirnya, cara berpikir sistem membentuk mahasiswa agar lebih hati-hati dalam memahami masalah dan memilih solusi. Mahasiswa belajar bahwa masalah teknik tidak dapat dilihat secara terpisah dari konteksnya. Setiap keputusan perlu mempertimbangkan hubungan antarelemen, data, risiko, umpan balik, waktu, biaya, keselamatan, dan dampak jangka panjang. Kemampuan ini sangat penting bagi lulusan vokasi keteknikan karena mereka akan bekerja pada sistem nyata yang dinamis, terbatas, dan memiliki konsekuensi teknis.

Cara berpikir sistem membantu mahasiswa vokasi keteknikan melihat masalah sebagai bagian dari hubungan antarelemen dalam suatu sistem. Unsur penting dalam berpikir sistem meliputi elemen, hubungan, tujuan, batas sistem, umpan balik, keterlambatan dampak, trade-off, dan titik intervensi. Dengan berpikir sistem, mahasiswa dapat menghindari solusi yang hanya mengatasi gejala. Mahasiswa juga dapat memilih solusi yang lebih layak, aman, efisien, dan berkelanjutan.

E. Tanggung Jawab Teknisi, *Supervisor*, dan Praktisi Teknik

Pekerjaan teknik selalu berhubungan dengan tanggung jawab. Setiap keputusan teknis dapat memengaruhi keselamatan, mutu, biaya, waktu, lingkungan, dan kepercayaan pengguna. Karena itu, teknisi, *supervisor*, dan praktisi teknik tidak hanya dituntut mampu bekerja secara terampil. Mereka juga harus mampu bertindak secara profesional, jujur, aman, dan sesuai standar.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, pembahasan tentang tanggung jawab profesi sangat penting. Mahasiswa vokasi sering disiapkan untuk bekerja sebagai teknisi pelaksana, operator, drafter, surveyor, teknisi laboratorium, teknisi perawatan, pengawas lapangan, estimator, atau *supervisor* junior. Posisi tersebut berada

dekat dengan proses kerja nyata. Keputusan yang diambil pada level ini dapat berdampak langsung pada keberhasilan pekerjaan.

Tanggung jawab dalam pekerjaan teknik mencakup tanggung jawab teknis, tanggung jawab keselamatan, tanggung jawab mutu, tanggung jawab etika, tanggung jawab komunikasi, dan tanggung jawab terhadap lingkungan. Keenam tanggung jawab ini perlu dipahami sebagai satu kesatuan. Solusi teknik tidak dapat disebut baik jika hanya memenuhi satu aspek tetapi mengabaikan aspek lain. Solusi yang murah tetapi tidak aman tidak dapat diterima. Solusi yang cepat tetapi tidak memenuhi mutu juga tidak dapat dipertanggungjawabkan.

ABET (2025) menempatkan kemampuan menerapkan pengetahuan, keterampilan, teknik, dan alat modern untuk menyelesaikan masalah teknik sebagai bagian penting dari pendidikan teknologi rekayasa. Standar ini menunjukkan bahwa lulusan keteknikan terapan perlu memiliki kemampuan teknis yang dapat digunakan dalam pekerjaan nyata. Namun, kemampuan teknis harus disertai tanggung jawab profesional agar tindakan yang dilakukan tidak menimbulkan risiko bagi pengguna, pekerja, organisasi, dan masyarakat.

Tanggung jawab teknisi berada pada tingkat pelaksanaan teknis. Teknisi bertugas menjalankan prosedur, menggunakan alat, melakukan pengukuran, mencatat data, memeriksa kondisi, mengoperasikan sistem, dan melaporkan hasil kerja. Dalam kegiatan *problem solving*, teknisi sering menjadi pihak pertama yang melihat gejala masalah. Oleh karena itu, teknisi perlu teliti dalam mengamati kondisi, jujur dalam mencatat data, dan disiplin dalam mengikuti prosedur.

Contoh tanggung jawab teknisi dapat dilihat pada kegiatan pengujian material. Teknisi laboratorium harus menyiapkan benda uji sesuai prosedur, memastikan alat dalam kondisi layak, mencatat hasil pengujian secara benar, dan melaporkan temuan tanpa manipulasi. Jika hasil uji tidak sesuai spesifikasi, teknisi tidak boleh mengubah data agar terlihat baik. Data yang salah dapat menyebabkan keputusan teknis yang berbahaya.

Supervisor memiliki tanggung jawab yang lebih luas. *Supervisor* tidak hanya melaksanakan pekerjaan, tetapi juga mengatur, mengawasi, mengoordinasikan, dan mengevaluasi pekerjaan tim. Dalam *problem solving* teknik terapan, *supervisor* perlu memastikan bahwa masalah dipahami dengan benar, data dikumpulkan dengan cukup, tindakan perbaikan dilaksanakan sesuai prosedur, dan risiko dikendalikan. *Supervisor* juga perlu memastikan bahwa pekerjaan berjalan sesuai standar mutu, jadwal, biaya, dan keselamatan kerja.

Dalam pekerjaan lapangan, *supervisor* sering menjadi penghubung antara rencana dan pelaksanaan. Rencana teknik dapat berupa gambar kerja, spesifikasi, jadwal, metode pelaksanaan, atau instruksi kerja. Namun, kondisi lapangan dapat berubah. Material dapat terlambat. Alat dapat rusak. Cuaca dapat menghambat pekerjaan. Tenaga kerja dapat terbatas. Dalam kondisi seperti ini, *supervisor* perlu mengambil keputusan yang rasional, bukan keputusan yang hanya mengejar kecepatan.

Praktisi teknik memiliki tanggung jawab profesional yang mencakup pengambilan keputusan, kepatuhan terhadap standar, perlindungan keselamatan publik, dan integritas profesi. Praktisi teknik dapat bekerja sebagai perencana, pelaksana, pengawas, konsultan, manajer proyek, teknisi ahli, atau pengelola fasilitas. Dalam semua peran tersebut, keputusan teknis harus didasarkan pada kompetensi, data, standar, dan etika profesi.

NSPE (2019) menegaskan bahwa layanan teknik harus mengutamakan keselamatan, kesehatan, dan kesejahteraan publik. Prinsip ini relevan untuk semua bidang keteknikan, termasuk pendidikan vokasi. Walaupun tidak semua lulusan vokasi bekerja sebagai insinyur profesional, nilai dasar tersebut tetap penting. Setiap orang yang bekerja dalam bidang teknik memiliki tanggung jawab untuk tidak membahayakan orang lain melalui tindakan, kelalaian, atau keputusan yang tidak berbasis kompetensi.

Dalam konteks Indonesia, tanggung jawab keselamatan kerja juga memiliki dasar hukum. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja mengatur keselamatan dalam tempat kerja dan menegaskan perlunya syarat keselamatan

untuk melindungi tenaga kerja serta orang lain yang berada di tempat kerja. Bagi mahasiswa vokasi keteknikan, ketentuan ini menunjukkan bahwa keselamatan bukan hanya kebiasaan baik, tetapi juga bagian dari kewajiban kerja yang memiliki dasar hukum.

ISO 45001:2018 juga menekankan pentingnya sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja untuk mengelola risiko serta meningkatkan kinerja keselamatan. Prinsip ini relevan untuk pekerjaan teknik karena setiap aktivitas lapangan memiliki potensi bahaya. Bahaya dapat berasal dari alat berat, listrik, panas, bahan kimia, ketinggian, ruang terbatas, mesin berputar, beban angkat, kebisingan, debu, atau kondisi lingkungan yang tidak terkendali.

Tanggung jawab dalam *problem solving* teknik terapan tidak hanya muncul ketika solusi diterapkan. Tanggung jawab sudah dimulai sejak masalah diidentifikasi. Kesalahan dalam membaca masalah dapat menyebabkan solusi yang tidak tepat. Kesalahan dalam mengumpulkan data dapat menghasilkan analisis yang lemah. Kesalahan dalam melaporkan hasil dapat membuat pihak lain mengambil keputusan yang salah. Oleh karena itu, tanggung jawab harus hadir pada setiap tahap pemecahan masalah.

Tabel 6. Tanggung Jawab Teknisi, *Supervisor*, dan Praktisi Teknik dalam *Problem Solving* Teknik Terapan

Peran	Tanggung Jawab Utama	Bentuk Tindakan dalam <i>Problem Solving</i>	Risiko Jika Diabaikan
Teknisi	Melaksanakan pekerjaan teknis sesuai prosedur	Mengukur, menguji, mencatat data, mengoperasikan alat, dan melaporkan gejala masalah	Data tidak akurat, alat rusak, pekerjaan tidak sesuai prosedur, dan keputusan menjadi keliru
<i>Supervisor</i>	Mengawasi pelaksanaan dan mengendalikan proses kerja	Mengatur tim, memeriksa metode kerja, mengendalikan mutu, dan memastikan keselamatan	Pekerjaan tidak terkendali, risiko meningkat, mutu turun, dan jadwal terganggu
Praktisi teknik	Mengambil keputusan profesional berbasis kompetensi dan standar	Menilai alternatif solusi, memastikan kepatuhan standar, dan mempertimbangkan dampak publik	Solusi tidak layak, tidak aman, tidak etis, dan berpotensi merugikan pengguna
Tim kerja	Menjaga koordinasi dan	Berbagi data, melaporkan perubahan	Informasi terputus, kesalahan berulang, dan

Peran	Tanggung Jawab Utama	Bentuk Tindakan dalam <i>Problem Solving</i>	Risiko Jika Diabaikan
	komunikasi teknis	kondisi, dan mendokumentasikan keputusan	konflik pelaksanaan meningkat
Institusi atau organisasi	Menyediakan sistem kerja yang aman dan bermutu	Menyusun SOP, menyediakan alat, memberi pelatihan, dan melakukan evaluasi	Budaya kerja lemah, kecelakaan meningkat, dan mutu layanan menurun

Tabel 6 menunjukkan bahwa tanggung jawab dalam pekerjaan teknik terbagi menurut peran, tetapi saling berhubungan. Teknisi bertanggung jawab pada ketelitian pelaksanaan. *Supervisor* bertanggung jawab pada pengendalian proses. Praktisi teknik bertanggung jawab pada keputusan profesional. Tim kerja bertanggung jawab pada koordinasi. Organisasi bertanggung jawab pada sistem yang memungkinkan pekerjaan dilakukan secara aman dan bermutu.

Tanggung jawab teknisi, *supervisor*, dan praktisi teknik juga berkaitan dengan integritas data. Data merupakan dasar utama dalam *problem solving*. Data dapat berupa hasil ukur, hasil uji, catatan inspeksi, foto lapangan, log perawatan, gambar kerja, laporan kerusakan, atau data sensor. Data harus dicatat sesuai kondisi sebenarnya. Manipulasi data, penghilangan data, atau pencatatan asal-asalan dapat menyebabkan keputusan yang salah dan membahayakan pihak lain.

Dalam bidang teknik sipil, integritas data terlihat pada pengujian tanah, beton, baja, aspal, dan pengukuran lapangan. Dalam bidang teknik mesin, integritas data terlihat pada pengukuran getaran, suhu, tekanan, dimensi, dan keausan komponen. Dalam bidang teknik elektro, integritas data terlihat pada pengukuran arus, tegangan, tahanan isolasi, suhu panel, dan beban. Dalam semua bidang tersebut, data yang benar menjadi syarat awal untuk solusi yang benar.

Tanggung jawab berikutnya adalah kepatuhan terhadap standar dan prosedur. Standar membantu pekerjaan teknik dilakukan secara konsisten, aman, dan dapat diperiksa. Prosedur membantu teknisi dan *supervisor* menjalankan pekerjaan dengan urutan yang benar. Dalam *problem solving*, standar digunakan untuk menilai apakah suatu

kondisi masih dapat diterima atau sudah menyimpang. Prosedur digunakan untuk memastikan bahwa tindakan perbaikan tidak menimbulkan masalah baru.

Kepatuhan terhadap standar tidak berarti menghambat inovasi. Inovasi tetap diperlukan, tetapi harus dilakukan dalam batas keselamatan, mutu, dan regulasi. Mahasiswa perlu memahami bahwa solusi inovatif tidak boleh mengabaikan prinsip dasar teknik. Solusi yang tampak kreatif tetapi tidak aman, tidak teruji, atau tidak sesuai standar dapat menimbulkan risiko yang lebih besar daripada masalah awal.

Tanggung jawab keselamatan kerja menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dari pekerjaan teknik. Setiap tahap *problem solving* perlu mempertimbangkan bahaya dan risiko. Saat mengidentifikasi masalah, teknisi perlu melihat apakah kondisi kerja aman untuk diperiksa. Saat mengumpulkan data, mahasiswa perlu menggunakan alat pelindung diri dan alat ukur yang sesuai. Saat menguji solusi, *supervisor* perlu memastikan area kerja terkendali. Saat solusi diterapkan, praktisi teknik perlu memastikan dampak terhadap pekerja dan pengguna.

Keselamatan kerja juga berkaitan dengan kewenangan. Tidak semua orang boleh melakukan semua pekerjaan. Beberapa pekerjaan membutuhkan kompetensi khusus, izin kerja, pengawasan, atau sertifikasi. Contohnya pekerjaan kelistrikan, pekerjaan pada ketinggian, pekerjaan pengangkatan beban, pekerjaan ruang terbatas, dan pekerjaan dengan bahan berbahaya. Mahasiswa perlu memahami batas kewenangan dirinya. Jika suatu pekerjaan berada di luar kompetensi, tindakan yang tepat adalah melapor, meminta arahan, atau menyerahkan kepada pihak yang berwenang.



Rantai Tanggung Jawab dalam Problem Solving Teknik Terapan

Prinsip Utama

- ✓ Kompeten
- ✓ Berwenang
- ✓ Aman
- ✓ Bertanggung Jawab



Gambar 6. Rantai Tanggung Jawab dalam Problem Solving Teknik Terapan

Gambar 6 menunjukkan bahwa tanggung jawab dalam *problem solving* teknik terapan membentuk rantai kerja. Proses dimulai dari identifikasi masalah oleh teknisi atau tim lapangan. Data kemudian divalidasi dan dikendalikan oleh *supervisor*. Praktisi teknik menggunakan data tersebut untuk menetapkan keputusan teknis. Setelah solusi diterapkan, hasilnya dievaluasi dan didokumentasikan. Rantai ini membantu memastikan bahwa keputusan tidak dibuat secara terpisah dari data, pengawasan, standar, dan evaluasi.

Tanggung jawab komunikasi juga sangat penting. Masalah teknik sering melibatkan banyak pihak. Jika komunikasi lemah, informasi penting dapat hilang. Teknisi harus mampu melaporkan gejala masalah secara jelas. *Supervisor* harus mampu menerjemahkan temuan lapangan menjadi instruksi kerja. Praktisi teknik harus mampu menjelaskan alasan teknis kepada pengguna, pemilik pekerjaan, atau tim lain. Komunikasi teknis yang baik harus spesifik, berbasis data, dan tidak menimbulkan salah tafsir.

Contoh komunikasi teknis yang lemah adalah laporan “mesin rusak” atau “beton jelek”. Laporan seperti ini terlalu umum. Laporan yang lebih baik harus menjelaskan gejala, lokasi, waktu, kondisi, data pendukung, dan tindakan sementara. Misalnya, “motor pompa mengalami kenaikan suhu dari 65 derajat Celsius menjadi 92 derajat Celsius setelah beroperasi selama 30 menit pada beban normal. Pemeriksaan awal menunjukkan suara bearing meningkat dan getaran terasa pada sisi kanan rumah pompa.” Laporan seperti ini lebih berguna untuk analisis.

Tanggung jawab dokumentasi juga perlu ditekankan. Dokumentasi merupakan bukti proses kerja. Dokumentasi dapat berupa formulir inspeksi, foto, video, hasil pengukuran, laporan uji, berita acara, gambar revisi, catatan perawatan, dan laporan tindakan korektif. Dalam *problem solving*, dokumentasi membantu tim menelusuri proses berpikir, memeriksa keputusan, dan mencegah kesalahan berulang. Dokumentasi juga penting untuk akuntabilitas.

Selain itu, teknisi, *supervisor*, dan praktisi teknik memiliki tanggung jawab terhadap lingkungan. Banyak pekerjaan teknik menghasilkan dampak lingkungan, seperti limbah material, emisi,

kebisingan, debu, air limbah, penggunaan energi, dan perubahan kondisi lahan. *Problem solving* yang baik harus mempertimbangkan dampak tersebut. Solusi yang mengurangi biaya tetapi meningkatkan pencemaran tidak dapat disebut sebagai solusi yang bertanggung jawab.

Tanggung jawab profesional juga mencakup kemampuan menolak tindakan yang tidak aman atau tidak etis. Dalam pekerjaan nyata, teknisi atau *supervisor* dapat menghadapi tekanan untuk mempercepat pekerjaan, menutup kekurangan mutu, menggunakan material yang tidak sesuai, mengabaikan prosedur keselamatan, atau mengubah data. Dalam situasi seperti ini, tanggung jawab profesional menuntut keberanian untuk menyampaikan risiko dan mempertahankan standar kerja.

Pendidikan vokasi keteknikan perlu melatih tanggung jawab tersebut sejak proses pembelajaran. Mahasiswa perlu dibiasakan mencatat data apa adanya, mengikuti prosedur laboratorium, menggunakan alat pelindung diri, melaporkan kesalahan, dan menyusun laporan yang jujur. Dosen juga perlu memberi penilaian bukan hanya pada hasil akhir, tetapi juga pada proses, disiplin, keselamatan, dan integritas. Dengan demikian, tanggung jawab profesional tidak hanya diajarkan sebagai konsep, tetapi dibentuk sebagai kebiasaan.

Tanggung jawab teknisi, *supervisor*, dan praktisi teknik juga berkaitan dengan pembelajaran sepanjang hayat. Teknologi, standar, alat kerja, dan metode pelaksanaan terus berkembang. Praktisi teknik perlu memperbarui pengetahuan agar keputusan yang diambil tetap relevan. Dalam bidang vokasi, pembelajaran sepanjang hayat dapat dilakukan melalui pelatihan, sertifikasi, magang industri, diskusi teknis, membaca standar, atau evaluasi pengalaman kerja.

Dalam *problem solving* teknik terapan, tanggung jawab tidak boleh dipahami sebagai beban administratif. Tanggung jawab adalah bagian dari kualitas kerja. Pekerjaan yang bertanggung jawab akan menghasilkan data yang lebih akurat, keputusan yang lebih tepat, risiko yang lebih terkendali, mutu yang lebih baik, dan kepercayaan yang lebih tinggi. Sebaliknya, pekerjaan tanpa tanggung jawab dapat

menghasilkan kecelakaan, kerusakan, pemborosan, konflik, dan kegagalan teknis.

Dengan demikian, teknisi, *supervisor*, dan praktisi teknik memiliki peran yang saling melengkapi dalam pemecahan masalah. Teknisi berperan pada pengamatan, pengukuran, dan pelaksanaan. *Supervisor* berperan pada pengawasan, koordinasi, dan pengendalian. Praktisi teknik berperan pada penilaian profesional, keputusan, dan pertanggungjawaban. Ketiga peran ini harus bekerja dengan dasar yang sama, yaitu kompetensi, data, standar, keselamatan, etika, dan kepentingan publik.

Tanggung jawab teknisi, *supervisor*, dan praktisi teknik merupakan bagian penting dalam *problem solving* teknik terapan. Teknisi bertanggung jawab pada pelaksanaan, pengukuran, pencatatan, dan pelaporan. *Supervisor* bertanggung jawab pada pengawasan, koordinasi, validasi data, dan pengendalian risiko. Praktisi teknik bertanggung jawab pada keputusan profesional, kepatuhan standar, keselamatan publik, dan dampak solusi. Seluruh tanggung jawab tersebut perlu dijalankan dengan integritas data, komunikasi teknis, dokumentasi, keselamatan kerja, dan etika profesi.



BAB 2

KARAKTER TANTANGAN LAPANGAN DALAM DUNIA TEKNIK

Dunia teknik tidak pernah lepas dari tantangan lapangan. Tantangan tersebut dapat muncul di bengkel, laboratorium, studio, proyek konstruksi, pabrik, instalasi, area perawatan, maupun lingkungan kerja berbasis layanan teknis. Bentuknya dapat berupa kerusakan alat, ketidaksesuaian mutu, keterlambatan pekerjaan, kegagalan prosedur, hasil pengujian yang menyimpang, risiko keselamatan, gangguan sistem, atau keterbatasan sumber daya. Tantangan seperti ini menjadi ruang utama bagi mahasiswa vokasi keteknikan untuk belajar menerapkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap profesional.

Bab ini membahas karakter tantangan lapangan dalam dunia teknik. Pembahasan ini penting karena masalah lapangan berbeda dari masalah yang disusun dalam buku ajar atau soal latihan. Masalah lapangan sering tidak lengkap, tidak rapi, dan tidak langsung menunjukkan penyebab utama. Data dapat tersebar. Kondisi kerja dapat berubah. Faktor manusia, alat, material, metode, lingkungan, waktu, biaya, dan standar dapat saling memengaruhi. Oleh karena itu, mahasiswa perlu memahami karakter masalah lapangan sebelum merumuskan masalah dan menyusun solusi.

Pendidikan vokasi keteknikan memiliki kedekatan langsung dengan dunia kerja. UNESCO (2022) menegaskan bahwa Technical and Vocational Education and Training atau TVET berada pada hubungan antara pendidikan dan dunia kerja, serta perlu membantu peserta didik beradaptasi dengan transisi digital, hijau, dan inklusif. Dalam konteks ini, pembelajaran vokasi tidak cukup hanya berisi teori dan prosedur. Pembelajaran vokasi perlu melatih mahasiswa membaca kondisi nyata, mengenali risiko, menggunakan data, serta mengambil keputusan teknis yang dapat diterapkan.

Tantangan lapangan juga menuntut kemampuan menggunakan alat, metode, dan teknologi secara tepat. ABET (2025) menempatkan kemampuan menerapkan pengetahuan, teknik, keterampilan, dan alat

modern untuk menyelesaikan masalah teknik sebagai bagian penting dari capaian pendidikan teknologi rekayasa. Pandangan ini sejalan dengan kebutuhan pendidikan vokasi, yaitu menghasilkan lulusan yang mampu bekerja dengan alat, standar, data, komunikasi teknis, dan kerja tim. Tantangan lapangan menjadi media untuk melatih kemampuan tersebut secara nyata.

Dalam dunia kerja teknik, masalah tidak selalu muncul sebagai pernyataan yang jelas. Masalah sering muncul sebagai gejala. Misalnya, hasil uji beton tidak memenuhi mutu rencana, mesin bergetar saat beroperasi, panel listrik sering trip, produk tidak sesuai toleransi, instalasi pipa bocor, saluran drainase meluap, atau alat ukur memberikan hasil yang tidak konsisten. Gejala tersebut belum tentu menunjukkan akar masalah. Praktisi teknik perlu mengamati, mengukur, membandingkan, menelusuri, dan memverifikasi sebelum menentukan tindakan.

Tantangan lapangan juga memiliki konsekuensi yang nyata. Kesalahan dalam membaca kondisi dapat menurunkan mutu pekerjaan. Kesalahan dalam menggunakan alat dapat merusak peralatan. Kesalahan dalam menilai risiko dapat menyebabkan kecelakaan kerja. Kesalahan dalam mencatat data dapat menghasilkan keputusan yang keliru. Karena itu, pemecahan masalah lapangan harus dilakukan secara hati-hati, berbasis data, mengikuti standar, dan memperhatikan keselamatan.

Keselamatan menjadi bagian utama dari pekerjaan teknik. International Labour Organization & (2022) menyatakan bahwa lingkungan kerja yang aman dan sehat telah diakui sebagai prinsip dan hak mendasar di tempat kerja. ISO 45001:2018 juga memberikan kerangka sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja untuk membantu organisasi mengelola risiko dan meningkatkan kinerja keselamatan (International Organization for Standardization, 2018). Dua rujukan ini memperkuat bahwa tantangan lapangan tidak boleh hanya dilihat dari sisi teknis, tetapi juga dari sisi keselamatan manusia.

Dalam konteks pendidikan vokasi, mahasiswa perlu memahami bahwa lapangan merupakan tempat belajar yang kompleks. Lapangan bukan hanya lokasi praktik. Lapangan adalah ruang tempat teori diuji, prosedur diterapkan, alat digunakan, data dikumpulkan, dan keputusan

dibuat. Mahasiswa yang mampu memahami karakter tantangan lapangan akan lebih siap menghadapi kegiatan praktikum, proyek, magang industri, teaching factory, dan tugas akhir berbasis masalah nyata.

Bab ini juga menekankan pentingnya observasi. Observasi merupakan langkah awal dalam mengenali tantangan lapangan. Observasi yang baik tidak hanya melihat apa yang tampak, tetapi juga mencatat kondisi, waktu, lokasi, alat, orang yang terlibat, prosedur yang digunakan, serta perubahan yang terjadi. Observasi membantu mahasiswa membedakan antara gejala, dugaan penyebab, dan bukti teknis. Tanpa observasi yang baik, proses *problem solving* dapat dimulai dari asumsi yang keliru.

Selain observasi, mahasiswa juga perlu memahami konteks kerja. Konteks kerja meliputi tempat, tujuan pekerjaan, standar yang digunakan, sumber daya yang tersedia, batas waktu, sistem pengawasan, dan kebutuhan pengguna. Masalah yang sama dapat membutuhkan solusi berbeda jika konteksnya berbeda. Retak pada beton laboratorium, misalnya, tidak dapat langsung disamakan dengan retak pada struktur bangunan yang sedang digunakan. Gangguan mesin pada praktikum tidak dapat langsung disamakan dengan gangguan mesin produksi yang memengaruhi target pabrik.

Tabel 7 menyajikan beberapa karakter utama tantangan lapangan dalam dunia teknik. Tabel ini membantu pembaca memahami bahwa tantangan lapangan tidak hanya berkaitan dengan kerusakan fisik, tetapi juga berkaitan dengan data, manusia, prosedur, risiko, dan keputusan.

Tabel 7. Karakter Utama Tantangan Lapangan dalam Dunia Teknik

Karakter Tantangan Lapangan	Makna dalam Pekerjaan Teknik	Contoh Situasi
Data tidak selalu lengkap	Informasi awal sering terbatas dan perlu dikumpulkan melalui pengukuran atau inspeksi	Penyebab genangan belum jelas sebelum dimensi saluran, kemiringan, dan hambatan aliran diperiksa
Gejala belum tentu akar masalah	Kondisi yang terlihat hanya tanda awal dari masalah yang lebih dalam	Panel listrik trip bukan hanya karena MCB rusak, tetapi dapat dipengaruhi beban lebih atau sambungan longgar

Karakter Tantangan Lapangan	Makna dalam Pekerjaan Teknik	Contoh Situasi
Banyak faktor saling berhubungan	Manusia, alat, bahan, metode, lingkungan, dan waktu dapat memengaruhi hasil kerja	Keterlambatan proyek dapat dipengaruhi material, cuaca, tenaga kerja, alat, dan koordinasi
Risiko nyata harus dikendalikan	Kesalahan teknis dapat berdampak pada keselamatan, biaya, mutu, dan lingkungan	Pengujian alat berputar tanpa pelindung dapat membahayakan operator
Standar menjadi acuan kerja	Kondisi lapangan perlu dibandingkan dengan spesifikasi, SOP, atau standar teknis	Hasil uji kuat tekan beton dibandingkan dengan mutu rencana
Solusi perlu layak diterapkan	Solusi harus sesuai dengan alat, tenaga, biaya, waktu, dan kondisi setempat	Perbaikan sistem drainase harus mempertimbangkan lahan, elevasi, dan biaya pekerjaan
Dokumentasi menjadi bukti	Foto, data ukur, formulir, dan laporan diperlukan untuk menelusuri keputusan	Laporan inspeksi menjadi dasar tindakan korektif dan evaluasi mutu

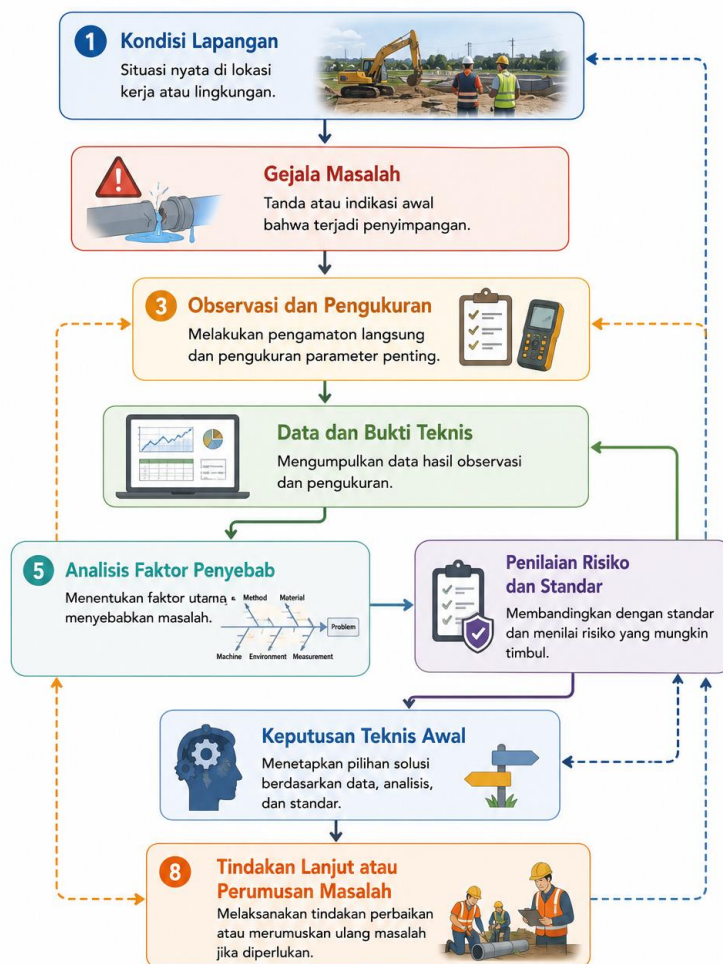
Tabel 7 menunjukkan bahwa tantangan lapangan bersifat kompleks dan kontekstual. Mahasiswa tidak dapat menyelesaikannya hanya dengan mengandalkan hafalan teori. Mahasiswa perlu menggabungkan pengetahuan teknis, observasi, data, standar, keselamatan, dan komunikasi. Dengan memahami karakter tersebut, mahasiswa dapat lebih siap memasuki pembahasan subbab berikutnya tentang kondisi nyata pekerjaan di bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan.

Tantangan lapangan dalam dunia teknik juga dipengaruhi oleh perubahan teknologi. Digitalisasi, otomasi, sensor, perangkat lunak desain, sistem *monitoring*, dan kecerdasan buatan mulai banyak digunakan dalam pekerjaan teknik. Perubahan ini memberi peluang baru, tetapi juga menciptakan tantangan baru. Mahasiswa perlu memahami cara membaca data digital, menggunakan perangkat lunak secara kritis, menjaga akurasi input, dan memvalidasi hasil keluaran teknologi. Teknologi dapat membantu *problem solving*, tetapi tidak boleh menggantikan penalaran teknis.

Perubahan tuntutan industri juga membuat mahasiswa perlu mengembangkan kemampuan adaptif. OECD (2024) menjelaskan

bahwa *adaptive problem solving* penting dalam menghadapi kondisi dinamis ketika cara penyelesaian tidak selalu tersedia sejak awal. Dalam pekerjaan teknik, kondisi semacam ini sering terjadi. Alat dapat gagal bekerja, data tidak konsisten, kebutuhan pengguna berubah, dan kondisi lingkungan tidak sesuai rencana. Mahasiswa perlu dilatih agar mampu menyesuaikan strategi tanpa mengabaikan standar dan keselamatan.

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara kondisi lapangan, gejala masalah, data, analisis, dan keputusan teknis. Gambar ini menjadi pengantar alur berpikir yang digunakan dalam Bab 2.



Gambar 7. Hubungan Kondisi Lapangan, Gejala Masalah, dan Keputusan Teknis

Gambar 7 menjelaskan bahwa tantangan lapangan perlu dibaca secara bertahap. Proses dimulai dari kondisi nyata yang diamati. Kondisi tersebut dapat menunjukkan gejala masalah. Gejala kemudian diperiksa melalui observasi dan pengukuran. Data yang diperoleh digunakan untuk menganalisis faktor penyebab. Setelah itu, mahasiswa perlu menilai risiko dan membandingkan kondisi dengan standar. Hasilnya menjadi dasar keputusan teknis awal atau perumusan masalah yang lebih jelas.

Bab ini terdiri atas enam subbab. Subbab pertama membahas kondisi nyata pekerjaan di bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan. Pembahasan ini membantu mahasiswa mengenali variasi lingkungan kerja teknik. Subbab kedua membahas kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan. Subbab ini penting karena banyak masalah muncul ketika gambar, jadwal, metode, dan sumber daya tidak sesuai dengan kondisi nyata. Subbab ketiga membahas faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan kerja sebagai unsur yang sering memengaruhi hasil pekerjaan.

Subbab keempat membahas gejala masalah pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas. Subbab ini mengarahkan mahasiswa untuk membaca masalah dari beberapa indikator kinerja. Subbab kelima membahas tantangan teknik pada era otomasi dan digitalisasi industri. Subbab ini penting karena dunia kerja semakin banyak menggunakan sistem digital, sensor, data, dan perangkat lunak. Subbab keenam membahas penyusunan agenda observasi lapangan. Subbab ini memberi dasar praktis agar mahasiswa mampu melakukan pengamatan secara sistematis.

Setelah mempelajari Bab 2, pembaca diharapkan mampu mengenali karakter tantangan lapangan dalam dunia teknik, membedakan gejala dan faktor penyebab awal, memahami variasi lingkungan kerja teknik, serta menyusun langkah awal observasi lapangan. Kemampuan ini menjadi dasar penting sebelum pembaca masuk ke Bab 3 tentang perumusan masalah teknik secara sistematis. Setelah mempelajari Bab 2, pembaca diharapkan mampu:

1. Menjelaskan karakter tantangan lapangan dalam dunia teknik.
2. Mengidentifikasi kondisi nyata pekerjaan di bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan.

3. Menjelaskan kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan teknik.
4. Menguraikan faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan kerja sebagai penyebab awal masalah.
5. Mengenali gejala masalah pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas.
6. Menjelaskan tantangan teknik pada era otomasi dan digitalisasi industri.
7. Menyusun agenda observasi lapangan secara sistematis.

Bab ini membahas karakter tantangan lapangan dalam dunia teknik. Pembahasan mencakup kondisi nyata tempat kerja teknik, kesenjangan antara rencana dan pelaksanaan, faktor penyebab masalah, indikator gejala masalah, pengaruh digitalisasi industri, serta teknik menyusun agenda observasi lapangan. Ruang lingkup ini disusun agar mahasiswa memiliki kemampuan awal dalam membaca masalah sebelum melakukan perumusan masalah, pengumpulan data, dan analisis akar masalah pada bab berikutnya.

A. Kondisi Nyata Pekerjaan di Bengkel, Laboratorium, Studio, dan Lapangan

Kondisi nyata pekerjaan teknik memiliki karakter yang berbeda sesuai tempat kerja. Bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan memiliki tujuan, alat, risiko, data, prosedur, serta pola interaksi yang tidak sama. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami perbedaan tersebut karena setiap tempat kerja menuntut cara berpikir dan tindakan teknis yang berbeda. Pemahaman ini menjadi dasar sebelum mahasiswa melakukan observasi, mengidentifikasi masalah, mengumpulkan data, dan menyusun solusi.

Pendidikan vokasi keteknikan berorientasi pada kesiapan kerja. Oleh karena itu, pembelajaran tidak cukup dilakukan melalui teori di ruang kelas. Mahasiswa perlu berhadapan dengan lingkungan kerja yang nyata atau menyerupai kondisi nyata. UNESCO (2022) menegaskan bahwa pendidikan dan pelatihan teknik vokasi berperan dalam menghubungkan pendidikan dengan dunia kerja, serta perlu menyiapkan peserta didik menghadapi perubahan ekonomi digital, hijau, dan inklusif. Dalam konteks tersebut, bengkel, laboratorium,

studio, dan lapangan menjadi ruang belajar utama untuk membentuk kompetensi teknis, analitis, praktis, dan profesional.

Kondisi nyata pekerjaan teknik juga berkaitan dengan kemampuan menerapkan pengetahuan, teknik, keterampilan, dan alat modern. ABET (2025) menempatkan kemampuan menggunakan pengetahuan, teknik, keterampilan, dan alat modern untuk menyelesaikan masalah teknik sebagai salah satu capaian penting dalam pendidikan teknologi rekayasa. Pandangan ini menunjukkan bahwa mahasiswa vokasi tidak hanya perlu memahami konsep, tetapi juga perlu mampu bekerja dengan alat, bahan, data, prosedur, standar, keselamatan, dan komunikasi teknis.

Bengkel merupakan tempat kerja yang menekankan keterampilan operasional dan tindakan teknis langsung. Di bengkel, mahasiswa berhadapan dengan alat tangan, mesin, peralatan kerja, bahan, komponen, proses perakitan, pemeliharaan, dan perbaikan. Lingkungan bengkel menuntut kedisiplinan tinggi karena banyak aktivitas melibatkan gerakan mekanis, panas, listrik, tekanan, benda tajam, beban angkat, atau bahan yang dapat menimbulkan risiko. Kesalahan kecil dalam penggunaan alat dapat menyebabkan kerusakan benda kerja, kegagalan proses, atau kecelakaan.

Dalam bengkel teknik, masalah sering muncul dalam bentuk kesalahan ukuran, hasil pekerjaan tidak presisi, alat tidak bekerja normal, komponen aus, mesin bergetar, sambungan tidak kuat, atau hasil produksi tidak seragam. Mahasiswa perlu belajar membedakan apakah masalah berasal dari operator, alat, bahan, metode kerja, atau kondisi lingkungan. Misalnya, hasil pemotongan yang tidak lurus dapat disebabkan oleh kesalahan pengaturan alat, benda kerja tidak terikat kuat, mata potong aus, getaran mesin, atau teknik operator yang kurang tepat.

Laboratorium memiliki karakter yang berbeda. Laboratorium menekankan pengujian, pengukuran, kalibrasi, validasi, dan analisis data. Dalam laboratorium, mahasiswa tidak hanya melakukan praktik, tetapi juga menghasilkan data yang menjadi dasar keputusan teknis. Data laboratorium harus akurat, dapat ditelusuri, dan diperoleh melalui prosedur yang benar. ISO/IEC 17025:2017 menekankan

pentingnya kompetensi, ketidakberpihakan, dan konsistensi operasi laboratorium pengujian dan kalibrasi (International Organization for Standardization, 2017). Prinsip ini relevan bagi pendidikan vokasi karena laboratorium menjadi tempat mahasiswa belajar menghasilkan bukti teknis yang dapat dipercaya.

Masalah di laboratorium sering muncul dalam bentuk hasil uji yang tidak konsisten, alat ukur tidak stabil, prosedur tidak diikuti, sampel tidak sesuai, data tidak lengkap, atau kesalahan pencatatan. Dalam bidang teknik sipil, laboratorium dapat digunakan untuk menguji kuat tekan beton, kadar air tanah, gradasi agregat, kepadatan tanah, atau mutu aspal. Dalam teknik mesin, laboratorium dapat digunakan untuk menguji kekerasan material, getaran, pelumasan, atau performa mesin. Dalam teknik elektro, laboratorium dapat digunakan untuk menguji rangkaian, beban, tahanan isolasi, dan sistem kendali. Setiap hasil uji perlu dipahami sebagai data teknis yang memiliki konsekuensi terhadap keputusan.

Studio merupakan lingkungan kerja yang menekankan perancangan, visualisasi, komunikasi ide, dan pengembangan alternatif solusi. Studio banyak digunakan dalam bidang arsitektur, desain konstruksi, perencanaan, pemetaan, geospasial, teknik sipil, desain produk, dan desain sistem. Di studio, mahasiswa berhadapan dengan gambar, model, perangkat lunak, sketsa, simulasi, peta, maket, dokumen teknis, dan presentasi. Studio menuntut kemampuan berpikir visual, komunikasi grafis, interpretasi kebutuhan pengguna, dan penyusunan solusi berbasis desain.

Masalah di studio sering muncul dalam bentuk ketidaksesuaian gambar, konflik antara kebutuhan pengguna dan batas teknis, kesalahan skala, informasi desain yang belum lengkap, revisi berulang, atau kesulitan menerjemahkan konsep menjadi dokumen kerja. Dalam pekerjaan teknik, kesalahan gambar atau dokumen desain dapat menimbulkan masalah besar di lapangan. Misalnya, kesalahan elevasi pada gambar drainase dapat menyebabkan aliran tidak berfungsi. Kesalahan detail sambungan dapat mengganggu pelaksanaan. Kesalahan spesifikasi dapat menyebabkan material yang digunakan tidak sesuai kebutuhan.

Lapangan merupakan lingkungan kerja yang paling kompleks karena kondisi nyata sering tidak sepenuhnya dapat dikendalikan. Di lapangan, mahasiswa dan praktisi berhadapan dengan cuaca, tanah, ruang terbatas, lalu lintas, masyarakat, pekerja, alat berat, material, perubahan desain, kondisi eksisting, dan keterbatasan waktu. Lapangan menuntut kemampuan observasi, koordinasi, komunikasi, pengambilan keputusan, dan pengendalian risiko. Masalah lapangan dapat muncul secara cepat dan memerlukan respons yang tepat.

Dalam pekerjaan lapangan, data sering belum tersedia secara lengkap. Praktisi perlu melakukan pengukuran, dokumentasi, wawancara teknis, pemeriksaan visual, pengujian sederhana, dan pengecekan dokumen. Masalah yang muncul dapat berupa perbedaan antara gambar dan kondisi aktual, keterlambatan material, alat rusak, pekerjaan tidak sesuai spesifikasi, kondisi tanah tidak sesuai asumsi, genangan air, konflik utilitas, atau risiko keselamatan. Karena itu, lapangan menjadi ruang penting untuk melatih *problem solving* secara utuh.

Keselamatan kerja menjadi isu penting pada semua lingkungan tersebut. ISO 45001:2018 menjelaskan bahwa sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja membantu organisasi mengelola risiko dan meningkatkan kinerja keselamatan (International Organization for Standardization, 2018). ILO (2022) juga menegaskan pentingnya lingkungan kerja yang aman dan sehat sebagai prinsip dan hak mendasar di tempat kerja. Dalam pendidikan vokasi, prinsip ini perlu diterapkan melalui penggunaan alat pelindung diri, prosedur kerja aman, izin kerja, pemeriksaan alat, identifikasi bahaya, dan pelaporan insiden.

Kondisi nyata di bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan tidak hanya berbeda dari sisi tempat. Perbedaanannya juga terlihat pada jenis masalah, jenis data, pola kerja, standar yang digunakan, dan bentuk tanggung jawab. Bengkel menuntut ketepatan tindakan teknis. Laboratorium menuntut ketelitian data. Studio menuntut ketepatan desain dan komunikasi visual. Lapangan menuntut kemampuan menyesuaikan solusi dengan kondisi aktual. Tabel 8 menyajikan perbandingan karakter setiap lingkungan kerja.

Tabel 8. Karakter Kondisi Nyata Pekerjaan di Bengkel, Laboratorium, Studio, dan Lapangan

Lingkungan Kerja	Fokus Utama	Jenis Masalah yang Sering Muncul	Data atau Bukti yang Dibutuhkan	Risiko Utama
Bengkel	Operasi alat, pembuatan, perakitan, perawatan, dan perbaikan	Alat tidak presisi, komponen aus, hasil kerja tidak seragam, mesin bergetar, benda kerja rusak	Ukuran benda kerja, kondisi alat, catatan perawatan, foto kerusakan, hasil pemeriksaan komponen	Cedera akibat alat, mesin bergerak, panas, listrik, beban, dan benda tajam
Laboratorium	Pengujian, pengukuran, kalibrasi, dan validasi data	Hasil uji tidak konsisten, sampel tidak sesuai, alat ukur tidak stabil, data tidak lengkap	Hasil uji, sertifikat kalibrasi, prosedur pengujian, kondisi sampel, lembar pencatatan data	Kesalahan data, paparan bahan, kerusakan alat, dan keputusan teknis yang keliru
Studio	Perancangan, visualisasi, pemodelan, dan komunikasi teknis	Kesalahan gambar, konflik desain, revisi berulang, skala tidak tepat, spesifikasi belum jelas	Gambar kerja, model digital, sketsa, peta, spesifikasi, catatan revisi, kebutuhan pengguna	Kesalahan desain, salah tafsir dokumen, dan kegagalan komunikasi teknis
Lapangan	Pelaksanaan, inspeksi, pengawasan, koordinasi, dan penyesuaian kondisi aktual	Perbedaan gambar dan kondisi aktual, keterlambatan, mutu rendah, cuaca, alat rusak, risiko kerja	Hasil pengukuran, foto lapangan, laporan harian, checklist inspeksi, data cuaca, berita acara	Kecelakaan kerja, pemborosan biaya, keterlambatan, kerusakan lingkungan, dan kegagalan mutu

Tabel 8 menunjukkan bahwa setiap lingkungan kerja memiliki karakter yang khas. Bengkel lebih dekat dengan keterampilan operasional. Laboratorium lebih dekat dengan keandalan data. Studio lebih dekat dengan desain dan komunikasi teknis. Lapangan lebih dekat dengan pelaksanaan dan pengambilan keputusan dalam kondisi berubah. Perbedaan ini penting dipahami agar mahasiswa tidak menggunakan pendekatan yang sama untuk semua masalah. Setiap tempat kerja memerlukan cara observasi, pengumpulan data, dan pengendalian risiko yang sesuai.

Kondisi nyata di bengkel membutuhkan disiplin kerja yang kuat. Sebelum menggunakan alat, mahasiswa perlu memeriksa kondisi alat, memahami fungsi alat, menggunakan alat pelindung diri, dan mengikuti instruksi kerja. Kegiatan bengkel harus dimulai dari persiapan, pengaturan benda kerja, pemilihan alat, proses pengerjaan, pemeriksaan hasil, pembersihan area, dan pencatatan temuan. Tahapan ini penting karena masalah di bengkel sering muncul akibat kelalaian kecil, seperti benda kerja tidak terkunci, alat tidak sesuai, atau ukuran tidak diperiksa ulang.

Di laboratorium, disiplin pencatatan menjadi hal utama. Data yang tidak dicatat dengan lengkap akan sulit ditafsirkan. Data yang dicatat tanpa satuan akan mudah menimbulkan kesalahan. Data yang diperoleh dari alat yang tidak terkalibrasi dapat menghasilkan kesimpulan yang lemah. Oleh karena itu, mahasiswa perlu memahami bahwa hasil laboratorium bukan hanya angka. Hasil laboratorium adalah bukti teknis yang harus memiliki prosedur, konteks, satuan, alat, tanggal, kondisi sampel, dan penanggung jawab.

Di studio, ketelitian komunikasi visual menjadi kunci. Gambar, model, dan dokumen teknis harus dapat dipahami oleh pihak lain. Dalam dunia teknik, desain yang baik bukan hanya menarik, tetapi juga jelas, terukur, dan dapat dilaksanakan. Mahasiswa perlu belajar memberi dimensi, simbol, legenda, keterangan material, elevasi, skala, dan revisi secara benar. Kesalahan komunikasi di studio dapat berpindah menjadi kesalahan pelaksanaan di lapangan.

Di lapangan, kemampuan adaptasi sangat penting. Kondisi lapangan dapat berubah karena cuaca, akses, alat, pekerja, material, dan kondisi eksisting. Namun, adaptasi tidak berarti bekerja tanpa aturan. Adaptasi harus dilakukan dengan dasar data, komunikasi, standar, dan persetujuan yang sesuai. Misalnya, perubahan metode kerja karena hujan harus mempertimbangkan keselamatan, mutu, jadwal, dan dokumentasi. Perubahan material harus diperiksa kesesuaiannya dengan spesifikasi. Perubahan desain harus melalui proses persetujuan teknis.

Gambar 8 memperlihatkan hubungan antara empat lingkungan kerja teknik dan jenis kompetensi yang dominan di dalamnya.

Gambar ini tidak menunjukkan bahwa satu lingkungan hanya membutuhkan satu kompetensi. Semua lingkungan tetap membutuhkan kompetensi teknis, analitis, praktis, komunikasi, dan keselamatan. Namun, setiap lingkungan memiliki penekanan yang berbeda.



Gambar 8. Hubungan Lingkungan Kerja Teknik dan Kompetensi Dominan

Gambar 8 menjelaskan bahwa bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan berkontribusi terhadap pembentukan kemampuan *problem solving* teknik terapan. Bengkel melatih keterampilan operasional. Laboratorium melatih keakuratan data. Studio melatih perancangan dan komunikasi teknis. Lapangan melatih observasi, koordinasi, pengawasan, dan pengambilan keputusan. Seluruh kompetensi tersebut bertemu dalam proses *problem solving* yang berbasis data, standar, keselamatan, dan konteks nyata.

Dalam pendidikan vokasi, dosen perlu menghubungkan empat lingkungan kerja tersebut secara terpadu. Mahasiswa dapat memulai dari studio untuk memahami desain, masuk ke laboratorium untuk menguji material atau data, bekerja di bengkel untuk membuat atau memperbaiki komponen, lalu melakukan observasi lapangan untuk melihat penerapan nyata. Alur ini membuat mahasiswa memahami bahwa pekerjaan teknik bukan kumpulan aktivitas terpisah, tetapi sistem kerja yang saling berkaitan.

Contoh integrasi dapat dilihat pada kasus sederhana perbaikan saluran drainase kampus. Di studio, mahasiswa membaca gambar, membuat sketsa kondisi, dan merancang alternatif perbaikan. Di laboratorium, mahasiswa dapat menguji material atau mengevaluasi data curah hujan sederhana. Di bengkel, mahasiswa dapat membuat alat bantu ukur atau komponen sederhana. Di lapangan, mahasiswa mengukur dimensi saluran, memeriksa kemiringan, mendokumentasikan hambatan aliran, dan menyusun rekomendasi teknis. Satu masalah dapat melibatkan beberapa lingkungan kerja sekaligus.

Contoh lain dapat dilihat pada kasus alat praktikum yang tidak bekerja normal. Di bengkel, mahasiswa memeriksa komponen mekanik dan kondisi alat. Di laboratorium, mahasiswa membandingkan hasil pengukuran sebelum dan sesudah perbaikan. Di studio, mahasiswa dapat membuat diagram komponen atau instruksi penggunaan. Di lapangan atau ruang praktik, mahasiswa menguji apakah alat sudah dapat digunakan kembali sesuai kebutuhan. Dengan cara ini, mahasiswa belajar bahwa *problem solving* membutuhkan lintas ruang kerja dan lintas kompetensi.

Kondisi nyata pekerjaan teknik juga menuntut kemampuan memahami peran setiap orang. Di bengkel, peran instruktur, teknisi, operator, dan mahasiswa harus jelas. Di laboratorium, peran penguji, pencatat data, pengawas prosedur, dan analis harus dipisahkan dengan baik. Di studio, peran perancang, reviewer, dokumentator, dan penyaji perlu diatur. Di lapangan, peran pelaksana, pengawas, surveyor, operator, petugas K3, dan koordinator pekerjaan perlu

dipahami. Ketidakjelasan peran dapat menyebabkan kesalahan kerja dan konflik tanggung jawab.

Selain peran, komunikasi menjadi faktor penting. Lingkungan kerja teknik tidak dapat berjalan hanya dengan instruksi lisan yang tidak terdokumentasi. Informasi perlu disampaikan melalui gambar, formulir, checklist, laporan, papan informasi, catatan revisi, dan dokumentasi digital. Komunikasi yang jelas akan mengurangi kesalahan tafsir. Misalnya, perubahan ukuran pada gambar harus diberi revisi. Hasil pengujian harus dicatat dalam format yang baku. Instruksi kerja lapangan harus dapat dibaca oleh seluruh pihak yang terlibat.

Mahasiswa juga perlu memahami bahwa setiap lingkungan kerja memiliki indikator keberhasilan. Di bengkel, keberhasilan dapat dilihat dari ketepatan ukuran, fungsi komponen, kerapian, efisiensi waktu, dan keselamatan kerja. Di laboratorium, keberhasilan dapat dilihat dari keandalan data, kesesuaian prosedur, ketertelusuran hasil, dan ketelitian pencatatan. Di studio, keberhasilan dapat dilihat dari kejelasan desain, konsistensi gambar, kelengkapan dokumen, dan kemudahan pelaksanaan. Di lapangan, keberhasilan dapat dilihat dari mutu pekerjaan, kepatuhan terhadap spesifikasi, keselamatan, jadwal, biaya, dan fungsi akhir.

Kondisi nyata pekerjaan teknik juga selalu memiliki batasan. Batasan tersebut dapat berupa alat yang tersedia, waktu praktik, biaya bahan, kompetensi operator, izin penggunaan ruang, cuaca, akses lokasi, dan ketentuan keselamatan. Mahasiswa perlu memahami bahwa *problem solving* tidak dilakukan dalam kondisi ideal. Solusi harus dirancang berdasarkan sumber daya yang tersedia. Namun, keterbatasan tidak boleh dijadikan alasan untuk mengabaikan standar, keselamatan, dan mutu.

Dalam pembelajaran, dosen dapat melatih mahasiswa membaca kondisi nyata melalui lembar observasi. Lembar observasi dapat memuat identitas lokasi, tujuan pekerjaan, alat yang digunakan, kondisi lingkungan, potensi bahaya, gejala masalah, data awal, dokumentasi visual, dan tindak lanjut. Dengan lembar tersebut, mahasiswa belajar melakukan pengamatan secara sistematis.

Pengamatan tidak hanya bergantung pada ingatan, tetapi dicatat sebagai bukti yang dapat diperiksa.

Pembiasaan observasi sistematis juga membantu mahasiswa menghindari kesimpulan terlalu cepat. Dalam pekerjaan teknik, kesimpulan cepat sering muncul karena pengalaman, kebiasaan, atau tekanan waktu. Namun, kesimpulan yang tidak didukung data dapat menghasilkan tindakan yang salah. Misalnya, mengganti komponen mesin tanpa memeriksa kesejajaran poros dapat membuat masalah berulang. Membersihkan saluran tanpa memeriksa kemiringan dapat membuat genangan tetap terjadi. Mengganti MCB tanpa memeriksa beban dan sambungan dapat menimbulkan gangguan baru.

Kondisi nyata pekerjaan di bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan juga dapat menjadi sumber pembelajaran reflektif. Kolb (1984) menjelaskan bahwa pembelajaran dapat berkembang melalui pengalaman konkret, refleksi, konseptualisasi, dan eksperimen aktif. Dalam pendidikan vokasi, pengalaman konkret terjadi ketika mahasiswa bekerja langsung dengan alat, data, desain, dan kondisi lapangan. Refleksi terjadi ketika mahasiswa menilai apa yang berjalan baik dan apa yang perlu diperbaiki. Konseptualisasi terjadi ketika mahasiswa menghubungkan pengalaman dengan teori. Eksperimen aktif terjadi ketika mahasiswa mencoba tindakan perbaikan.

Oleh karena itu, dosen perlu mendorong mahasiswa untuk tidak hanya menyelesaikan tugas praktik, tetapi juga menulis refleksi teknis. Refleksi teknis dapat berisi temuan, hambatan, kesalahan, data penting, keputusan, dan pelajaran yang diperoleh. Refleksi semacam ini akan memperkuat kemampuan *problem solving* karena mahasiswa belajar memahami proses, bukan hanya hasil akhir.

Pada akhirnya, pemahaman terhadap kondisi nyata pekerjaan teknik menjadi fondasi penting bagi *problem solving* teknik terapan. Mahasiswa perlu mengenali karakter bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan agar dapat memilih cara kerja yang tepat. Mereka perlu memahami bahwa setiap lingkungan memiliki risiko, prosedur, data, standar, dan indikator keberhasilan yang berbeda. Dengan bekal tersebut, mahasiswa akan lebih siap membaca tantangan lapangan

secara objektif dan menyusun langkah awal pemecahan masalah secara sistematis.

Bengkel, laboratorium, studio, dan lapangan memiliki kondisi kerja yang berbeda. Bengkel menekankan keterampilan operasional, penggunaan alat, dan perawatan. Laboratorium menekankan pengukuran, pengujian, kalibrasi, dan keandalan data. Studio menekankan desain, visualisasi, dan komunikasi teknis. Lapangan menekankan observasi, koordinasi, pengawasan, pengendalian risiko, dan keputusan teknis. Seluruh lingkungan tersebut membentuk kemampuan *problem solving* teknik terapan yang berbasis data, standar, keselamatan, dan konteks nyata.

B. Kesenjangan Antara Perencanaan dan Pelaksanaan

Kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan merupakan salah satu sumber utama tantangan lapangan dalam dunia teknik. Perencanaan biasanya disusun berdasarkan data awal, asumsi teknis, standar, jadwal, biaya, gambar, spesifikasi, dan metode kerja. Namun, ketika rencana diterapkan di lapangan, kondisi nyata sering berbeda dari kondisi yang diasumsikan. Perbedaan inilah yang disebut sebagai kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan.

Dalam pekerjaan teknik, rencana memiliki fungsi penting. Rencana memberi arah kerja, membagi sumber daya, menentukan urutan kegiatan, menetapkan standar mutu, mengatur waktu, dan membantu pengendalian biaya. Tanpa rencana, pekerjaan teknik mudah berjalan tidak teratur. Namun, rencana tidak selalu mampu memprediksi seluruh kondisi lapangan. Oleh karena itu, pelaksanaan membutuhkan kemampuan membaca situasi, menyesuaikan langkah kerja, mengendalikan risiko, dan mendokumentasikan perubahan secara benar.

Kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan dapat terjadi pada berbagai bidang teknik. Dalam teknik sipil, gambar kerja dapat berbeda dengan kondisi eksisting di lokasi. Dalam teknik mesin, jadwal perawatan dapat berubah karena kerusakan mendadak. Dalam teknik elektro, beban aktual dapat lebih besar daripada perhitungan awal. Dalam teknik manufaktur, produktivitas aktual dapat lebih

rendah daripada target. Dalam teknik lingkungan, debit air limbah aktual dapat berubah karena pola operasi yang tidak stabil. Semua contoh tersebut menunjukkan bahwa pekerjaan teknik selalu berhadapan dengan dinamika lapangan.

Project Management Institute (2021) menekankan pentingnya pengelolaan proyek melalui pendekatan yang mempertimbangkan nilai, pemangku kepentingan, tim, ketidakpastian, perencanaan, kualitas, risiko, dan perubahan. Dalam praktik teknik, prinsip tersebut menunjukkan bahwa perencanaan harus selalu diikuti dengan pemantauan dan pengendalian. Rencana tidak boleh dipahami sebagai dokumen mati. Rencana harus menjadi alat kerja yang diperiksa, diperbarui, dan disesuaikan berdasarkan kondisi pelaksanaan.

ISO 9001:2015 juga menekankan pentingnya sistem manajemen mutu dalam memenuhi persyaratan pelanggan serta ketentuan hukum dan regulasi. Standar ini relevan karena kesenjangan antara rencana dan pelaksanaan sering berdampak pada mutu hasil kerja. Jika perubahan di lapangan tidak dikendalikan, produk, pekerjaan, atau layanan teknik dapat menyimpang dari spesifikasi. Karena itu, organisasi perlu memiliki proses pengendalian operasional, pengelolaan perubahan, dan perbaikan berkelanjutan (International Organization for Standardization, 2015).

Kesenjangan perencanaan dan pelaksanaan dapat muncul karena data awal yang kurang lengkap. Pada tahap perencanaan, data sering diperoleh dari survei awal, dokumen lama, asumsi desain, hasil pengukuran terbatas, atau informasi dari pihak pengguna. Jika data tersebut tidak menggambarkan kondisi sebenarnya, maka rencana yang disusun dapat kurang tepat. Misalnya, perencanaan drainase dapat gagal jika data elevasi, curah hujan, sedimentasi, atau kondisi saluran eksisting tidak diperiksa dengan baik.

Penyebab lain adalah perubahan kondisi lapangan. Kondisi lapangan dapat berubah karena cuaca, akses lokasi, keterlambatan material, kerusakan alat, perubahan kebutuhan pengguna, gangguan utilitas, atau kondisi lingkungan. Pada pekerjaan konstruksi, hujan dapat mengubah metode kerja dan jadwal. Pada pekerjaan perawatan mesin, gangguan mendadak dapat mengubah prioritas pekerjaan.

Pada pekerjaan instalasi listrik, perubahan tata letak ruang dapat mengubah jalur kabel dan posisi panel. Kondisi seperti ini menuntut kemampuan adaptasi yang tetap mengikuti standar.

Kesenjangan juga dapat terjadi karena perencanaan tidak mempertimbangkan keterbatasan sumber daya. Rencana dapat terlihat baik di atas kertas, tetapi sulit diterapkan jika alat tidak tersedia, tenaga kerja belum kompeten, material terlambat, ruang kerja sempit, atau waktu pelaksanaan terlalu singkat. Dalam pendidikan vokasi, mahasiswa perlu memahami bahwa kelayakan solusi tidak hanya dinilai dari sisi teknis. Solusi juga harus mempertimbangkan sumber daya nyata yang tersedia.

Faktor komunikasi juga sering menyebabkan kesenjangan. Rencana yang baik dapat gagal jika tidak dipahami oleh pelaksana. Gambar kerja yang tidak jelas, spesifikasi yang ambigu, instruksi lisan yang tidak terdokumentasi, perubahan yang tidak disampaikan, atau koordinasi yang lemah dapat menimbulkan kesalahan pelaksanaan. Dalam pekerjaan teknik, komunikasi tidak boleh hanya bergantung pada kebiasaan. Komunikasi perlu menggunakan dokumen, gambar, checklist, laporan, berita acara, dan catatan perubahan.

Dalam proyek konstruksi, penelitian menunjukkan bahwa keterlambatan dan konflik sering berkaitan dengan masalah keuangan pemilik, perencanaan dan penjadwalan, material, perubahan pekerjaan, serta komunikasi yang lemah (Gamil & Rahman, 2023). Temuan ini memperlihatkan bahwa kesenjangan antara rencana dan pelaksanaan tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga berkaitan dengan manajemen, koordinasi, dan pengambilan keputusan. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami bahwa masalah lapangan sering muncul dari kombinasi faktor teknis dan nonteknis.

Kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan juga dapat terjadi karena asumsi produktivitas yang tidak realistis. Pada tahap perencanaan, durasi pekerjaan sering dihitung berdasarkan produktivitas standar. Namun, produktivitas aktual dapat dipengaruhi oleh pengalaman pekerja, kondisi alat, akses material, cuaca, tata letak kerja, kejelasan instruksi, dan pengawasan. Jika rencana tidak

memperhitungkan faktor tersebut, jadwal dapat menjadi terlalu optimistis. Akibatnya, pelaksana bekerja dalam tekanan waktu yang dapat mengganggu mutu dan keselamatan.

Aspek keselamatan juga sering mengalami kesenjangan. Dalam dokumen rencana, prosedur keselamatan mungkin sudah ditulis. Namun, dalam pelaksanaan, pekerja dapat mengabaikan alat pelindung diri, area kerja tidak diberi pembatas, alat tidak diperiksa, atau bahaya tidak dikendalikan. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya pengelolaan risiko keselamatan dan kesehatan kerja secara sistematis (International Organization for Standardization, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa rencana keselamatan harus benar-benar diterapkan, diawasi, dan dievaluasi.

Dalam pekerjaan teknik, kesenjangan tidak selalu berarti rencana salah. Kadang-kadang rencana sudah benar berdasarkan data awal, tetapi kondisi berubah saat pelaksanaan. Masalah muncul ketika perubahan tidak dicatat, tidak dianalisis, dan tidak dikendalikan. Oleh karena itu, setiap perubahan harus memiliki dasar teknis. Perubahan material, metode, jadwal, dimensi, alat, atau urutan kerja perlu dikaji dampaknya terhadap mutu, biaya, waktu, keselamatan, dan fungsi akhir.

Kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan dapat dilihat melalui beberapa indikator. Indikator pertama adalah penyimpangan mutu. Hasil pekerjaan tidak sesuai dengan spesifikasi, standar, atau gambar. Indikator kedua adalah penyimpangan waktu. Pekerjaan terlambat dari jadwal atau terjadi penumpukan aktivitas. Indikator ketiga adalah penyimpangan biaya. Biaya aktual melebihi rencana karena pemborosan material, pekerjaan ulang, atau perubahan volume. Indikator keempat adalah penyimpangan keselamatan. Risiko meningkat karena prosedur tidak diterapkan. Indikator kelima adalah penyimpangan produktivitas. *Output* kerja lebih rendah dari target.

Tabel 9. Bentuk Kesenjangan Antara Perencanaan dan Pelaksanaan dalam Pekerjaan Teknik

Bentuk Kesenjangan	Kondisi pada Tahap Perencanaan	Kondisi pada Tahap Pelaksanaan	Dampak yang Mungkin Terjadi	Tindakan Pengendalian
Data awal tidak lengkap	Rencana disusun berdasarkan data terbatas atau asumsi	Kondisi aktual berbeda dari data awal	Solusi tidak tepat, pekerjaan ulang, biaya meningkat	Melakukan survei ulang, pengukuran tambahan, dan validasi data
Gambar atau spesifikasi tidak jelas	Dokumen teknis belum lengkap atau memiliki banyak tafsir	Pelaksana menafsirkan instruksi secara berbeda	Kesalahan ukuran, salah material, konflik pelaksanaan	Klarifikasi teknis, revisi gambar, dan catatan perubahan
Material tidak sesuai	Material direncanakan sesuai spesifikasi	Material yang tersedia berbeda mutu, ukuran, atau jumlah	Mutu turun, keterlambatan, pekerjaan ulang	Pemeriksaan material masuk dan persetujuan penggantian
Alat tidak tersedia atau tidak layak	Rencana mengasumsikan alat tersedia dan berfungsi	Alat rusak, kurang, atau tidak sesuai kapasitas	Produktivitas turun dan risiko kecelakaan meningkat	Pemeriksaan alat, jadwal perawatan, dan rencana alat cadangan
Tenaga kerja tidak sesuai kebutuhan	Rencana membutuhkan tenaga dengan kompetensi tertentu	Tenaga kurang terampil atau jumlah tidak cukup	Kesalahan kerja, keterlambatan, dan pengawasan bertambah	Pembagian tugas, pelatihan singkat, dan supervisi ketat
Metode kerja sulit diterapkan	Metode dipilih berdasarkan kondisi ideal	Kondisi ruang, cuaca, akses, atau waktu tidak mendukung	Metode berubah tanpa kendali dan mutu tidak stabil	Evaluasi metode, izin perubahan, dan uji coba terbatas
Jadwal terlalu optimistis	Durasi disusun berdasarkan produktivitas standar	Produktivitas aktual lebih rendah	Keterlambatan dan tekanan kerja meningkat	Penjadwalan ulang, prioritas kerja, dan pemantauan harian
Keselamatan tidak diterapkan penuh	Prosedur K3 sudah ditulis dalam rencana	APD, izin kerja, atau pembatas area tidak dijalankan	Kecelakaan, penghentian kerja, dan kerugian organisasi	Inspeksi K3, briefing kerja, dan tindakan korektif langsung

Tabel 9 menunjukkan bahwa kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan dapat berasal dari banyak aspek. Kesenjangan tidak

hanya terjadi karena kesalahan teknis. Kesenjangan juga dapat muncul karena dokumen tidak jelas, komunikasi lemah, alat tidak siap, tenaga kerja belum kompeten, material tidak sesuai, atau risiko keselamatan tidak dikendalikan. Karena itu, *problem solving* teknik terapan perlu melihat rencana dan pelaksanaan sebagai dua bagian yang saling terhubung.

Bagi mahasiswa vokasi keteknikan, memahami kesenjangan ini sangat penting. Mahasiswa perlu belajar bahwa rencana harus diuji melalui kondisi nyata. Saat masuk ke bengkel, mahasiswa perlu memeriksa apakah alat dan bahan sesuai dengan rencana praktik. Saat bekerja di laboratorium, mahasiswa perlu memastikan prosedur, alat ukur, dan sampel sesuai dengan ketentuan. Saat bekerja di studio, mahasiswa perlu memeriksa apakah desain dapat diterjemahkan menjadi dokumen kerja. Saat bekerja di lapangan, mahasiswa perlu membandingkan gambar, spesifikasi, dan kondisi aktual.

Salah satu cara mengendalikan kesenjangan adalah menggunakan checklist. Checklist membantu pelaksana memastikan bahwa hal penting tidak terlewat. Checklist dapat digunakan untuk pemeriksaan alat, kesiapan bahan, kelengkapan gambar, keselamatan kerja, kondisi lokasi, dan hasil pekerjaan. Checklist tidak menggantikan kemampuan teknis, tetapi membantu meningkatkan konsistensi. Dalam praktik vokasi, checklist dapat menjadi alat sederhana untuk membiasakan mahasiswa bekerja secara sistematis.

Cara kedua adalah melakukan briefing sebelum pekerjaan dimulai. Briefing membantu tim memahami tujuan kerja, metode, risiko, pembagian tugas, alat yang digunakan, dan standar hasil yang diharapkan. Dalam pekerjaan lapangan, briefing juga dapat digunakan untuk menyampaikan perubahan kondisi, potensi bahaya, dan tindakan pengendalian. Briefing yang baik harus singkat, jelas, dan berfokus pada pekerjaan yang akan dilakukan.

Cara ketiga adalah melakukan inspeksi selama pelaksanaan. Inspeksi tidak hanya dilakukan pada akhir pekerjaan. Inspeksi perlu dilakukan pada titik-titik penting agar kesalahan dapat diperbaiki lebih awal. Dalam pekerjaan konstruksi, inspeksi dapat dilakukan sebelum pengecoran, setelah pemasangan bekisting, saat material

datang, atau saat pekerjaan selesai sebagian. Dalam pekerjaan mesin, inspeksi dapat dilakukan sebelum operasi, saat operasi, dan setelah perawatan. Dalam pekerjaan elektro, inspeksi dapat dilakukan sebelum energisasi, saat pengukuran, dan setelah pengujian sistem.

Cara keempat adalah mendokumentasikan perubahan. Setiap perubahan rencana perlu dicatat. Catatan perubahan harus memuat alasan perubahan, pihak yang menyetujui, dampak terhadap mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan dokumen yang terdampak. Dokumentasi perubahan penting agar keputusan dapat ditelusuri. Tanpa dokumentasi, tim akan sulit mengetahui mengapa pekerjaan berbeda dari rencana awal. Hal ini dapat menimbulkan konflik, kesalahan berulang, dan kesulitan evaluasi.

Cara kelima adalah melakukan evaluasi setelah pekerjaan selesai. Evaluasi membantu tim melihat apakah hasil pelaksanaan sesuai rencana. Evaluasi juga membantu mengidentifikasi penyebab penyimpangan dan pelajaran untuk pekerjaan berikutnya. Evaluasi dapat menggunakan data mutu, waktu, biaya, keselamatan, produktivitas, dan umpan balik pengguna. Dalam pendidikan vokasi, evaluasi dapat dilakukan melalui diskusi reflektif, laporan praktik, atau presentasi hasil kerja.

Kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan juga dapat menjadi bahan belajar yang kuat. Mahasiswa sering belajar lebih banyak ketika menemukan perbedaan antara rencana dan kenyataan. Namun, pembelajaran tersebut hanya terjadi jika mahasiswa diajak menganalisis penyebabnya. Dosen perlu membantu mahasiswa melihat bahwa penyimpangan bukan hanya kesalahan, tetapi juga sumber data. Dari penyimpangan, mahasiswa dapat memahami keterbatasan rencana, pentingnya data lapangan, dan perlunya pengendalian perubahan.

Dalam bidang teknik sipil, contoh kesenjangan dapat terjadi pada pekerjaan pengecoran. Rencana menyebutkan mutu beton tertentu, jadwal pengecoran, jumlah pekerja, metode pemadatan, dan prosedur perawatan. Pada pelaksanaan, beton datang terlambat, cuaca panas, pekerja terbatas, alat pemadat tidak siap, dan curing tidak dilakukan sesuai prosedur. Akibatnya, mutu beton dapat menurun atau retak dini

dapat muncul. Dalam kasus ini, masalah tidak dapat dilihat dari satu faktor saja. Tim perlu menilai material, alat, metode, cuaca, tenaga kerja, dan pengawasan.

Dalam bidang teknik mesin, contoh kesenjangan dapat terjadi pada jadwal perawatan. Rencana perawatan disusun setiap bulan. Namun, karena target produksi tinggi, mesin tetap digunakan meskipun jadwal perawatan tertunda. Akibatnya, getaran meningkat, bearing aus, suhu naik, dan kerusakan menjadi lebih besar. Masalah ini menunjukkan bahwa rencana teknis dapat gagal jika tidak didukung pengendalian operasional dan komitmen manajemen.

Dalam bidang teknik elektro, contoh kesenjangan dapat terjadi pada instalasi panel. Rencana beban sudah dihitung, kabel sudah dipilih, dan proteksi sudah ditentukan. Namun, pada pelaksanaan, pengguna menambah peralatan tanpa memperbarui perhitungan beban. Akibatnya, panel sering trip atau kabel mengalami panas berlebih. Masalah ini menunjukkan bahwa perubahan kebutuhan pengguna harus dikendalikan melalui pemeriksaan ulang dan pembaruan dokumen teknis.

Dalam bidang teknik lingkungan, contoh kesenjangan dapat terjadi pada pengolahan air limbah. Rencana sistem dibuat berdasarkan debit dan beban pencemar tertentu. Pada pelaksanaan operasi, debit aktual berubah, bahan kimia tidak tersedia, operator tidak mencatat data harian, dan perawatan unit tidak dilakukan. Akibatnya, kualitas air keluaran tidak memenuhi baku mutu. Kondisi ini menunjukkan bahwa pelaksanaan dan operasi harus dikendalikan dengan data, prosedur, dan evaluasi rutin.

Kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan juga dapat dikurangi melalui prinsip perbaikan berkelanjutan. Perbaikan berkelanjutan berarti organisasi atau tim tidak berhenti pada penyelesaian pekerjaan. Tim perlu menilai apa yang berjalan baik, apa yang menyimpang, mengapa penyimpangan terjadi, dan bagaimana rencana berikutnya diperbaiki. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip manajemen mutu yang menempatkan evaluasi dan peningkatan sebagai bagian penting dari sistem kerja.

Mahasiswa vokasi perlu dibiasakan menggunakan pertanyaan kunci saat membandingkan rencana dan pelaksanaan. Pertanyaan tersebut antara lain: apakah data awal sudah benar, apakah kondisi lapangan sesuai asumsi, apakah alat dan bahan tersedia, apakah tenaga kerja memahami tugas, apakah metode kerja dapat diterapkan, apakah standar mutu terpenuhi, apakah risiko keselamatan terkendali, dan apakah perubahan sudah didokumentasikan. Pertanyaan ini membantu mahasiswa berpikir lebih sistematis.

Dalam kegiatan pembelajaran, dosen dapat memberikan tugas perbandingan rencana dan realisasi. Mahasiswa diminta membaca rencana kerja, kemudian membandingkannya dengan pelaksanaan praktik atau observasi lapangan. Hasil perbandingan dapat dituangkan dalam tabel yang memuat rencana, kondisi aktual, penyebab selisih, dampak, dan rekomendasi. Tugas seperti ini sangat sesuai untuk pendidikan vokasi karena melatih mahasiswa membaca dokumen sekaligus memahami kondisi nyata.

Pada akhirnya, kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan bukan sesuatu yang harus diabaikan. Kesenjangan perlu dikenali, dianalisis, dikendalikan, dan dijadikan bahan perbaikan. Dalam *problem solving* teknik terapan, kemampuan membaca kesenjangan ini menjadi dasar penting sebelum mahasiswa menyusun keputusan teknis. Mahasiswa yang memahami kesenjangan akan lebih siap menghadapi perubahan, menjaga mutu, mengendalikan risiko, dan menyusun solusi yang layak diterapkan.

Kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan terjadi ketika kondisi aktual tidak sesuai dengan rencana awal. Kesenjangan dapat disebabkan oleh data awal yang kurang lengkap, perubahan kondisi lapangan, keterbatasan sumber daya, komunikasi yang lemah, metode kerja yang sulit diterapkan, atau pengendalian risiko yang kurang baik. Kesenjangan dapat berdampak pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas. Pengendalian dapat dilakukan melalui validasi data, checklist, briefing, inspeksi, dokumentasi perubahan, dan evaluasi hasil kerja.

C. Faktor Manusia, Alat, Bahan, Metode, dan Lingkungan Kerja

Tantangan lapangan dalam dunia teknik sering muncul karena interaksi antara faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan kerja. Kelima faktor ini perlu dipahami sebagai sumber awal yang dapat memengaruhi mutu, waktu, biaya, keselamatan, produktivitas, dan keberlanjutan pekerjaan. Dalam *problem solving* teknik terapan, mahasiswa tidak boleh langsung menyimpulkan penyebab masalah hanya dari gejala yang terlihat. Mahasiswa perlu menelusuri faktor-faktor yang mungkin berkontribusi terhadap masalah tersebut.

Faktor manusia berkaitan dengan kompetensi, pengalaman, disiplin, komunikasi, sikap kerja, kondisi fisik, beban kerja, dan kepatuhan terhadap prosedur. Dalam pekerjaan teknik, manusia berperan sebagai perencana, operator, teknisi, pengawas, pengambil keputusan, dan pengguna sistem. Kesalahan manusia dapat muncul dalam bentuk salah membaca gambar, salah menggunakan alat, tidak mengikuti prosedur, mencatat data secara tidak lengkap, atau mengabaikan risiko keselamatan. Namun, kesalahan manusia tidak boleh selalu dipahami sebagai kesalahan individu. Kesalahan dapat terjadi karena pelatihan kurang, instruksi tidak jelas, beban kerja tinggi, pengawasan lemah, atau sistem kerja yang tidak mendukung.

Faktor alat berkaitan dengan kondisi, kapasitas, ketelitian, kalibrasi, perawatan, ketersediaan, dan kesesuaian alat dengan pekerjaan. Alat yang tidak sesuai dapat menghasilkan pekerjaan yang tidak presisi. Alat yang rusak dapat menurunkan produktivitas. Alat ukur yang tidak terkalibrasi dapat menghasilkan data yang keliru. Dalam pekerjaan teknik, alat bukan hanya benda bantu, tetapi bagian dari sistem kerja yang menentukan mutu keputusan. Data yang dihasilkan dari alat yang tidak layak dapat menyesatkan proses analisis.

Faktor bahan berkaitan dengan jenis material, mutu, spesifikasi, penyimpanan, umur pakai, kondisi fisik, dan kesesuaian terhadap fungsi. Dalam teknik sipil, bahan dapat berupa semen, agregat, baja, aspal, kayu, tanah, air, dan bahan tambah. Dalam teknik mesin, bahan dapat berupa logam, pelumas, komponen, bantalan, pipa, atau bahan baku produksi. Dalam teknik elektro, bahan dapat berupa kabel,

terminal, isolator, panel, konektor, dan komponen elektronik. Bahan yang tidak sesuai spesifikasi dapat menyebabkan penurunan mutu, kegagalan fungsi, atau risiko keselamatan.

Faktor metode berkaitan dengan cara kerja, urutan proses, standar operasional prosedur, instruksi kerja, teknik pelaksanaan, pengendalian mutu, dan pengawasan. Metode kerja yang tidak tepat dapat membuat alat dan bahan yang baik tetap menghasilkan pekerjaan yang buruk. Misalnya, beton dengan mutu rencana yang baik dapat mengalami kerusakan jika proses pencampuran, pengecoran, pemadatan, atau perawatan tidak dilakukan dengan benar. Mesin dengan komponen yang baik tetap dapat rusak jika prosedur operasi dan perawatan diabaikan. Instalasi listrik dengan material yang baik tetap berbahaya jika metode pemasangan tidak sesuai standar.

Faktor lingkungan kerja berkaitan dengan kondisi fisik dan sosial di tempat kerja. Kondisi fisik mencakup suhu, kelembapan, pencahayaan, kebisingan, getaran, debu, ruang gerak, akses kerja, cuaca, elevasi, air, dan kondisi tanah. Kondisi sosial mencakup budaya kerja, komunikasi tim, kepemimpinan, tekanan waktu, hubungan antarpekerja, dan kepatuhan organisasi terhadap standar. Lingkungan kerja dapat memperkuat atau melemahkan kinerja manusia, alat, bahan, dan metode. Lingkungan kerja yang buruk dapat meningkatkan risiko kesalahan, kecelakaan, keterlambatan, dan pemborosan.

Dalam manajemen mutu, pendekatan berbasis proses dan pemikiran berbasis risiko membantu organisasi mengendalikan faktor-faktor yang memengaruhi hasil kerja. ISO 9001:2015 menekankan pentingnya sistem manajemen mutu untuk memastikan produk dan layanan memenuhi persyaratan pelanggan serta ketentuan yang berlaku (International Organization for Standardization, 2015). Dalam konteks pekerjaan teknik, prinsip ini berarti bahwa mutu tidak hanya bergantung pada hasil akhir. Mutu dipengaruhi oleh input, proses, sumber daya, pengendalian, dan evaluasi.

Dalam keselamatan kerja, faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan juga perlu dilihat sebagai sumber bahaya dan risiko. ISO

45001:2018 menekankan pentingnya identifikasi bahaya, penilaian risiko, pengendalian risiko, partisipasi pekerja, dan perbaikan berkelanjutan dalam sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (International Organization for Standardization, 2018). ILO (2022) juga menegaskan bahwa lingkungan kerja yang aman dan sehat merupakan prinsip dan hak mendasar di tempat kerja. Hal ini menunjukkan bahwa setiap faktor penyebab masalah harus dianalisis tidak hanya dari sisi mutu, tetapi juga dari sisi keselamatan manusia.

Dalam manajemen risiko, ISO 31000:2018 menjelaskan bahwa risiko perlu diidentifikasi, dianalisis, dievaluasi, ditangani, dipantau, dan dikomunikasikan (International Organization for Standardization, 2018). Prinsip ini relevan dengan *problem solving* teknik terapan karena masalah lapangan sering mengandung risiko yang belum terlihat sejak awal. Mahasiswa perlu belajar membaca hubungan antara faktor penyebab, dampak, peluang terjadinya masalah, dan tindakan pengendalian yang mungkin dilakukan.

Kelima faktor tersebut sering digunakan dalam analisis sebab akibat. Ishikawa (1986) memperkenalkan pendekatan pengendalian mutu yang menekankan pentingnya menelusuri penyebab masalah secara sistematis. Dalam praktik teknik, pengelompokan penyebab berdasarkan manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan membantu tim menghindari analisis yang terlalu sempit. Pendekatan ini juga membantu mahasiswa menyusun pertanyaan teknis yang lebih terarah.

Sebagai contoh, ketika hasil kuat tekan beton lebih rendah dari mutu rencana, mahasiswa tidak boleh langsung menyimpulkan bahwa semen yang digunakan buruk. Mereka perlu memeriksa faktor manusia, seperti keterampilan operator dan ketelitian pencatatan. Mereka perlu memeriksa faktor alat, seperti kondisi mesin uji, cetakan, dan alat pemadat. Mereka perlu memeriksa faktor bahan, seperti mutu semen, gradasi agregat, kadar air, dan perbandingan campuran. Mereka perlu memeriksa faktor metode, seperti pencampuran, pengecoran, pemadatan, perawatan, dan prosedur pengujian. Mereka juga perlu memeriksa faktor lingkungan, seperti suhu, kelembapan, dan kondisi penyimpanan benda uji.

Pada kasus mesin bergetar, faktor manusia dapat berupa kesalahan operasi atau kurangnya pelatihan operator. Faktor alat dapat berupa bearing aus, poros tidak sejajar, baut longgar, atau alat ukur getaran tidak layak. Faktor bahan dapat berupa komponen pengganti yang tidak sesuai spesifikasi atau pelumas yang tidak tepat. Faktor metode dapat berupa prosedur perawatan yang tidak dijalankan atau jadwal inspeksi yang terlalu jarang. Faktor lingkungan dapat berupa pondasi mesin tidak stabil, lantai bergetar, debu tinggi, atau suhu ruang yang tidak terkendali.

Pada kasus panel listrik sering trip, faktor manusia dapat berupa kesalahan pemasangan, penambahan beban tanpa perhitungan, atau kurangnya inspeksi. Faktor alat dapat berupa MCB tidak sesuai kapasitas, terminal longgar, kabel panas, atau alat ukur tidak akurat. Faktor bahan dapat berupa kabel tidak sesuai spesifikasi, isolasi menurun, atau komponen proteksi berkualitas rendah. Faktor metode dapat berupa jalur instalasi tidak mengikuti standar, pembagian beban tidak seimbang, atau pengujian akhir tidak dilakukan. Faktor lingkungan dapat berupa kelembapan tinggi, ventilasi panel buruk, debu, atau suhu sekitar yang tinggi.

Tabel 10 menyajikan hubungan antara faktor penyebab, indikator lapangan, data yang perlu diperiksa, dan contoh tindakan awal. Tabel ini dapat digunakan mahasiswa sebagai panduan awal ketika melakukan observasi masalah di bengkel, laboratorium, studio, atau lapangan.

Tabel 10. Faktor Manusia, Alat, Bahan, Metode, dan Lingkungan Kerja dalam Analisis Masalah Teknik

Faktor	Indikator Masalah di Lapangan	Data atau Bukti yang Perlu Diperiksa	Contoh Tindakan Awal
Manusia	Kesalahan operasi, kelalaian prosedur, komunikasi tidak jelas, pencatatan tidak lengkap, atau hasil kerja tidak konsisten	Catatan pelatihan, pembagian tugas, instruksi kerja, laporan harian, wawancara teknis, dan	Memberi briefing, memperjelas instruksi, melakukan supervisi, dan memperbaiki format pencatatan

Faktor	Indikator Masalah di Lapangan	Data atau Bukti yang Perlu Diperiksa	Contoh Tindakan Awal
		observasi perilaku kerja	
Alat	Alat rusak, tidak presisi, tidak sesuai kapasitas, tidak tersedia, tidak terawat, atau belum dikalibrasi	Kondisi fisik alat, log perawatan, sertifikat kalibrasi, kapasitas alat, hasil uji fungsi, dan catatan kerusakan	Memeriksa alat, melakukan perawatan, mengganti alat, mengkalibrasi, atau menyiapkan alat cadangan
Bahan	Mutu bahan tidak sesuai, bahan rusak, salah spesifikasi, penyimpanan buruk, atau jumlah tidak cukup	Spesifikasi bahan, sertifikat material, hasil uji laboratorium, kondisi penyimpanan, tanggal penerimaan, dan catatan pemasok	Memeriksa bahan masuk, mengambil sampel uji, menolak bahan tidak sesuai, dan memperbaiki penyimpanan
Metode	Urutan kerja tidak tepat, SOP tidak diikuti, pengendalian mutu lemah, atau metode sulit diterapkan	SOP, metode kerja, checklist, catatan inspeksi, dokumentasi proses, dan hasil evaluasi mutu	Meninjau ulang metode, menyusun checklist, memperbaiki urutan kerja, dan melakukan uji coba terbatas
Lingkungan kerja	Cuaca mengganggu, ruang sempit, pencahayaan buruk, kebisingan tinggi, debu, kelembapan, atau akses terbatas	Data cuaca, foto lokasi, hasil pengukuran lingkungan, peta area kerja, kondisi akses, dan laporan K3	Mengatur ulang area kerja, menambah penerangan, memperbaiki ventilasi, memasang pembatas, dan menyesuaikan jadwal

Tabel 10 menunjukkan bahwa setiap faktor memiliki indikator dan data yang berbeda. Faktor manusia tidak cukup dinilai dari dugaan perilaku. Faktor alat tidak cukup dinilai dari tampilan fisik. Faktor bahan tidak cukup dinilai dari ketersediaan. Faktor metode tidak cukup dinilai dari ada atau tidaknya SOP. Faktor lingkungan tidak cukup dinilai dari kenyamanan umum. Semua faktor perlu diperiksa melalui data, bukti, observasi, dan dokumentasi yang dapat ditelusuri.

Dalam *problem solving* teknik terapan, analisis kelima faktor tersebut perlu dilakukan secara seimbang. Jika analisis terlalu fokus pada manusia, tim dapat mengabaikan kelemahan sistem kerja. Jika analisis terlalu fokus pada alat, tim dapat mengabaikan metode operasi. Jika analisis terlalu fokus pada bahan, tim dapat mengabaikan cara penyimpanan dan penggunaan. Jika analisis terlalu fokus pada metode, tim dapat mengabaikan kondisi lingkungan. Jika analisis terlalu fokus pada lingkungan, tim dapat mengabaikan kompetensi dan pengawasan.

Faktor manusia sering menjadi perhatian pertama karena manusia terlihat langsung dalam proses kerja. Namun, menyalahkan manusia tanpa melihat sistem kerja dapat menghasilkan solusi yang dangkal. Misalnya, operator dianggap lalai karena tidak mengikuti prosedur. Namun, setelah diperiksa, prosedur tidak tersedia di area kerja, instruksi sulit dipahami, alat tidak lengkap, dan target waktu terlalu tinggi. Dalam kasus seperti ini, akar masalah bukan hanya perilaku operator, tetapi juga desain sistem kerja.

Faktor alat juga sering menjadi sumber masalah karena alat digunakan langsung dalam pekerjaan. Alat yang tidak sesuai dapat menghasilkan data, produk, atau pekerjaan yang salah. Namun, alat yang baik pun dapat menghasilkan masalah jika operator tidak terlatih, metode tidak tepat, atau bahan tidak sesuai. Oleh karena itu, pemeriksaan alat harus dihubungkan dengan faktor lain. Pemeriksaan alat perlu mencakup kelayakan fisik, kapasitas, ketelitian, kondisi perawatan, dan kesesuaian dengan pekerjaan.

Faktor bahan memiliki peran penting dalam mutu hasil kerja. Dalam teknik sipil, mutu bahan sangat menentukan kekuatan dan daya tahan konstruksi. Dalam teknik mesin, bahan menentukan kekuatan, keausan, dan kinerja komponen. Dalam teknik elektro, bahan menentukan keselamatan, konduktivitas, dan keandalan instalasi. Masalah bahan dapat muncul sejak pemesanan, penerimaan, penyimpanan, pemindahan, penggunaan, sampai pengujian. Karena itu, pengendalian bahan harus dilakukan sejak awal, bukan hanya setelah hasil pekerjaan gagal.

Faktor metode menentukan bagaimana manusia, alat, dan bahan digunakan. Metode yang baik harus jelas, aman, efisien, dapat diawasi, dan sesuai standar. Metode yang buruk dapat membuat pekerjaan sulit dikendalikan. Misalnya, metode pengujian yang tidak baku dapat menghasilkan data yang tidak dapat dibandingkan. Metode pemasangan yang tidak mengikuti urutan dapat menyebabkan pekerjaan ulang. Metode perawatan yang tidak terdokumentasi dapat membuat kerusakan berulang. Dalam pendidikan vokasi, mahasiswa perlu memahami bahwa metode kerja adalah alat pengendali mutu dan keselamatan.

Faktor lingkungan kerja sering kurang diperhatikan, padahal dampaknya besar. Lingkungan kerja yang panas, bising, gelap, berdebu, sempit, basah, atau tidak teratur dapat meningkatkan kesalahan manusia dan menurunkan produktivitas. Lingkungan luar ruang juga dipengaruhi oleh cuaca, kondisi tanah, genangan, akses, dan aktivitas masyarakat sekitar. Pada pekerjaan tertentu, lingkungan dapat memengaruhi mutu material. Misalnya, kelembapan dapat memengaruhi penyimpanan semen, suhu dapat memengaruhi proses perawatan beton, dan debu dapat memengaruhi panel listrik atau sistem mekanik.

Interaksi antar faktor sering menjadi penyebab utama masalah. Misalnya, keterlambatan pekerjaan tidak hanya terjadi karena tenaga kerja kurang. Keterlambatan dapat terjadi karena metode kerja tidak sesuai, material terlambat, alat rusak, area kerja sempit, dan komunikasi lemah. Mutu pekerjaan yang rendah tidak hanya terjadi karena bahan buruk. Mutu dapat turun karena alat ukur tidak akurat, operator tidak memahami prosedur, metode tidak dikendalikan, atau lingkungan kerja tidak mendukung.

Mahasiswa perlu dilatih untuk mengajukan pertanyaan pada setiap faktor. Pada faktor manusia, pertanyaan yang dapat diajukan adalah siapa yang melakukan pekerjaan, apakah kompetensinya sesuai, apakah instruksi jelas, dan apakah beban kerjanya wajar. Pada faktor alat, pertanyaannya adalah apakah alat tersedia, layak, terawat, terkalibrasi, dan sesuai kapasitas. Pada faktor bahan, pertanyaannya adalah apakah bahan sesuai spesifikasi, disimpan dengan benar, diuji,

dan digunakan pada waktu yang tepat. Pada faktor metode, pertanyaannya adalah apakah prosedur jelas, urutan kerja benar, dan pengawasan dilakukan. Pada faktor lingkungan, pertanyaannya adalah apakah kondisi tempat kerja mendukung keselamatan, mutu, dan produktivitas.

Dalam kegiatan pembelajaran, dosen dapat menggunakan analisis lima faktor sebagai tugas observasi. Mahasiswa diminta mengamati satu kegiatan praktik atau pekerjaan lapangan, kemudian mengidentifikasi faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan. Setiap faktor harus dilengkapi bukti, bukan hanya opini. Bukti dapat berupa foto, catatan pengukuran, kutipan SOP, hasil wawancara teknis, catatan inspeksi, atau dokumen kerja. Dengan cara ini, mahasiswa belajar membangun analisis berdasarkan data.

Analisis lima faktor juga dapat digunakan dalam diskusi kelompok. Setiap kelompok dapat diberi kasus yang sama, lalu diminta menilai kemungkinan penyebab dari masing-masing faktor. Setelah itu, kelompok membandingkan bukti yang mereka gunakan. Diskusi ini membantu mahasiswa memahami bahwa *problem solving* tidak cukup hanya mencari satu jawaban cepat. Mahasiswa perlu membangun argumen teknis yang dapat diuji.

Dalam pekerjaan teknik, analisis faktor penyebab harus diikuti dengan prioritas tindakan. Tidak semua faktor dapat diperbaiki sekaligus. Tim perlu menentukan faktor mana yang paling berpengaruh, paling berisiko, dan paling mungkin dikendalikan. Prioritas dapat ditentukan berdasarkan dampak terhadap keselamatan, mutu, waktu, biaya, dan produktivitas. Misalnya, jika faktor lingkungan menimbulkan risiko keselamatan tinggi, pengendalian area kerja harus dilakukan sebelum pekerjaan dilanjutkan.

Analisis lima faktor juga membantu mencegah masalah berulang. Jika masalah hanya diperbaiki pada permukaan, masalah dapat muncul kembali. Misalnya, panel listrik yang sering trip dapat diatasi sementara dengan mengganti perangkat proteksi. Namun, jika penyebabnya adalah beban tidak seimbang dan ventilasi panel buruk, gangguan dapat berulang. Mesin yang bergetar dapat diperbaiki sementara dengan mengencangkan baut. Namun, jika penyebabnya

adalah ketidaksejajaran poros dan jadwal perawatan lemah, kerusakan akan muncul lagi.

Dalam pendidikan vokasi, mahasiswa perlu memahami bahwa solusi yang baik harus mengubah faktor penyebab, bukan hanya gejala. Jika penyebab berasal dari faktor manusia, solusi dapat berupa pelatihan, instruksi kerja yang lebih jelas, supervisi, atau pembagian tugas. Jika penyebab berasal dari alat, solusi dapat berupa perawatan, kalibrasi, penggantian, atau pemilihan alat yang sesuai. Jika penyebab berasal dari bahan, solusi dapat berupa pemeriksaan bahan, pengujian, perbaikan penyimpanan, atau pengendalian pemasok. Jika penyebab berasal dari metode, solusi dapat berupa revisi SOP, checklist, uji coba metode, atau pengawasan titik kritis. Jika penyebab berasal dari lingkungan, solusi dapat berupa penataan area, pengendalian suhu, ventilasi, pencahayaan, atau penyesuaian jadwal kerja.

Pengendalian kelima faktor tersebut harus dilakukan secara terdokumentasi. Dokumentasi membantu memastikan bahwa tindakan perbaikan dapat ditelusuri. Dokumentasi juga membantu tim mengevaluasi apakah tindakan tersebut efektif. Dalam kegiatan praktikum, dokumentasi dapat berupa lembar observasi, tabel faktor penyebab, foto kondisi, catatan tindakan, dan hasil evaluasi. Dalam pekerjaan lapangan, dokumentasi dapat berupa laporan inspeksi, berita acara, catatan perubahan, laporan K3, dan laporan mutu.

Pada akhirnya, faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan kerja merupakan kerangka awal yang penting dalam membaca tantangan lapangan. Kerangka ini membantu mahasiswa melihat masalah secara lebih lengkap. Mahasiswa tidak hanya fokus pada gejala, tetapi menelusuri unsur-unsur yang memengaruhi proses kerja. Dengan memahami kelima faktor ini, mahasiswa akan lebih siap masuk ke tahap berikutnya, yaitu mengenali gejala masalah pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas.

Faktor manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan kerja merupakan sumber utama yang dapat memengaruhi keberhasilan pekerjaan teknik. Faktor manusia berkaitan dengan kompetensi, disiplin, komunikasi, dan kepatuhan prosedur. Faktor alat berkaitan dengan kondisi, kapasitas, perawatan, dan kalibrasi. Faktor bahan

berkaitan dengan mutu, spesifikasi, penyimpanan, dan kesesuaian fungsi. Faktor metode berkaitan dengan prosedur, urutan kerja, pengawasan, dan pengendalian mutu. Faktor lingkungan berkaitan dengan kondisi fisik dan sosial tempat kerja. Kelima faktor tersebut perlu dianalisis secara terpadu agar solusi tidak hanya mengatasi gejala, tetapi juga memperbaiki penyebab masalah.

D. Gejala Masalah pada Mutu, Waktu, Biaya, Keselamatan, dan Produktivitas

Gejala masalah merupakan tanda awal yang menunjukkan bahwa suatu pekerjaan teknik tidak berjalan sesuai harapan. Gejala belum tentu menunjukkan akar masalah. Gejala hanya memberi sinyal bahwa terdapat penyimpangan yang perlu diperiksa lebih lanjut. Dalam pekerjaan teknik, gejala dapat muncul pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas. Kelima aspek ini sering digunakan untuk membaca kondisi lapangan karena berkaitan langsung dengan keberhasilan pekerjaan.

Mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami perbedaan antara gejala, penyebab, dan akar masalah. Gejala adalah tanda yang terlihat atau terukur. Penyebab adalah faktor yang memicu munculnya gejala. Akar masalah adalah penyebab utama yang harus diperbaiki agar masalah tidak berulang. Misalnya, retak pada beton adalah gejala. Penyebab sementara dapat berupa susut, beban awal, perawatan yang buruk, mutu material rendah, atau metode pengecoran yang tidak tepat. Akar masalah baru dapat ditentukan setelah dilakukan pemeriksaan data dan bukti teknis.

Gejala masalah pada mutu menunjukkan bahwa hasil pekerjaan tidak sesuai dengan standar, spesifikasi, gambar, toleransi, atau kebutuhan pengguna. Mutu dalam pekerjaan teknik tidak hanya berarti hasil terlihat baik. Mutu berarti hasil memenuhi persyaratan teknis, aman digunakan, memiliki fungsi yang sesuai, dan dapat diterima oleh pengguna. ISO 9001:2015 menekankan pentingnya sistem manajemen mutu untuk memastikan produk dan layanan memenuhi persyaratan pelanggan serta ketentuan yang berlaku (International Organization for Standardization, 2015). Dalam

pendidikan vokasi, prinsip ini dapat diterapkan melalui pengendalian proses, pemeriksaan hasil, dan dokumentasi mutu.

Gejala mutu dapat muncul dalam berbagai bentuk. Pada pekerjaan teknik sipil, gejala mutu dapat berupa permukaan beton keropos, retak dini, dimensi elemen tidak sesuai gambar, kemiringan saluran tidak tepat, atau hasil uji material tidak memenuhi spesifikasi. Pada teknik mesin, gejala mutu dapat berupa ukuran produk keluar dari toleransi, permukaan benda kerja kasar, komponen cepat aus, atau hasil rakitan tidak presisi. Pada teknik elektro, gejala mutu dapat berupa instalasi tidak rapi, sambungan longgar, panel panas, atau hasil pengujian tidak stabil. Pada teknik lingkungan, gejala mutu dapat berupa kualitas air keluaran tidak memenuhi baku mutu, bau menyengat, atau proses pengolahan tidak stabil.

Gejala masalah pada waktu menunjukkan bahwa pekerjaan tidak berjalan sesuai jadwal. Waktu menjadi indikator penting karena keterlambatan dapat memengaruhi biaya, mutu, keselamatan, dan kepuasan pengguna. Dalam proyek atau pekerjaan teknik, jadwal berfungsi sebagai alat pengendali urutan kerja, penggunaan sumber daya, dan koordinasi tim. Project Management Institute (2021) menjelaskan bahwa perencanaan dalam proyek berlangsung sejak awal dan terus berkembang selama proyek berjalan. Artinya, jadwal tidak cukup hanya dibuat. Jadwal perlu dipantau, diperbarui, dan disesuaikan dengan kondisi pelaksanaan.

Gejala waktu dapat berupa pekerjaan terlambat dimulai, durasi pekerjaan lebih panjang dari rencana, aktivitas menumpuk pada waktu tertentu, pekerjaan ulang mengganggu jadwal, material datang terlambat, alat tidak tersedia saat dibutuhkan, atau tenaga kerja tidak hadir sesuai rencana. Dalam bengkel, gejala waktu dapat terlihat dari antrean penggunaan mesin atau penyelesaian benda kerja yang melewati batas praktik. Dalam laboratorium, gejala waktu dapat berupa pengujian tertunda karena sampel belum siap atau alat belum dikalibrasi. Di lapangan, gejala waktu sering terlihat dari keterlambatan pekerjaan harian, ketidaksesuaian progres aktual dengan rencana, atau keterlambatan akibat perubahan kondisi.

Gejala masalah pada biaya menunjukkan bahwa penggunaan sumber daya tidak sesuai dengan rencana anggaran. Biaya dalam pekerjaan teknik tidak hanya mencakup pembelian bahan. Biaya juga mencakup tenaga kerja, alat, energi, transportasi, perawatan, pekerjaan ulang, pengujian, pengawasan, keselamatan, dan limbah. Masalah biaya sering muncul ketika pekerjaan tidak terkendali, material terbuang, alat rusak, durasi bertambah, atau terjadi perubahan tanpa analisis dampak. Biaya yang meningkat dapat menjadi gejala adanya masalah pada perencanaan, metode kerja, pengadaan, pengawasan, atau produktivitas.

Gejala biaya dapat berupa pemakaian material melebihi rencana, kebutuhan alat tambahan di luar anggaran, biaya lembur meningkat, pekerjaan ulang bertambah, komponen lebih sering diganti, konsumsi energi naik, atau limbah material tidak terkendali. Pada pekerjaan konstruksi, pemborosan material dapat terjadi karena pemotongan yang tidak efisien, penyimpanan yang buruk, atau kesalahan pelaksanaan. Pada pekerjaan mesin, biaya dapat meningkat karena kerusakan berulang dan penggantian komponen yang tidak terencana. Pada pekerjaan elektro, biaya dapat meningkat karena kesalahan instalasi, pemilihan komponen yang tidak sesuai, atau penambahan beban tanpa perencanaan ulang.

Gejala masalah pada keselamatan menunjukkan bahwa pekerjaan memiliki potensi bahaya yang tidak terkendali. Keselamatan kerja menjadi aspek yang tidak dapat ditawar dalam pekerjaan teknik. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja untuk mengelola risiko serta mencegah cedera dan gangguan kesehatan akibat kerja (International Organization for Standardization, 2018). ILO (2022) juga menyatakan bahwa lingkungan kerja yang aman dan sehat merupakan prinsip dan hak mendasar di tempat kerja. Oleh karena itu, gejala keselamatan harus ditangani segera, bahkan sebelum gejala tersebut berkembang menjadi kecelakaan.

Gejala keselamatan dapat berupa pekerja tidak menggunakan alat pelindung diri, area kerja tidak diberi pembatas, kabel berserakan, alat tidak memiliki pelindung, suara mesin tidak normal, kebocoran

bahan, lantai licin, pencahayaan buruk, beban diangkat tanpa prosedur, atau pekerjaan dilakukan tanpa izin kerja. Gejala keselamatan juga dapat muncul dari perilaku, seperti bekerja tergesa-gesa, mengabaikan briefing, melewati prosedur, bercanda di area berbahaya, atau menggunakan alat di luar kapasitasnya. Dalam *problem solving* teknik terapan, gejala keselamatan harus diprioritaskan karena berdampak langsung pada manusia.

Gejala masalah pada produktivitas menunjukkan bahwa *output* kerja tidak sebanding dengan sumber daya yang digunakan. Produktivitas berkaitan dengan perbandingan antara hasil kerja dan input, seperti waktu, tenaga, alat, energi, dan material. Produktivitas rendah dapat menjadi tanda adanya hambatan pada metode kerja, kompetensi tenaga, kondisi alat, aliran material, tata letak kerja, atau lingkungan. Produktivitas yang rendah tidak selalu berarti pekerja kurang giat. Produktivitas dapat turun karena sistem kerja tidak efisien.

Gejala produktivitas dapat berupa *output* harian lebih rendah dari target, banyak waktu tunggu, alat sering menganggur, pekerja sering berpindah tanpa hasil, material sulit dijangkau, proses kerja berulang, hasil kerja banyak ditolak, atau pekerjaan membutuhkan tenaga lebih banyak dari rencana. Dalam laboratorium, produktivitas rendah dapat terlihat dari lamanya proses pengujian karena tata letak alat tidak efisien atau formulir pencatatan tidak siap. Dalam bengkel, produktivitas rendah dapat terlihat dari waktu setup yang terlalu lama, alat sering dicari, atau komponen tidak tersedia. Di lapangan, produktivitas rendah dapat terlihat dari rendahnya volume pekerjaan harian dibandingkan sumber daya yang digunakan.

Kelima gejala tersebut saling berhubungan. Masalah mutu dapat menimbulkan pekerjaan ulang. Pekerjaan ulang menambah waktu dan biaya. Tekanan waktu dapat membuat pekerja mengabaikan keselamatan. Lingkungan kerja yang tidak aman dapat menurunkan produktivitas. Produktivitas yang rendah dapat meningkatkan biaya. Karena itu, gejala masalah tidak boleh dilihat secara terpisah. Mahasiswa perlu membaca hubungan antar gejala agar tidak salah menentukan prioritas tindakan.

Sebagai contoh, hasil pekerjaan dinding yang tidak rata merupakan gejala mutu. Jika harus diperbaiki, maka pekerjaan ulang akan menambah waktu dan biaya. Jika perbaikan dikejar terlalu cepat, pekerja dapat mengabaikan keselamatan, seperti tidak menggunakan tangga kerja yang benar. Jika alat dan material harus dipindahkan berulang, produktivitas menurun. Dalam kasus ini, satu gejala mutu dapat memengaruhi empat aspek lain. Analisis yang baik harus melihat rantai dampak tersebut.

Contoh lain dapat dilihat pada mesin produksi yang sering berhenti. Gejala awalnya dapat dibaca sebagai masalah produktivitas karena *output* menurun. Namun, setelah diperiksa, penyebab sementara mungkin berkaitan dengan suhu mesin yang meningkat. Suhu meningkat dapat berkaitan dengan pelumasan, beban kerja, ventilasi, atau perawatan. Jika mesin tetap dipaksa bekerja, risiko keselamatan dan biaya kerusakan dapat meningkat. Kasus ini menunjukkan bahwa gejala produktivitas dapat terkait dengan alat, metode, lingkungan, dan keselamatan.

Tabel 11 menyajikan pemetaan gejala masalah pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas. Tabel ini dapat digunakan sebagai alat bantu awal dalam observasi lapangan. Mahasiswa dapat menggunakannya untuk mencatat gejala, data yang perlu diperiksa, kemungkinan dampak, dan tindakan awal yang dapat dilakukan.

Tabel 11. Gejala Masalah pada Mutu, Waktu, Biaya, Keselamatan, dan Produktivitas

Aspek Gejala	Bentuk Gejala di Lapangan	Data atau Bukti yang Perlu Diperiksa	Dampak yang Mungkin Terjadi	Tindakan Awal
Mutu	Hasil tidak sesuai spesifikasi, retak, ukuran tidak tepat, sambungan lemah, hasil uji menyimpang, atau produk ditolak	Gambar kerja, spesifikasi, hasil uji, checklist inspeksi, foto pekerjaan, dan catatan ketidaksesuaian	Pekerjaan ulang, kegagalan fungsi, penurunan kepercayaan pengguna, dan risiko keselamatan	Melakukan inspeksi ulang, membandingkan dengan standar, memeriksa metode kerja, dan menahan pekerjaan yang tidak sesuai
Waktu	Pekerjaan terlambat, aktivitas menumpuk, material terlambat, alat	Jadwal rencana, laporan harian, kurva progres, catatan material, daftar alat, dan log tenaga kerja	Keterlambatan proyek, biaya tambahan, konflik koordinasi, dan tekanan kerja	Memeriksa aktivitas kritis, menyusun prioritas kerja, memperbarui jadwal, dan

Aspek Gejala	Bentuk Gejala di Lapangan	Data atau Bukti yang Perlu Diperiksa	Dampak yang Mungkin Terjadi	Tindakan Awal
	tidak siap, atau progres tidak sesuai jadwal			memperbaiki koordinasi
Biaya	Pemakaian material berlebih, biaya lembur naik, alat sering rusak, pekerjaan ulang meningkat, atau kebutuhan tambahan tidak terencana	Rencana anggaran, catatan pembelian, volume pekerjaan, catatan limbah, log alat, dan laporan pekerjaan ulang	Pembengkakan anggaran, efisiensi rendah, penurunan margin, dan pengurangan kualitas	Menghitung selisih biaya, menelusuri sumber pemborosan, mengendalikan material, dan mengevaluasi perubahan
Keselamatan	APD tidak digunakan, area tidak aman, kabel berserakan, alat tanpa pelindung, pekerja tergesa-gesa, atau izin kerja tidak lengkap	Form inspeksi K3, foto kondisi, laporan bahaya, izin kerja, catatan briefing, dan laporan insiden	Cedera, kerusakan alat, penghentian kerja, sanksi, dan kerugian organisasi	Menghentikan pekerjaan berisiko, mengamankan area, memberi briefing, dan menerapkan tindakan korektif
Produktivitas	Output rendah, banyak waktu tunggu, alat menganggur, proses berulang, pekerja tidak efektif, atau aliran material terganggu	Target output, output aktual, waktu siklus, layout kerja, catatan downtime, dan pemakaian sumber daya	Biaya meningkat, jadwal terganggu, kapasitas turun, dan motivasi kerja menurun	Mengukur waktu kerja, mengurangi hambatan proses, menata ulang area kerja, dan memperbaiki aliran material

Tabel 11 menunjukkan bahwa setiap gejala memerlukan bukti yang berbeda. Gejala mutu perlu diperiksa melalui standar, spesifikasi, dan hasil uji. Gejala waktu perlu diperiksa melalui jadwal dan progres. Gejala biaya perlu diperiksa melalui catatan anggaran dan penggunaan sumber daya. Gejala keselamatan perlu diperiksa melalui kondisi kerja dan laporan bahaya. Gejala produktivitas perlu diperiksa melalui *output*, waktu siklus, dan aliran proses. Dengan cara ini, mahasiswa dapat membangun analisis berdasarkan data, bukan berdasarkan dugaan.

Dalam praktik lapangan, gejala mutu sering menjadi gejala yang paling mudah terlihat. Permukaan yang retak, ukuran yang tidak sesuai, komponen yang tidak pas, atau hasil uji yang rendah dapat langsung menarik perhatian. Namun, gejala mutu perlu dianalisis dengan hati-hati. Hasil yang tidak sesuai dapat disebabkan oleh

bahan, alat, metode, lingkungan, atau manusia. Jika penyebab tidak ditemukan, perbaikan dapat bersifat sementara. Misalnya, menambal retak tanpa memperbaiki penyebab kelembapan, beban, atau metode pelaksanaan dapat membuat retak muncul kembali.

Gejala waktu sering terlihat setelah pekerjaan berjalan. Pada awal pekerjaan, keterlambatan kecil sering dianggap tidak penting. Namun, keterlambatan kecil dapat berkembang menjadi keterlambatan besar jika terjadi pada aktivitas penting. Mahasiswa perlu memahami bahwa keterlambatan tidak hanya dihitung dari jumlah hari. Keterlambatan juga perlu dilihat dari dampaknya terhadap pekerjaan lain. Satu pekerjaan yang terlambat dapat menunda pekerjaan berikutnya, mengganggu penggunaan alat, dan menambah biaya tenaga kerja.

Gejala biaya sering terlambat disadari karena tidak selalu terlihat secara fisik. Biaya dapat meningkat secara perlahan melalui pemborosan material, penggunaan alat yang tidak efisien, pekerjaan ulang, atau keterlambatan. Oleh karena itu, catatan biaya harus dibuat secara rutin. Dalam kegiatan praktik, mahasiswa dapat dilatih membuat catatan sederhana tentang penggunaan bahan, waktu kerja, jumlah alat, dan sisa material. Latihan ini membantu mahasiswa memahami hubungan antara keputusan teknis dan konsekuensi ekonomi.

Gejala keselamatan harus ditangani dengan prioritas tinggi. Jika ditemukan kondisi tidak aman, tindakan awal tidak boleh menunggu analisis panjang. Area berbahaya perlu diamankan, pekerjaan berisiko perlu dihentikan sementara, dan pengendalian perlu dilakukan. Setelah kondisi aman, tim dapat melakukan analisis penyebab. Urutan ini penting karena keselamatan manusia lebih utama daripada target waktu atau biaya. Dalam pendidikan vokasi, kebiasaan ini harus dibentuk sejak mahasiswa bekerja di laboratorium, bengkel, studio, dan lapangan.

Gejala produktivitas memerlukan pengukuran yang objektif. Produktivitas tidak cukup dinilai dari kesan bahwa pekerjaan terasa lambat. Mahasiswa perlu mencatat *output* aktual, waktu kerja, waktu tunggu, jumlah tenaga, penggunaan alat, dan hambatan proses. Data

tersebut membantu menentukan apakah produktivitas rendah disebabkan oleh metode kerja, layout, alat, material, kompetensi, atau koordinasi. Tanpa data, produktivitas sering disalahartikan sebagai masalah kedisiplinan pekerja saja.

Gejala masalah juga dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat keparahan. Gejala ringan dapat ditangani dengan koreksi sederhana. Gejala sedang membutuhkan pemeriksaan tambahan dan tindakan pengendalian. Gejala berat membutuhkan penghentian pekerjaan, evaluasi menyeluruh, atau keputusan manajemen. Misalnya, catatan kecil pada gambar dapat menjadi gejala ringan jika tidak memengaruhi pelaksanaan. Namun, retak struktural pada elemen utama harus dikategorikan sebagai gejala berat karena dapat memengaruhi keselamatan.

Mahasiswa perlu memahami bahwa tidak semua gejala memiliki prioritas yang sama. Prioritas ditentukan oleh dampak dan urgensi. Gejala yang mengancam keselamatan harus ditangani lebih dulu. Gejala yang berpotensi menyebabkan kerusakan besar harus segera dikendalikan. Gejala yang berdampak pada mutu kritis harus diperiksa sebelum pekerjaan dilanjutkan. Gejala yang hanya berdampak kecil dapat dicatat dan dijadwalkan untuk perbaikan. Penentuan prioritas membantu tim menggunakan waktu dan sumber daya secara efektif.

Dalam observasi lapangan, mahasiswa dapat menggunakan pertanyaan awal untuk membaca gejala. Pada aspek mutu, pertanyaannya adalah apakah hasil sesuai standar, spesifikasi, dan fungsi. Pada aspek waktu, pertanyaannya adalah apakah pekerjaan berjalan sesuai jadwal dan urutan. Pada aspek biaya, pertanyaannya adalah apakah penggunaan sumber daya sesuai rencana. Pada aspek keselamatan, pertanyaannya adalah apakah bahaya sudah dikendalikan. Pada aspek produktivitas, pertanyaannya adalah apakah *output* sebanding dengan input yang digunakan.

Gejala masalah perlu dicatat secara jelas. Catatan yang baik memuat lokasi, waktu, kondisi, indikator yang diamati, data pendukung, foto, pihak yang terlibat, dan tindakan sementara. Catatan yang terlalu umum sulit digunakan untuk analisis. Misalnya, catatan

“pekerjaan lambat” kurang berguna. Catatan yang lebih baik adalah “pekerjaan pemasangan pipa pada zona B hanya mencapai 12 meter per hari dari target 20 meter per hari selama tiga hari terakhir; hambatan utama berupa keterlambatan material fitting dan akses kerja yang sempit.” Catatan seperti ini lebih mudah dianalisis.

Dalam kegiatan pembelajaran, dosen dapat melatih mahasiswa mengenali gejala melalui studi kasus foto, video lapangan, laporan harian, atau data praktikum. Mahasiswa diminta mengidentifikasi gejala, mengelompokkan gejala ke dalam mutu, waktu, biaya, keselamatan, atau produktivitas, lalu menentukan data tambahan yang dibutuhkan. Latihan ini membantu mahasiswa membedakan antara pengamatan awal dan kesimpulan teknis.

Gejala juga dapat muncul dari dokumen, bukan hanya dari kondisi fisik. Laporan harian yang tidak lengkap dapat menjadi gejala lemahnya pengendalian pekerjaan. Hasil uji yang sangat bervariasi dapat menjadi gejala masalah prosedur pengujian atau alat ukur. Perubahan gambar yang sering terjadi dapat menjadi gejala desain belum matang atau kebutuhan pengguna belum jelas. Catatan biaya yang tidak sesuai volume dapat menjadi gejala lemahnya pengendalian material. Karena itu, mahasiswa perlu membaca dokumen sebagai bagian dari observasi masalah.

Dalam pekerjaan teknik modern, gejala masalah juga dapat terlihat melalui data digital. Sensor dapat menunjukkan peningkatan suhu, getaran, tekanan, debit, atau konsumsi energi. Perangkat lunak proyek dapat menunjukkan keterlambatan progres. Sistem inventori dapat menunjukkan penggunaan material yang tidak normal. *Dashboard* produksi dapat menunjukkan penurunan *output*. Namun, data digital tetap perlu divalidasi. Sensor dapat rusak. Input data dapat salah. Perangkat lunak dapat menghasilkan informasi yang keliru jika data awal tidak akurat.

Gejala masalah pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas merupakan pintu masuk ke tahap analisis. Setelah gejala dikenali, langkah berikutnya adalah mengumpulkan bukti dan menelusuri faktor penyebab. Mahasiswa tidak boleh berhenti pada daftar gejala. Daftar gejala harus diubah menjadi pertanyaan analitis.

Misalnya, mengapa mutu menurun. Mengapa waktu terlambat. Mengapa biaya bertambah. Mengapa area tidak aman. Mengapa produktivitas rendah. Pertanyaan tersebut akan mengarahkan mahasiswa pada analisis akar masalah.

Pada akhirnya, kemampuan mengenali gejala masalah merupakan keterampilan dasar dalam *problem solving* teknik terapan. Mahasiswa yang mampu membaca gejala dengan baik akan lebih siap melakukan observasi, pengumpulan data, analisis penyebab, dan penyusunan solusi. Gejala tidak boleh diabaikan, tetapi juga tidak boleh langsung disamakan dengan akar masalah. Gejala harus dicatat, diklasifikasikan, diprioritaskan, dan diperiksa melalui bukti teknis yang memadai.

Gejala masalah pada pekerjaan teknik dapat muncul pada aspek mutu, waktu, biaya, keselamatan, dan produktivitas. Gejala mutu menunjukkan ketidaksesuaian hasil dengan standar atau spesifikasi. Gejala waktu menunjukkan keterlambatan atau gangguan jadwal. Gejala biaya menunjukkan penggunaan sumber daya yang melebihi rencana. Gejala keselamatan menunjukkan bahaya yang belum terkendali. Gejala produktivitas menunjukkan *output* yang tidak sebanding dengan input. Kelima gejala tersebut saling berhubungan dan perlu dianalisis berdasarkan data sebelum ditetapkan sebagai akar masalah.

E. Tantangan Teknik pada Era Otomasi dan Digitalisasi Industri

Era otomasi dan digitalisasi industri mengubah cara pekerjaan teknik dirancang, dilaksanakan, dipantau, dan dievaluasi. Perubahan ini terlihat pada penggunaan sensor, perangkat lunak desain, sistem kendali otomatis, robotik, *Internet of Things*, *Building Information Modeling*, data analytics, kecerdasan buatan, *cloud computing*, dan sistem informasi proyek. Teknologi tersebut membantu pekerjaan teknik menjadi lebih cepat, akurat, terdokumentasi, dan terhubung. Namun, teknologi juga membawa tantangan baru yang perlu dipahami oleh mahasiswa vokasi keteknikan.

Digitalisasi tidak hanya berarti mengganti dokumen kertas menjadi dokumen elektronik. Digitalisasi mengubah alur kerja, cara membaca data, cara mengambil keputusan, cara berkomunikasi, dan cara mengendalikan risiko. Pada pekerjaan teknik sipil, digitalisasi dapat terlihat dalam penggunaan BIM, drone, sensor struktur, pemetaan digital, dan sistem informasi geografis. Pada teknik mesin, digitalisasi tampak pada mesin CNC, *predictive maintenance*, sensor getaran, sistem produksi terhubung, dan otomasi lini produksi. Pada teknik elektro, digitalisasi terlihat pada smart panel, sistem kendali, otomasi bangunan, jaringan sensor, dan *monitoring* energi. Pada teknik lingkungan, digitalisasi tampak pada sensor kualitas air, sistem pemantauan emisi, *dashboard* operasi, dan kontrol proses pengolahan.

UNESCO (2022) menegaskan bahwa TVET perlu merespons perubahan teknologi, termasuk digitalisasi, otomasi, 5G, kecerdasan buatan, dan Industri 4.0. Arah ini menunjukkan bahwa pendidikan vokasi keteknikan perlu menyiapkan mahasiswa agar tidak hanya mampu menggunakan alat konvensional, tetapi juga mampu memahami sistem digital yang semakin banyak digunakan dalam dunia kerja. Mahasiswa perlu memiliki literasi teknologi, literasi data, dan kemampuan *problem solving* yang sesuai dengan lingkungan kerja modern.

World Economic Forum (2025) menyatakan bahwa perubahan teknologi, fragmentasi geoekonomi, ketidakpastian ekonomi, perubahan demografi, dan transisi hijau menjadi penggerak utama perubahan pasar kerja hingga 2030. Laporan tersebut juga menempatkan keterampilan seperti *analytical thinking*, AI and *big data*, networks and cybersecurity, serta technological literacy sebagai keterampilan penting dalam dunia kerja modern. Dalam konteks vokasi keteknikan, temuan ini menunjukkan bahwa lulusan teknik perlu menguasai keterampilan teknis sekaligus mampu membaca data, memahami sistem digital, dan menjaga keamanan informasi.

Tantangan pertama pada era otomasi adalah perubahan peran manusia dalam proses kerja. Pada sistem tradisional, manusia banyak melakukan pekerjaan manual dan pengawasan langsung. Pada sistem

otomatis, manusia lebih banyak berperan sebagai pengatur, pemantau, analis, dan pengambil keputusan. Perubahan ini tidak menghilangkan peran manusia. Perubahan ini justru menuntut manusia memiliki kemampuan baru. Teknisi perlu mampu membaca parameter sistem, memahami alarm, memeriksa sensor, menafsirkan data, dan melakukan tindakan korektif jika sistem tidak berjalan normal.

Tantangan kedua adalah ketergantungan pada data. Sistem digital menghasilkan banyak data, seperti suhu, tekanan, getaran, arus listrik, kelembapan, posisi, debit, waktu siklus, konsumsi energi, dan status peralatan. Data tersebut dapat membantu analisis masalah. Namun, data juga dapat menyesatkan jika sensor rusak, kalibrasi tidak benar, input salah, atau interpretasi keliru. Mahasiswa perlu memahami bahwa data digital bukan kebenaran mutlak. Data harus diperiksa sumbernya, akurasinya, satuannya, waktunya, dan kesesuaiannya dengan kondisi lapangan.

Tantangan ketiga adalah integrasi sistem. Dalam dunia teknik modern, satu sistem sering terhubung dengan sistem lain. Mesin produksi dapat terhubung dengan sistem inventori. Panel listrik dapat terhubung dengan sistem *monitoring* energi. Bangunan dapat terhubung dengan sistem otomasi gedung. Proyek konstruksi dapat terhubung dengan BIM, jadwal digital, dan sistem pelaporan. Integrasi ini memberi manfaat, tetapi juga menambah kompleksitas. Gangguan pada satu bagian dapat berdampak pada bagian lain. Karena itu, mahasiswa perlu menggunakan cara berpikir sistem.

Tantangan keempat adalah keamanan siber. Semakin banyak alat teknik terhubung ke jaringan, semakin besar pula risiko gangguan digital. Risiko tersebut dapat berupa akses tidak sah, pencurian data, manipulasi parameter, gangguan sistem kontrol, kerusakan data, atau penghentian operasi. NIST *Cybersecurity Framework* 2.0 memberikan panduan bagi organisasi untuk mengelola risiko keamanan siber. Kerangka ini relevan bagi dunia teknik karena sistem otomasi, sensor, dan perangkat industri semakin terhubung dengan jaringan digital.

Keamanan siber bukan hanya tanggung jawab ahli teknologi informasi. Dalam pekerjaan teknik, teknisi dan *supervisor* juga perlu

memahami praktik dasar keamanan. Contohnya adalah menjaga kata sandi, tidak menggunakan perangkat penyimpanan sembarangan, tidak mengubah konfigurasi tanpa izin, mencatat perubahan parameter, membatasi akses panel kontrol, dan melaporkan anomali sistem. Kesalahan kecil pada keamanan digital dapat berdampak pada keselamatan, mutu, dan keberlanjutan operasi.

Tantangan kelima adalah penggunaan kecerdasan buatan. AI dapat membantu diagnosis awal, prediksi kerusakan, optimasi proses, analisis gambar, klasifikasi data, dan penyusunan rekomendasi. Namun, AI juga memiliki keterbatasan. Hasil AI dapat dipengaruhi oleh kualitas data, bias, konteks yang tidak lengkap, dan kesalahan model. ISO/IEC 42001:2023 memberikan persyaratan dan panduan untuk sistem manajemen kecerdasan buatan dalam organisasi, termasuk pengembangan dan penggunaan AI secara bertanggung jawab. Hal ini penting karena penggunaan AI dalam pekerjaan teknik harus tetap memperhatikan mutu, keselamatan, keamanan, privasi, dan akuntabilitas.

Mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami bahwa AI merupakan alat bantu, bukan pengganti penalaran teknis. Rekomendasi AI harus diperiksa dengan data lapangan, standar, pengalaman teknis, dan pertimbangan keselamatan. Misalnya, sistem prediksi dapat menunjukkan kemungkinan kerusakan bearing berdasarkan data getaran. Namun, teknisi tetap perlu memeriksa kondisi fisik mesin, pelumasan, pemasangan, dan beban operasi. Dalam teknik sipil, AI dapat membantu mendeteksi retak dari gambar, tetapi hasilnya tetap perlu diverifikasi melalui inspeksi langsung dan penilaian teknis.

Tantangan keenam adalah kesenjangan keterampilan. Tidak semua mahasiswa, teknisi, dosen, dan institusi memiliki akses atau kemampuan yang sama dalam menggunakan teknologi digital. Beberapa institusi memiliki laboratorium modern, sementara yang lain masih terbatas. Beberapa mahasiswa cepat beradaptasi dengan perangkat lunak dan sensor, sementara yang lain memerlukan pelatihan dasar. Kesenjangan ini perlu ditangani melalui pembelajaran bertahap, pelatihan dosen, kerja sama industri, modul

praktik digital, dan penggunaan teknologi yang sesuai dengan kebutuhan lokal.

Tantangan ketujuh adalah perubahan standar kerja dan dokumentasi. Digitalisasi membuat pekerjaan teknik semakin terdokumentasi. Data sensor, log mesin, catatan inspeksi digital, model BIM, dan *dashboard* proyek dapat digunakan untuk melacak proses kerja. Kondisi ini menuntut mahasiswa lebih disiplin dalam pencatatan data. Kesalahan input dapat berdampak pada analisis dan keputusan. Dokumen digital juga perlu dikelola dengan baik agar versi terbaru, hak akses, dan jejak perubahan dapat diketahui.

Tantangan kedelapan adalah hubungan antara otomasi dan keselamatan kerja. Otomasi dapat mengurangi paparan pekerja terhadap pekerjaan berbahaya. Namun, otomasi juga dapat menciptakan bahaya baru. Contohnya adalah gerakan robot yang tidak terduga, energi tersimpan pada mesin otomatis, kegagalan sensor keselamatan, kesalahan program, atau pekerja yang terlalu percaya pada sistem. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya identifikasi bahaya dan pengendalian risiko dalam sistem keselamatan dan kesehatan kerja. Prinsip ini tetap berlaku pada lingkungan kerja otomatis dan digital (International Organization for Standardization, 2018).

Dalam sistem otomatis, kegagalan dapat terjadi secara cepat. Operator perlu memahami alarm, prosedur emergency stop, lockout dan tagout, batas operasi, serta kondisi yang memerlukan penghentian sistem. Mahasiswa perlu dilatih bahwa sistem otomatis tidak boleh dianggap selalu aman. Sistem tetap perlu diperiksa, diuji, dikalibrasi, dan diawasi. Keselamatan pada era otomasi menuntut pemahaman antara mekanik, listrik, kontrol, perangkat lunak, dan perilaku manusia.

Tantangan kesembilan adalah kualitas data dan interoperabilitas. Banyak perangkat digital menghasilkan data dalam format berbeda. Perangkat lunak yang berbeda juga dapat memiliki standar file, satuan, dan struktur data yang berbeda. Jika data tidak dapat dipertukarkan dengan baik, komunikasi teknis menjadi terganggu. Dalam proyek konstruksi, model digital yang tidak sinkron dapat

menyebabkan konflik desain. Dalam produksi, data mesin yang tidak terhubung dapat menyulitkan analisis produktivitas. Dalam pemantauan lingkungan, sensor yang tidak dikalibrasi dapat menghasilkan data yang tidak dapat dibandingkan.

Tantangan kesepuluh adalah biaya investasi dan keberlanjutan teknologi. Teknologi digital membutuhkan biaya perangkat, lisensi, pelatihan, pemeliharaan, pembaruan, keamanan, dan dukungan teknis. Institusi pendidikan dan industri perlu memilih teknologi yang sesuai dengan kebutuhan, bukan hanya mengikuti tren. Teknologi yang mahal tetapi tidak digunakan secara efektif dapat menjadi beban. Sebaliknya, teknologi sederhana seperti *spreadsheet*, formulir digital, sensor murah, atau *dashboard* sederhana dapat memberi manfaat besar jika digunakan secara tepat.

Tabel 12. Tantangan Teknik pada Era Otomasi dan Digitalisasi Industri

Bidang Tantangan	Bentuk Tantangan di Dunia Teknik	Risiko Jika Tidak Dikendalikan	Kompetensi yang Dibutuhkan Mahasiswa
Perubahan peran manusia	Teknisi beralih dari pelaksana manual menjadi pemantau, analis, dan pengendali sistem	Operator hanya mengikuti sistem tanpa memahami kondisi teknis	Literasi sistem, pemahaman proses, kemampuan membaca parameter, dan pengambilan keputusan
Ketergantungan pada data	Sensor, log mesin, <i>dashboard</i> , dan perangkat lunak menjadi dasar keputusan	Keputusan keliru akibat data salah, sensor rusak, atau interpretasi lemah	Literasi data, validasi data, pemahaman satuan, dan analisis teknis
Integrasi sistem	Mesin, perangkat lunak, sensor, jaringan, dan dokumen digital saling terhubung	Gangguan satu bagian menyebar ke sistem lain	Berpikir sistem, pemetaan proses, dan pemahaman hubungan antarkomponen
Keamanan siber	Sistem teknik terhubung dengan jaringan dan	Akses tidak sah, kehilangan data, gangguan operasi, atau	Kesadaran keamanan siber, pengelolaan akses, dan pelaporan anomali

Bidang Tantangan	Bentuk Tantangan di Dunia Teknik	Risiko Jika Tidak Dikendalikan	Kompetensi yang Dibutuhkan Mahasiswa
	penyimpanan digital	manipulasi parameter	
Kecerdasan buatan	AI digunakan untuk diagnosis, prediksi, optimasi, dan rekomendasi teknis	Ketergantungan berlebihan pada hasil AI tanpa verifikasi lapangan	Literasi AI, verifikasi hasil, etika data, dan penalaran teknis
Kesenjangan keterampilan	Tidak semua pengguna memiliki kemampuan digital yang sama	Teknologi tidak digunakan efektif atau menimbulkan kesalahan kerja	Pelatihan bertahap, adaptasi teknologi, dan pembelajaran sepanjang hayat
Dokumentasi digital	Data, gambar, model, dan laporan disimpan serta diperbarui secara elektronik	Salah versi dokumen, kehilangan data, dan keputusan berdasarkan informasi lama	Manajemen dokumen, kontrol versi, dan disiplin pencatatan
Keselamatan sistem otomatis	Mesin otomatis, robot, dan sistem kontrol memiliki bahaya baru	Cedera, kerusakan mesin, atau penghentian operasi	Pemahaman K3 otomasi, emergency stop, lockout tagout, dan inspeksi sistem
Interoperabilitas data	Data berasal dari berbagai alat dan perangkat lunak	Data sulit dibandingkan, konflik informasi, dan analisis terhambat	Standarisasi data, pemahaman format, dan komunikasi teknis digital
Biaya dan keberlanjutan teknologi	Teknologi membutuhkan investasi, perawatan, lisensi, dan pelatihan	Teknologi menjadi beban karena tidak sesuai kebutuhan	Analisis kebutuhan, kelayakan biaya, dan pemilihan teknologi tepat guna

Tabel 12 menunjukkan bahwa tantangan otomasi dan digitalisasi tidak hanya berkaitan dengan penggunaan alat baru. Tantangan tersebut mencakup perubahan peran manusia, kualitas data, keamanan siber, keselamatan, integrasi sistem, dokumentasi, dan biaya. Dengan memahami tantangan ini, mahasiswa vokasi keteknikan dapat melihat bahwa teknologi harus digunakan secara kritis, aman, dan bertanggung jawab.

Dalam pendidikan vokasi, pembelajaran digital perlu dimulai dari keterampilan dasar yang kuat. Mahasiswa perlu memahami konsep teknis sebelum menggunakan perangkat lunak atau sistem otomatis. Perangkat lunak dapat mempercepat perhitungan, tetapi mahasiswa tetap perlu memahami prinsip perhitungan. Sensor dapat menghasilkan data cepat, tetapi mahasiswa tetap perlu memahami cara kerja sensor dan batas akurasi. *Dashboard* dapat menampilkan informasi, tetapi mahasiswa tetap perlu mampu menafsirkan makna teknis dari informasi tersebut.

Pembelajaran otomasi dan digitalisasi juga perlu berbasis kasus. Mahasiswa dapat diberi kasus sederhana, seperti memantau suhu motor, mencatat konsumsi energi, menganalisis progres proyek dari data harian, membuat formulir inspeksi digital, atau membaca data sensor kualitas air. Dari kasus tersebut, mahasiswa belajar bahwa data digital harus dikumpulkan, dibersihkan, dianalisis, dan dibandingkan dengan standar. Mahasiswa juga belajar bahwa keputusan teknis tetap membutuhkan verifikasi lapangan.

Pada bidang teknik sipil, tantangan digitalisasi dapat dilihat pada penggunaan BIM. BIM membantu koordinasi desain, estimasi kuantitas, deteksi konflik, dan visualisasi proyek. Namun, BIM juga menuntut ketelitian model, manajemen informasi, koordinasi antarbidang, dan pembaruan data. Jika model tidak diperbarui sesuai kondisi lapangan, keputusan dapat salah. Jika pengguna tidak memahami informasi dalam model, BIM hanya menjadi tampilan visual tanpa fungsi pengendalian.

Pada bidang teknik mesin, tantangan otomasi dapat dilihat pada *predictive maintenance*. Sistem dapat memantau getaran, suhu, tekanan, dan waktu operasi untuk memprediksi kerusakan.

Manfaatnya adalah perawatan dapat dilakukan sebelum kerusakan besar terjadi. Namun, sistem ini membutuhkan sensor yang baik, data historis, pemahaman pola kerusakan, dan prosedur tindak lanjut. Tanpa analisis yang tepat, peringatan sistem dapat diabaikan atau ditafsirkan secara keliru.

Pada bidang teknik elektro, tantangan digitalisasi dapat dilihat pada smart *monitoring* dan sistem kontrol. Panel dan sistem kelistrikan dapat dipantau melalui data arus, tegangan, daya, faktor daya, suhu, dan alarm. Sistem ini membantu mendeteksi gangguan lebih cepat. Namun, teknisi tetap perlu memahami instalasi fisik, proteksi, kapasitas kabel, kualitas sambungan, dan standar keselamatan. Data digital tidak boleh menggantikan inspeksi teknis.

Pada bidang teknik lingkungan, tantangan digitalisasi dapat dilihat pada sensor kualitas air dan sistem pemantauan emisi. Sensor dapat membantu pemantauan pH, suhu, kekeruhan, debit, oksigen terlarut, atau parameter lain. Namun, sensor perlu dikalibrasi dan dirawat. Data sensor juga perlu dibandingkan dengan hasil uji laboratorium pada periode tertentu. Jika sensor kotor, rusak, atau tidak dikalibrasi, data yang muncul dapat menyesatkan operator.

Tantangan digitalisasi juga terkait dengan etika penggunaan data. Data teknis dapat memuat informasi sensitif tentang fasilitas, operasi, konsumsi energi, lokasi aset, atau kelemahan sistem. Data harus digunakan sesuai tujuan, dijaga kerahasiaannya, dan tidak dimanipulasi. Dalam pendidikan vokasi, mahasiswa perlu dibiasakan mencatat sumber data, tidak mengubah data tanpa alasan, dan melaporkan keterbatasan data. Integritas data menjadi bagian penting dari profesionalisme teknik.

Dalam *problem solving* teknik terapan, teknologi digital dapat mendukung setiap tahap. Pada tahap identifikasi masalah, teknologi membantu mendeteksi gejala melalui sensor, foto, video, atau *dashboard*. Pada tahap pengumpulan data, teknologi membantu pencatatan dan penyimpanan data. Pada tahap analisis, teknologi membantu membuat grafik, model, simulasi, dan perbandingan. Pada tahap pemilihan solusi, teknologi membantu menilai alternatif. Pada

tahap implementasi, teknologi membantu pemantauan. Pada tahap evaluasi, teknologi membantu dokumentasi dan pembelajaran.

Namun, mahasiswa perlu memahami batas teknologi. Teknologi tidak dapat menggantikan tanggung jawab profesional. Teknologi tidak dapat memastikan keputusan benar jika data awal salah. Teknologi tidak dapat menjamin keselamatan jika prosedur diabaikan. Teknologi tidak dapat menggantikan komunikasi tim. Teknologi hanya menjadi efektif jika manusia memahami tujuan, cara kerja, risiko, dan batas penggunaannya.

Oleh karena itu, pendidikan vokasi keteknikan perlu mengembangkan model pembelajaran yang menggabungkan praktik konvensional dan digital. Mahasiswa tetap perlu belajar mengukur secara manual, membaca gambar, memeriksa alat, memahami material, dan mengikuti prosedur kerja. Setelah dasar tersebut kuat, mahasiswa dapat diperkenalkan pada alat digital, perangkat lunak, sensor, otomasi, dan analisis data. Urutan ini membantu mahasiswa menjadi pengguna teknologi yang kritis, bukan hanya pengguna tombol.

Dosen juga memiliki peran penting dalam menghadapi tantangan digitalisasi. Dosen perlu memperbarui materi ajar, memilih teknologi yang relevan, merancang praktikum berbasis data, dan menjalin kerja sama dengan industri. Namun, digitalisasi pembelajaran tidak harus selalu dimulai dari teknologi mahal. Dosen dapat memulai dari penggunaan *spreadsheet*, formulir digital, dokumentasi foto terstruktur, simulasi sederhana, sensor dasar, atau perangkat lunak terbuka. Yang penting adalah teknologi digunakan untuk memperkuat *problem solving*, bukan sekadar memperindah pembelajaran.

Institusi pendidikan vokasi juga perlu membangun ekosistem pendukung. Ekosistem tersebut mencakup infrastruktur digital, pelatihan dosen, akses perangkat lunak, jaringan internet, kebijakan keamanan data, laboratorium yang relevan, dan kerja sama industri. Tanpa ekosistem yang baik, teknologi dapat sulit digunakan secara konsisten. Investasi teknologi perlu disertai strategi pemanfaatan, pemeliharaan, dan evaluasi dampak pembelajaran.

Dalam konteks dunia kerja, lulusan vokasi yang siap menghadapi otomasi dan digitalisasi adalah lulusan yang mampu belajar ulang. Teknologi berubah cepat. Perangkat lunak, alat ukur, sistem kontrol, dan metode analisis terus berkembang. Karena itu, mahasiswa perlu memiliki sikap pembelajar sepanjang hayat. Mereka perlu mampu membaca manual, mengikuti pelatihan, mencari informasi teknis, bertanya kepada ahli, mencoba teknologi baru, dan mengevaluasi penggunaannya.

Pada akhirnya, otomasi dan digitalisasi industri bukan hanya tantangan, tetapi juga peluang. Teknologi dapat membantu pekerjaan teknik menjadi lebih aman, cepat, akurat, hemat energi, dan terdokumentasi. Namun, manfaat tersebut hanya dapat dicapai jika teknologi digunakan dengan kompetensi yang tepat. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu menguasai dasar teknik, literasi data, keamanan digital, keselamatan kerja, komunikasi, dan etika. Dengan bekal tersebut, mereka dapat memanfaatkan otomasi dan digitalisasi untuk menghasilkan solusi teknik yang inovatif dan bertanggung jawab.

Era otomasi dan digitalisasi industri mengubah cara pekerjaan teknik dilakukan. Tantangan utama meliputi perubahan peran manusia, ketergantungan pada data, integrasi sistem, keamanan siber, penggunaan kecerdasan buatan, kesenjangan keterampilan, dokumentasi digital, keselamatan sistem otomatis, interoperabilitas data, serta biaya teknologi. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu memiliki literasi teknologi, literasi data, kemampuan validasi, kesadaran keamanan siber, pemahaman K3, dan sikap pembelajaran sepanjang hayat. Teknologi harus digunakan sebagai alat bantu *problem solving*, bukan sebagai pengganti penalaran teknis.

F. Penyusunan Agenda Observasi Lapangan

Observasi lapangan merupakan langkah awal yang penting dalam *problem solving* teknik terapan. Melalui observasi, mahasiswa dapat mengenali kondisi nyata, mencatat gejala masalah, memeriksa kesesuaian antara rencana dan pelaksanaan, serta mengumpulkan bukti teknis. Observasi yang baik tidak dilakukan secara spontan tanpa arah. Observasi perlu disusun dalam bentuk agenda agar

kegiatan pengamatan berjalan sistematis, aman, dan menghasilkan data yang dapat digunakan untuk analisis.

Agenda observasi lapangan adalah rencana kerja yang memuat tujuan observasi, lokasi, objek yang diamati, waktu pelaksanaan, data yang dibutuhkan, alat yang digunakan, pihak yang terlibat, potensi risiko, serta bentuk dokumentasi. Agenda ini membantu mahasiswa bekerja lebih terarah. Tanpa agenda, observasi mudah berubah menjadi kunjungan biasa. Mahasiswa dapat melihat banyak hal, tetapi tidak memiliki data yang cukup untuk merumuskan masalah secara jelas.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, agenda observasi lapangan sangat penting karena mahasiswa sering berhadapan dengan lingkungan kerja yang kompleks. Bengkel, laboratorium, studio, proyek, pabrik, instalasi, dan area layanan teknik memiliki karakter yang berbeda. Setiap tempat memiliki aturan, risiko, alat, prosedur, dan standar kerja. Oleh karena itu, observasi lapangan perlu dirancang agar mahasiswa mengetahui apa yang harus diamati, bagaimana data dicatat, dan bagaimana keselamatan tetap dikendalikan.

Penyusunan agenda observasi juga membantu mahasiswa membedakan antara pengamatan dan kesimpulan. Pengamatan adalah pencatatan kondisi yang terlihat, terdengar, terukur, atau terdokumentasi. Kesimpulan adalah hasil penafsiran terhadap data. Dalam observasi lapangan, mahasiswa tidak boleh langsung menyimpulkan penyebab masalah tanpa bukti. Misalnya, catatan “saluran tersumbat sampah pada titik inlet bagian utara” merupakan pengamatan. Catatan “drainase buruk karena pengguna tidak disiplin” merupakan kesimpulan awal yang masih perlu dibuktikan.

Creswell dan Creswell (2018) menjelaskan bahwa observasi merupakan salah satu teknik pengumpulan data yang memungkinkan peneliti mencatat perilaku, aktivitas, dan kondisi di lokasi penelitian. Dalam konteks vokasi keteknikan, prinsip ini dapat diterapkan untuk mencatat kondisi teknis di lapangan. Mahasiswa dapat mencatat kondisi alat, bahan, metode kerja, lingkungan, perilaku kerja, potensi bahaya, hasil pekerjaan, dan dokumen pendukung. Data observasi

kemudian digunakan sebagai dasar untuk perumusan masalah dan analisis penyebab.

Agenda observasi harus dimulai dengan tujuan yang jelas. Tujuan observasi menjawab pertanyaan mengapa observasi dilakukan. Tujuan dapat berupa mengenali gejala masalah, membandingkan kondisi aktual dengan rencana, memeriksa potensi bahaya, mengukur kinerja alat, mendokumentasikan alur kerja, atau mengumpulkan data awal untuk tugas proyek. Tujuan yang jelas akan menentukan objek, data, alat, dan metode pencatatan yang digunakan.

Contoh tujuan observasi yang masih terlalu umum adalah “mengamati kondisi drainase kampus.” Tujuan ini perlu diperjelas menjadi “mengidentifikasi titik genangan, kondisi saluran, hambatan aliran, dimensi saluran, dan kemungkinan faktor penyebab gangguan drainase pada area parkir kampus.” Tujuan yang lebih jelas akan membantu mahasiswa menentukan data yang perlu dicatat, seperti lokasi genangan, kedalaman air, ukuran saluran, kemiringan, kondisi inlet, keberadaan sedimentasi, dan dokumentasi foto.

Langkah kedua adalah menentukan ruang lingkup observasi. Ruang lingkup mencakup lokasi, batas area, objek yang diamati, waktu observasi, serta aspek yang tidak diamati. Ruang lingkup diperlukan agar observasi tidak terlalu luas. Mahasiswa perlu memahami bahwa observasi yang terlalu luas dapat menghasilkan data yang dangkal. Sebaliknya, observasi yang terlalu sempit dapat mengabaikan faktor penting. Ruang lingkup harus sesuai dengan tujuan, waktu, sumber daya, dan tingkat risiko.

Pada pekerjaan teknik sipil, ruang lingkup observasi dapat dibatasi pada satu ruas jalan, satu saluran drainase, satu area pekerjaan beton, atau satu titik kerusakan. Pada teknik mesin, ruang lingkup dapat dibatasi pada satu mesin, satu komponen, satu proses produksi, atau satu kegiatan perawatan. Pada teknik elektro, ruang lingkup dapat dibatasi pada satu panel, satu instalasi, satu rangkaian, atau satu sistem penerangan. Pada teknik lingkungan, ruang lingkup dapat dibatasi pada satu unit pengolahan, satu titik *sampling*, atau satu alur proses.

Langkah ketiga adalah menyusun daftar data yang dibutuhkan. Data harus sesuai dengan tujuan observasi. Data dapat berupa data visual, data ukur, data dokumen, data wawancara teknis, data waktu, data kondisi lingkungan, dan data keselamatan. Data visual dapat berupa foto atau video. Data ukur dapat berupa dimensi, suhu, arus, tegangan, getaran, debit, kelembapan, intensitas cahaya, atau waktu siklus. Data dokumen dapat berupa gambar kerja, SOP, laporan harian, hasil uji, checklist inspeksi, atau catatan perawatan.

Data observasi harus memiliki satuan, waktu, lokasi, dan metode pencatatan. Data tanpa satuan dapat menimbulkan kesalahan interpretasi. Data tanpa lokasi sulit ditelusuri. Data tanpa waktu sulit dibandingkan dengan kondisi lain. Data tanpa metode pencatatan sulit diperiksa keandalannya. Oleh karena itu, mahasiswa perlu menggunakan format pencatatan yang konsisten. Hal ini sejalan dengan prinsip mutu dalam ISO 9001:2015 yang menekankan pentingnya proses yang terkendali untuk menghasilkan keluaran yang konsisten (International Organization for Standardization, 2015).

Langkah keempat adalah menyiapkan alat observasi. Alat dapat berupa alat ukur, alat dokumentasi, alat tulis, formulir, peta lokasi, gambar kerja, alat pelindung diri, dan perangkat digital. Pemilihan alat harus sesuai dengan data yang dibutuhkan. Jika mahasiswa ingin mengamati dimensi saluran, maka alat ukur panjang diperlukan. Jika ingin mengamati suhu panel, maka termometer inframerah atau thermal camera dapat digunakan jika tersedia. Jika ingin mengamati kebisingan, maka sound level meter diperlukan. Jika ingin mencatat koordinat, maka GPS atau aplikasi pemetaan dapat digunakan.

Kelayakan alat perlu diperiksa sebelum observasi dilakukan. Alat ukur harus berfungsi dan sesuai kapasitas. Baterai perangkat harus cukup. Formulir harus tersedia. Kamera harus memiliki ruang penyimpanan. APD harus sesuai dengan risiko lokasi. Jika alat tidak disiapkan dengan baik, observasi dapat gagal atau menghasilkan data yang tidak lengkap. Dalam kegiatan pendidikan, dosen perlu membiasakan mahasiswa membuat daftar periksa alat sebelum turun ke lapangan.

Langkah kelima adalah mengidentifikasi risiko keselamatan. Observasi lapangan bukan kegiatan bebas risiko. Risiko dapat berasal dari kendaraan, alat berat, listrik, ketinggian, ruang sempit, bahan kimia, genangan air, permukaan licin, cuaca, debu, kebisingan, atau aktivitas pekerja di sekitar lokasi. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya identifikasi bahaya dan pengendalian risiko dalam sistem keselamatan dan kesehatan kerja (International Organization for Standardization, 2018). Karena itu, agenda observasi harus memuat potensi bahaya dan tindakan pengendalian.

Tindakan pengendalian dapat berupa penggunaan APD, pembatasan area, izin masuk lokasi, pendampingan oleh petugas, briefing keselamatan, pengaturan waktu observasi, larangan menyentuh alat tertentu, dan jarak aman dari pekerjaan berbahaya. Mahasiswa perlu memahami bahwa pengumpulan data tidak boleh mengorbankan keselamatan. Jika kondisi tidak aman, observasi harus ditunda, dibatasi, atau dilakukan dari jarak aman.

Langkah keenam adalah menentukan teknik pencatatan dan dokumentasi. Pencatatan dapat dilakukan melalui lembar observasi, checklist, tabel pengukuran, sketsa lapangan, catatan naratif, foto, video, dan rekaman waktu. Dokumentasi harus disusun dengan rapi agar mudah dianalisis. Foto perlu diberi keterangan lokasi, arah pengambilan, tanggal, dan objek yang ditunjukkan. Sketsa lapangan perlu memuat orientasi, ukuran pokok, dan posisi objek. Checklist perlu diisi lengkap, bukan hanya dicentang tanpa catatan.

Dokumentasi yang baik membantu mahasiswa menelusuri kembali kondisi lapangan setelah observasi selesai. Dalam banyak kasus, data lapangan baru dianalisis di kelas atau laboratorium. Jika dokumentasi tidak lengkap, mahasiswa akan kesulitan menjelaskan temuan. Dokumentasi juga membantu dosen menilai apakah observasi dilakukan secara benar. Dalam pekerjaan profesional, dokumentasi menjadi bukti yang mendukung keputusan teknis.

Langkah ketujuh adalah menentukan pihak yang perlu ditemui atau diwawancarai. Observasi lapangan sering membutuhkan informasi dari teknisi, operator, *supervisor*, pengguna, petugas K3, atau pengelola fasilitas. Wawancara teknis dapat membantu menjelaskan

riwayat masalah, perubahan kondisi, prosedur kerja, jadwal perawatan, atau kendala pelaksanaan. Namun, hasil wawancara harus dipahami sebagai informasi pendukung, bukan bukti tunggal. Informasi tersebut perlu dibandingkan dengan data observasi dan dokumen.

Pertanyaan wawancara harus disusun secara jelas dan tidak mengarahkan jawaban. Contoh pertanyaan yang baik adalah “Kapan gejala ini pertama kali muncul,” “Seberapa sering gangguan terjadi,” “Tindakan apa yang sudah pernah dilakukan,” “Apakah ada perubahan alat, bahan, metode, atau beban kerja,” dan “Dokumen apa yang dapat diperiksa.” Pertanyaan seperti ini membantu mahasiswa memperoleh informasi faktual. Pertanyaan yang bersifat menyalahkan perlu dihindari karena dapat menghambat komunikasi.

Langkah kedelapan adalah menyusun jadwal observasi. Jadwal mencakup waktu keberangkatan, waktu briefing, waktu pengamatan, waktu pengukuran, waktu wawancara, waktu dokumentasi, dan waktu evaluasi singkat. Jadwal perlu realistis. Beberapa data hanya dapat diperoleh pada waktu tertentu. Misalnya, observasi genangan perlu dilakukan saat atau setelah hujan. Observasi produktivitas perlu dilakukan saat proses kerja berlangsung. Observasi beban listrik perlu dilakukan pada waktu operasi normal atau beban puncak.

Langkah kesembilan adalah menyusun format keluaran observasi. Keluaran dapat berupa laporan observasi, tabel data, foto beranotasi, sketsa, checklist, peta titik masalah, daftar gejala, atau rekomendasi data lanjutan. Keluaran harus disesuaikan dengan tujuan observasi. Jika tujuan observasi adalah mengenali gejala, maka keluaran utama adalah daftar gejala dan bukti pendukung. Jika tujuan observasi adalah membandingkan rencana dan pelaksanaan, maka keluaran utama adalah tabel perbandingan rencana dan kondisi aktual.

Langkah kesepuluh adalah menyiapkan rencana tindak lanjut. Observasi lapangan tidak berhenti pada pengumpulan data. Data yang terkumpul perlu diperiksa, dikelompokkan, dianalisis, dan digunakan untuk merumuskan masalah. Tindak lanjut dapat berupa pengukuran tambahan, pengujian laboratorium, klarifikasi dokumen, wawancara lanjutan, analisis risiko, atau penyusunan pernyataan masalah.

Dengan adanya rencana tindak lanjut, observasi menjadi bagian dari proses *problem solving*, bukan kegiatan terpisah.

ISO 31000:2018 menjelaskan bahwa proses manajemen risiko mencakup komunikasi, konsultasi, penetapan konteks, identifikasi risiko, analisis risiko, evaluasi risiko, perlakuan risiko, pemantauan, dan pencatatan (International Organization for Standardization, 2018). Prinsip ini dapat diterapkan dalam agenda observasi. Mahasiswa perlu memahami konteks lokasi, mengidentifikasi risiko, mencatat temuan, dan menentukan tindakan lanjutan. Dengan demikian, observasi menjadi kegiatan yang terstruktur dan bertanggung jawab.

Tabel 13. Format Agenda Observasi Lapangan untuk *Problem Solving* Teknik Terapan

Komponen Agenda	Isi yang Perlu Disiapkan	Contoh Penerapan
Tujuan observasi	Alasan observasi dan pertanyaan utama yang ingin dijawab	Mengidentifikasi penyebab awal genangan pada area parkir kampus
Lokasi dan ruang lingkup	Area, objek, batas pengamatan, dan aspek yang tidak diamati	Saluran drainase sisi utara, inlet, outlet, kemiringan, dan titik genangan
Waktu observasi	Hari, jam, durasi, dan kondisi yang diharapkan saat observasi	Observasi dilakukan setelah hujan untuk melihat arah aliran dan titik genangan
Data yang dibutuhkan	Data visual, data ukur, data dokumen, dan data wawancara	Foto saluran, dimensi saluran, kedalaman genangan, kondisi inlet, dan catatan perawatan
Alat observasi	Alat ukur, alat dokumentasi, formulir, APD, dan perangkat pendukung	Meteran, kamera, formulir observasi, sepatu keselamatan, rompi, dan peta lokasi
Risiko keselamatan	Bahaya yang mungkin muncul dan tindakan pengendalian	Permukaan licin, genangan, kendaraan lewat, dan pembatasan area observasi
Pihak yang terlibat	Mahasiswa, dosen, teknisi, operator, <i>supervisor</i> , atau petugas lokasi	Tim mahasiswa, dosen pembimbing, dan petugas sarana kampus
Teknik pencatatan	Cara mencatat data, memberi kode lokasi, dan menyimpan dokumentasi	Foto diberi kode titik A1, A2, A3 dan dicatat pada sketsa lokasi
Keluaran observasi	Bentuk hasil yang harus dikumpulkan setelah observasi	Tabel gejala, foto beranotasi, sketsa lokasi, dan daftar data lanjutan

Komponen Agenda	Isi yang Perlu Disiapkan	Contoh Penerapan
Tindak lanjut	Analisis atau kegiatan berikutnya setelah observasi	Mengukur ulang elevasi saluran dan membandingkan hasil dengan arah aliran

Tabel 13 menunjukkan bahwa agenda observasi lapangan harus memuat aspek teknis, keselamatan, dokumentasi, dan tindak lanjut. Format ini dapat disesuaikan dengan bidang teknik yang berbeda. Pada teknik mesin, objek observasi dapat berupa mesin produksi atau sistem perawatan. Pada teknik elektro, objek dapat berupa panel, instalasi, atau sistem penerangan. Pada teknik lingkungan, objek dapat berupa unit pengolahan air, area limbah, atau titik *sampling*. Pada teknik sipil, objek dapat berupa jalan, saluran, bangunan, tanah, atau pekerjaan konstruksi.

Setelah agenda disusun, mahasiswa perlu melakukan briefing sebelum observasi. Briefing bertujuan memastikan seluruh anggota tim memahami tujuan, ruang lingkup, pembagian tugas, alat yang digunakan, bahaya yang mungkin muncul, dan aturan di lokasi. Briefing juga dapat digunakan untuk membagi peran. Satu mahasiswa dapat bertugas mencatat data. Mahasiswa lain mengambil foto. Mahasiswa lain melakukan pengukuran. Mahasiswa lain melakukan wawancara teknis. Pembagian peran membuat observasi lebih efisien dan mengurangi data yang terlewat.

Selama observasi, mahasiswa harus mencatat data apa adanya. Mahasiswa tidak boleh mengubah data agar sesuai dugaan awal. Jika data belum jelas, mahasiswa perlu memberi catatan bahwa data memerlukan verifikasi. Jika ada kondisi yang tidak dapat diukur, mahasiswa perlu menjelaskan alasannya. Sikap ini penting untuk menjaga integritas data. Dalam *problem solving* teknik terapan, data yang jujur lebih penting daripada data yang terlihat rapi tetapi tidak benar.

Mahasiswa juga perlu menjaga etika selama observasi. Mereka harus meminta izin sebelum memasuki area kerja, tidak mengganggu pekerjaan, tidak mengambil foto pada area terbatas tanpa persetujuan, tidak menyentuh alat tanpa izin, dan menjaga kerahasiaan informasi

teknis jika diminta. Etika observasi penting karena kegiatan lapangan melibatkan orang, organisasi, aset, dan data. Observasi yang baik harus menghormati aturan lokasi dan pihak yang bekerja di dalamnya.

Setelah observasi selesai, tim perlu melakukan evaluasi singkat. Evaluasi dapat dilakukan di lokasi atau setelah kembali ke kelas. Pertanyaan evaluasi dapat meliputi: apakah tujuan observasi tercapai, apakah data yang dibutuhkan sudah lengkap, apakah ada data yang perlu diperiksa ulang, apakah ada risiko yang belum dicatat, apakah dokumentasi sudah tersusun, dan apa langkah berikutnya. Evaluasi ini membantu memastikan data lapangan dapat digunakan untuk tahap analisis.

Data hasil observasi kemudian dikelompokkan. Pengelompokan dapat dilakukan berdasarkan lokasi, jenis gejala, faktor penyebab, aspek mutu, waktu, biaya, keselamatan, produktivitas, atau tingkat risiko. Pengelompokan membantu mahasiswa melihat pola. Misalnya, beberapa titik genangan mungkin berada pada area dengan inlet tertutup sedimentasi. Beberapa kerusakan mesin mungkin terjadi setelah jadwal perawatan tertunda. Beberapa masalah mutu mungkin terjadi pada pekerjaan yang menggunakan bahan dari pemasok tertentu.

Dalam laporan observasi, mahasiswa perlu membedakan antara temuan, analisis awal, dan rekomendasi tindak lanjut. Temuan adalah data yang diperoleh. Analisis awal adalah penafsiran sementara berdasarkan data. Rekomendasi tindak lanjut adalah langkah yang perlu dilakukan untuk memperkuat analisis. Struktur ini membantu mahasiswa tidak mencampur data dengan opini. Contohnya, temuan berupa “lebar saluran pada titik B adalah 40 cm, sedangkan pada titik C menyempit menjadi 25 cm.” Analisis awalnya adalah “penyempitan saluran dapat menghambat aliran.” Tindak lanjutnya adalah “perlu pengukuran elevasi dan pemeriksaan sedimentasi pada titik C.”

Agenda observasi lapangan juga dapat digunakan sebagai alat penilaian pembelajaran. Dosen dapat menilai kejelasan tujuan, kesesuaian data dengan tujuan, kelengkapan alat, perhatian terhadap keselamatan, kualitas pencatatan, dan relevansi tindak lanjut. Penilaian ini membantu mahasiswa memahami bahwa observasi

bukan sekadar melihat kondisi, tetapi kegiatan teknis yang membutuhkan persiapan, disiplin, dan tanggung jawab.

Dalam pembelajaran berbasis proyek, agenda observasi menjadi dokumen awal proyek. Dokumen ini dapat dilampirkan dalam laporan akhir sebagai bukti bahwa masalah dipilih berdasarkan kondisi nyata. Agenda observasi juga membantu pembaca laporan memahami bagaimana data diperoleh. Dengan demikian, laporan proyek menjadi lebih kuat secara ilmiah dan teknis.

Pada akhirnya, penyusunan agenda observasi lapangan merupakan keterampilan dasar yang harus dimiliki mahasiswa vokasi keteknikan. Agenda yang baik membantu mahasiswa melakukan pengamatan secara terarah, aman, terdokumentasi, dan dapat ditindaklanjuti. Melalui agenda observasi, mahasiswa belajar bahwa *problem solving* teknik terapan dimulai dari data lapangan yang dikumpulkan secara sistematis. Keterampilan ini akan menjadi dasar penting untuk memasuki Bab 3, yaitu perumusan masalah teknik secara sistematis.

Agenda observasi lapangan adalah rencana kerja yang memuat tujuan, lokasi, ruang lingkup, waktu, data yang dibutuhkan, alat, risiko keselamatan, pihak yang terlibat, teknik pencatatan, keluaran, dan tindak lanjut. Agenda ini membantu observasi berjalan sistematis, aman, dan menghasilkan data yang dapat digunakan untuk analisis masalah. Dalam pendidikan vokasi keteknikan, agenda observasi melatih mahasiswa membedakan pengamatan dan kesimpulan, mencatat data secara jujur, menjaga keselamatan, menghormati etika lapangan, dan menyiapkan dasar perumusan masalah.

BAB 3

PERUMUSAN MASALAH TEKNIK SECARA SISTEMATIS

Perumusan masalah merupakan tahap penting dalam *problem solving* teknik terapan. Tahap ini menentukan arah pengumpulan data, analisis penyebab, pemilihan solusi, dan evaluasi hasil. Masalah yang dirumuskan dengan jelas akan membantu mahasiswa memahami apa yang perlu diselesaikan, data apa yang perlu dicari, batas pekerjaan mana yang perlu diperhatikan, dan kriteria apa yang digunakan untuk menilai keberhasilan solusi. Sebaliknya, perumusan masalah yang lemah dapat membuat proses pemecahan masalah menjadi tidak terarah.

Dalam pekerjaan teknik, masalah jarang muncul dalam bentuk pernyataan yang rapi. Masalah sering muncul sebagai keluhan, gejala, gangguan, penyimpangan, atau ketidakpuasan pengguna. Contohnya adalah “jalan cepat rusak,” “mesin sering panas,” “panel listrik sering trip,” “hasil uji tidak stabil,” “proyek terlambat,” “biaya membengkak,” atau “saluran tidak berfungsi.” Pernyataan seperti ini penting sebagai informasi awal. Namun, pernyataan tersebut belum cukup untuk menjadi dasar analisis teknik. Keluhan perlu diubah menjadi pernyataan masalah yang spesifik, terukur, dapat diuji, dan memiliki ruang lingkup yang jelas.

Perumusan masalah teknik berbeda dari sekadar menyebutkan gejala. Gejala adalah tanda bahwa sesuatu tidak berjalan sesuai harapan. Masalah adalah kondisi teknis yang perlu dijelaskan, dibatasi, dan dianalisis. Akar masalah adalah penyebab utama yang perlu diperbaiki agar masalah tidak berulang. Dalam praktik lapangan, mahasiswa perlu belajar membedakan ketiganya. Jika gejala langsung dianggap sebagai masalah utama, solusi yang dihasilkan dapat hanya bersifat sementara.

Bab ini membahas cara merumuskan masalah teknik secara sistematis. Pembahasan dimulai dari cara mengubah keluhan lapangan menjadi pernyataan masalah. Setelah itu, pembaca diajak menentukan batas masalah dan ruang lingkup pekerjaan. Kedua tahap

ini menjadi fondasi sebelum masuk ke proses penyusunan asumsi teknis, kebutuhan pengguna, kriteria kinerja, prioritas masalah, dan dokumen perumusan masalah pada subbab berikutnya.

Perumusan masalah perlu dilakukan secara sistematis karena pekerjaan teknik memiliki konsekuensi nyata. Kesalahan dalam merumuskan masalah dapat berdampak pada mutu, waktu, biaya, keselamatan, produktivitas, dan keberlanjutan. Misalnya, keluhan “lantai beton retak” dapat dirumuskan secara berbeda bergantung pada data yang tersedia. Jika retak terjadi pada permukaan nonstruktural, masalahnya mungkin berkaitan dengan susut, perawatan beton, atau kondisi permukaan. Jika retak terjadi pada elemen struktural, masalahnya dapat berkaitan dengan beban, desain, mutu material, pelaksanaan, atau penurunan tanah. Rumusan masalah yang tidak jelas dapat menghasilkan tindakan yang keliru.

ISO 9001:2015 menekankan pentingnya pengendalian proses untuk menghasilkan keluaran yang konsisten dan memenuhi persyaratan. Prinsip ini relevan dengan perumusan masalah karena masalah mutu sering muncul ketika proses tidak sesuai standar atau tidak terkendali (International Organization for Standardization, 2015). ISO 31000:2018 juga menegaskan bahwa risiko perlu diidentifikasi, dianalisis, dievaluasi, dan ditangani secara sistematis (International Organization for Standardization, 2018). Dalam konteks teknik, perumusan masalah membantu menentukan risiko apa yang perlu diperiksa dan bagaimana dampaknya terhadap pekerjaan.

Perumusan masalah juga berkaitan dengan keselamatan kerja. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya identifikasi bahaya dan pengendalian risiko keselamatan dan kesehatan kerja (International Organization for Standardization, 2018). Jika masalah lapangan berhubungan dengan potensi bahaya, maka perumusan masalah harus memuat kondisi yang menimbulkan risiko. Contohnya bukan hanya “area kerja tidak aman,” tetapi “area pekerjaan instalasi panel di ruang utilitas memiliki kabel sementara yang melintang di jalur pekerja tanpa pelindung dan tanpa penanda, sehingga meningkatkan risiko tersandung dan gangguan kelistrikan.”

Rittel dan Webber (1973) menjelaskan bahwa beberapa masalah bersifat sulit dirumuskan secara pasti karena memiliki banyak pihak, banyak kepentingan, dan banyak kemungkinan solusi. Meskipun konsep tersebut berasal dari kajian perencanaan, gagasannya relevan bagi pekerjaan teknik yang kompleks. Masalah lapangan sering tidak memiliki satu penyebab tunggal. Masalah dapat berkaitan dengan desain, manusia, alat, bahan, metode, lingkungan, biaya, standar, dan kepentingan pengguna. Karena itu, perumusan masalah perlu dilakukan secara hati-hati agar tidak terlalu sempit dan tidak terlalu luas.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, kemampuan merumuskan masalah perlu dilatih melalui kasus nyata. Mahasiswa tidak cukup hanya menyelesaikan soal yang sudah memiliki pertanyaan lengkap. Mahasiswa perlu belajar menyusun pertanyaan teknis dari kondisi lapangan yang belum rapi. Keterampilan ini penting karena lulusan vokasi sering bekerja sebagai teknisi, pelaksana, pengawas, operator, teknisi laboratorium, atau *supervisor* junior. Dalam posisi tersebut, mereka sering menjadi pihak pertama yang mengenali gejala masalah.

Perumusan masalah yang baik memiliki beberapa ciri. Pertama, rumusan masalah harus jelas. Pembaca harus memahami masalah apa yang dibahas. Kedua, rumusan harus spesifik. Masalah tidak boleh terlalu umum. Ketiga, rumusan harus berbasis data awal. Rumusan tidak boleh hanya berisi dugaan. Keempat, rumusan harus memiliki batas. Batas membantu menentukan bagian yang dianalisis dan bagian yang tidak dianalisis. Kelima, rumusan harus dapat ditindaklanjuti. Artinya, masalah dapat diarahkan pada pengumpulan data, analisis, dan solusi.

Tabel 14 menyajikan perbedaan antara keluhan, gejala, masalah awal, dan rumusan masalah teknik. Tabel ini membantu mahasiswa memahami bahwa proses perumusan masalah bergerak dari informasi umum menuju pernyataan yang lebih teknis.

Tabel 14. Perbedaan Keluhan, Gejala, Masalah Awal, dan Rumusan Masalah Teknik

Bentuk Pernyataan	Karakter Utama	Contoh Pernyataan	Kegunaan dalam Problem Solving
Keluhan	Bersifat umum, berasal dari pengguna atau pengamat, dan sering belum memiliki data teknis	Jalan di depan kampus cepat rusak	Menjadi informasi awal bahwa ada kondisi yang perlu diperiksa
Gejala	Tanda yang terlihat, terukur, atau terdokumentasi	Terdapat lubang, retak, dan genangan pada beberapa titik jalan	Menjadi bukti awal bahwa terjadi penyimpangan kondisi
Masalah awal	Dugaan masalah berdasarkan gejala dan observasi awal	Kerusakan jalan diduga berkaitan dengan beban kendaraan dan drainase buruk	Menjadi dasar untuk menentukan data yang perlu dikumpulkan
Rumusan masalah teknik	Pernyataan spesifik, berbasis data awal, memiliki ruang lingkup, dan dapat dianalisis	Kerusakan permukaan jalan pada segmen 0 sampai 150 meter perlu dianalisis berdasarkan kondisi drainase, beban lalu lintas, material permukaan, dan mutu pelaksanaan	Menjadi dasar pengumpulan data, analisis penyebab, dan penyusunan solusi

Tabel 14 menunjukkan bahwa perumusan masalah tidak dilakukan dalam satu langkah. Keluhan perlu diperiksa. Gejala perlu dicatat. Masalah awal perlu diuji. Setelah itu, masalah dirumuskan dalam bentuk pernyataan teknik yang lebih jelas. Proses ini membantu mahasiswa menghindari kesimpulan yang terlalu cepat.

Bab ini mengarahkan pembaca untuk bekerja secara bertahap. Subbab A membahas cara mengubah keluhan lapangan menjadi pernyataan masalah. Subbab B membahas cara menentukan batas masalah dan ruang lingkup pekerjaan. Kedua subbab ini menjadi dasar penting untuk tahap berikutnya, yaitu menyusun asumsi teknis, menentukan kebutuhan pengguna, menetapkan kriteria kinerja, dan

menentukan prioritas masalah. Setelah mempelajari Bab 3, pembaca diharapkan mampu:

1. Menjelaskan pentingnya perumusan masalah dalam *problem solving* teknik terapan.
2. Membedakan keluhan, gejala, masalah awal, dan rumusan masalah teknik.
3. Mengubah keluhan lapangan menjadi pernyataan masalah yang jelas dan dapat dianalisis.
4. Menentukan batas masalah berdasarkan lokasi, waktu, objek, data, dan tanggung jawab pekerjaan.
5. Menyusun ruang lingkup pekerjaan agar proses analisis dan penyelesaian masalah lebih terarah.

Bab ini membahas perumusan masalah teknik secara sistematis. Ruang lingkupnya mencakup pengubahan keluhan lapangan menjadi pernyataan masalah, penentuan batas masalah, penyusunan ruang lingkup pekerjaan, penyusunan asumsi teknis, perumusan kebutuhan pengguna, penetapan kriteria kinerja, prioritas masalah, dan penyusunan dokumen ringkas perumusan masalah. Pembahasan diarahkan agar mahasiswa mampu menyusun masalah teknik yang dapat ditelusuri melalui data dan dapat ditindaklanjuti melalui solusi.

A. Mengubah Keluhan Lapangan Menjadi Pernyataan Masalah

Keluhan lapangan merupakan informasi awal yang sering muncul dari pengguna, pekerja, operator, teknisi, *supervisor*, atau masyarakat. Keluhan menunjukkan bahwa ada kondisi yang dianggap tidak sesuai dengan harapan. Dalam pekerjaan teknik, keluhan dapat menjadi pintu masuk untuk memahami masalah. Namun, keluhan belum dapat langsung dijadikan dasar keputusan teknis karena biasanya masih umum, subjektif, dan belum dilengkapi data.

Contoh keluhan lapangan sangat beragam. Pengguna bangunan dapat mengeluh bahwa ruang terasa panas. Operator dapat mengeluh bahwa mesin sering berhenti. Teknisi dapat melaporkan bahwa panel sering trip. Mahasiswa praktikum dapat menyatakan bahwa hasil pengujian tidak konsisten. Masyarakat dapat mengeluh bahwa jalan cepat rusak. Semua keluhan tersebut perlu dihargai karena

menunjukkan adanya gangguan. Namun, keluhan harus diolah menjadi pernyataan masalah yang lebih teknis.

Keluhan sering memakai bahasa sehari-hari. Bahasa tersebut mudah dipahami, tetapi sering tidak cukup untuk analisis teknik. Misalnya, pernyataan “mesin tidak enak bunyinya” belum menjelaskan jenis suara, waktu munculnya suara, bagian mesin yang bermasalah, kondisi beban, riwayat perawatan, atau data getaran. Pernyataan “saluran tidak berfungsi” belum menjelaskan lokasi, kondisi aliran, dimensi saluran, titik sumbatan, kemiringan, atau waktu kejadian. Oleh karena itu, mahasiswa perlu mengubah bahasa keluhan menjadi bahasa teknis yang lebih jelas.

Langkah pertama dalam mengubah keluhan menjadi pernyataan masalah adalah mencatat keluhan apa adanya. Keluhan tidak boleh langsung diubah berdasarkan dugaan. Catatan awal perlu memuat siapa yang menyampaikan keluhan, kapan keluhan muncul, di mana lokasi kejadian, kondisi apa yang dirasakan, dan seberapa sering keluhan terjadi. Catatan ini membantu mahasiswa memahami konteks awal sebelum melakukan observasi.

Langkah kedua adalah mengidentifikasi gejala yang dapat diamati. Gejala harus dapat dilihat, diukur, didengar, dirasakan secara teknis, atau dibuktikan melalui dokumen. Misalnya, keluhan “ruang terlalu panas” dapat diperiksa melalui suhu ruang, kondisi ventilasi, beban peralatan, orientasi bangunan, dan kinerja pendingin. Keluhan “hasil uji tidak stabil” dapat diperiksa melalui data pengujian, kondisi alat, prosedur, sampel, dan operator. Gejala membantu mahasiswa berpindah dari opini menuju bukti.

Langkah ketiga adalah mengumpulkan data awal. Data awal tidak harus lengkap, tetapi harus cukup untuk memperjelas masalah. Data awal dapat berupa foto, video, hasil ukur sederhana, catatan waktu, data historis, laporan inspeksi, hasil uji, gambar kerja, atau wawancara teknis. Data awal membantu mahasiswa menentukan apakah keluhan bersifat insidental, berulang, lokal, sistemik, ringan, atau kritis.

Langkah keempat adalah membedakan fakta dan dugaan. Fakta adalah informasi yang dapat dibuktikan. Dugaan adalah kemungkinan penyebab yang masih perlu diuji. Dalam *problem solving*, keduanya perlu dipisahkan. Misalnya, “panel trip tiga kali dalam satu hari saat beban puncak” adalah fakta jika ada catatan kejadian. “Panel trip karena MCB rusak” adalah dugaan yang perlu diuji. Pemisahan fakta dan dugaan membantu mahasiswa menghindari kesimpulan prematur.

Langkah kelima adalah menulis pernyataan masalah dengan struktur yang jelas. Pernyataan masalah teknik sebaiknya memuat objek yang bermasalah, lokasi, kondisi penyimpangan, data atau gejala awal, dampak, dan aspek yang perlu dianalisis. Struktur ini membuat masalah lebih mudah dipahami dan ditindaklanjuti. Pernyataan masalah tidak harus panjang, tetapi harus cukup spesifik.

Contoh rumusan yang lemah adalah “kualitas beton buruk.” Rumusan ini terlalu umum. Rumusan yang lebih baik adalah “hasil uji kuat tekan beton pada pekerjaan lantai kerja area workshop menunjukkan nilai di bawah mutu rencana pada tiga sampel awal, sehingga perlu dianalisis kemungkinan penyebab dari material, proses pencampuran, pemadatan, perawatan, dan prosedur pengujian.” Rumusan kedua lebih jelas karena memuat objek, lokasi, gejala, data awal, dan arah analisis.

Contoh lain adalah keluhan “mesin cepat panas.” Rumusan yang lebih teknis dapat ditulis sebagai “motor penggerak mesin produksi nomor 2 mengalami kenaikan suhu operasi hingga melebihi batas normal setelah beroperasi selama 30 menit pada beban kerja rutin, sehingga perlu dianalisis kemungkinan penyebab dari beban, pelumasan, ventilasi, kondisi bearing, dan jadwal perawatan.” Rumusan ini membantu tim menentukan data yang perlu diperiksa.

Keluhan “saluran tidak berfungsi” dapat diubah menjadi “saluran drainase sisi utara area parkir tidak mampu mengalirkan air setelah hujan sedang, ditunjukkan oleh genangan pada tiga titik inlet dan adanya sedimentasi pada segmen saluran tertentu, sehingga perlu dianalisis hubungan antara kapasitas saluran, kemiringan, hambatan aliran, dan kondisi pemeliharaan.” Rumusan ini lebih kuat karena mengarahkan analisis pada data lapangan.

Dalam menulis pernyataan masalah, mahasiswa perlu menghindari beberapa kesalahan. Kesalahan pertama adalah menggunakan kata yang terlalu umum, seperti buruk, kacau, tidak layak, bermasalah, atau gagal tanpa penjelasan teknis. Kesalahan kedua adalah langsung menyebut penyebab tanpa bukti, seperti “kerusakan terjadi karena pekerja lalai.” Kesalahan ketiga adalah membuat rumusan terlalu luas, seperti “menyelesaikan masalah banjir kota.” Kesalahan keempat adalah membuat rumusan terlalu sempit, seperti “membersihkan satu inlet” padahal masalah mungkin berkaitan dengan sistem drainase.

Pernyataan masalah yang baik harus dapat diarahkan pada data. Jika rumusan masalah tidak menunjukkan data apa yang perlu dikumpulkan, maka rumusan tersebut belum cukup baik. Misalnya, rumusan “meningkatkan kenyamanan ruang praktik” masih terlalu umum. Rumusan yang lebih operasional adalah “suhu ruang praktik komputer pada siang hari melebihi rentang kenyamanan yang dirasakan pengguna, sehingga perlu dianalisis pengaruh ventilasi, jumlah peralatan, orientasi ruang, dan kinerja sistem pendingin.” Rumusan ini menunjukkan data yang perlu dikumpulkan, seperti suhu, jumlah peralatan, kondisi ventilasi, dan pola penggunaan ruang.

Tabel 15 menyajikan contoh perubahan keluhan lapangan menjadi pernyataan masalah teknik. Tabel ini dapat digunakan mahasiswa sebagai pola latihan dalam menyusun rumusan masalah.

Tabel 15. Contoh Perubahan Keluhan Lapangan Menjadi Pernyataan Masalah Teknik

Keluhan Lapangan	Gejala yang Perlu Dicatat	Data Awal yang Dibutuhkan	Pernyataan Masalah Teknik
Jalan cepat rusak	Retak, lubang, genangan, permukaan bergelombang	Foto lokasi, panjang segmen rusak, kondisi drainase, volume kendaraan, riwayat perbaikan	Kerusakan permukaan jalan pada segmen tertentu perlu dianalisis berdasarkan kondisi drainase, beban lalu lintas, material, dan mutu pelaksanaan
Mesin sering panas	Suhu meningkat, suara berubah, getaran	Suhu operasi, beban kerja, data getaran, jadwal	Kenaikan suhu mesin selama operasi rutin perlu dianalisis

Keluhan Lapangan	Gejala yang Perlu Dicatat	Data Awal yang Dibutuhkan	Pernyataan Masalah Teknik
	bertambah, mesin berhenti	perawatan, kondisi pelumasan	berdasarkan beban, pelumasan, ventilasi, kondisi komponen, dan jadwal perawatan
Panel sering trip	MCB trip, kabel panas, beban tidak stabil, peralatan mati	Data arus, tegangan, pembagian beban, kondisi kabel, riwayat gangguan	Gangguan trip pada panel perlu dianalisis berdasarkan kapasitas proteksi, distribusi beban, kondisi sambungan, dan kualitas instalasi
Hasil uji tidak konsisten	Nilai uji berbeda jauh antar sampel, data sulit diulang	Kondisi alat, prosedur uji, operator, sampel, sertifikat kalibrasi	Variasi hasil pengujian perlu dianalisis berdasarkan kondisi alat, prosedur kerja, karakter sampel, dan ketelitian pencatatan data
Proyek terlambat	Progres tidak sesuai jadwal, aktivitas menumpuk, material terlambat	Jadwal rencana, laporan harian, data tenaga kerja, material, alat, dan cuaca	Keterlambatan pekerjaan perlu dianalisis berdasarkan ketersediaan material, alat, tenaga kerja, metode pelaksanaan, dan kondisi lapangan
Biaya praktik membengkak	Bahan cepat habis, banyak pekerjaan ulang, sisa material tidak terkendali	Rencana kebutuhan bahan, catatan pemakaian, sisa material, jumlah produk gagal	Peningkatan biaya bahan praktik perlu dianalisis berdasarkan perencanaan, kebutuhan, kesalahan kerja, limbah material, dan efektivitas metode praktik

Tabel 15 menunjukkan bahwa keluhan lapangan perlu diterjemahkan melalui gejala dan data awal sebelum menjadi pernyataan masalah teknik. Dengan cara ini, mahasiswa tidak langsung melompat ke solusi. Mahasiswa belajar menahan diri, membaca bukti, dan menyusun masalah secara lebih rasional. Tabel ini juga menunjukkan bahwa satu keluhan dapat memiliki banyak kemungkinan penyebab. Oleh karena itu, pernyataan masalah harus membuka ruang analisis, bukan menutup analisis dengan dugaan yang belum terbukti.

Pernyataan masalah yang baik juga perlu memuat dampak. Dampak menunjukkan mengapa masalah perlu diselesaikan. Dampak dapat berupa gangguan fungsi, risiko keselamatan, penurunan mutu, keterlambatan, pemborosan biaya, kerusakan alat, penurunan produktivitas, atau ketidakpuasan pengguna. Dampak membantu menentukan prioritas. Masalah yang berdampak pada keselamatan harus ditangani lebih cepat daripada masalah yang hanya berdampak pada kenyamanan ringan.

Selain dampak, pernyataan masalah perlu memperhatikan pihak yang terdampak. Pihak yang terdampak dapat berupa pengguna, operator, teknisi, mahasiswa, dosen, pekerja, masyarakat, pemilik proyek, atau organisasi. Dengan mengetahui pihak yang terdampak, mahasiswa dapat memahami kebutuhan dan kriteria keberhasilan solusi. Misalnya, masalah ruang praktik yang panas tidak hanya berdampak pada kenyamanan mahasiswa, tetapi juga dapat memengaruhi konsentrasi, kinerja peralatan komputer, dan konsumsi energi.

Dalam proses pembelajaran, dosen dapat melatih mahasiswa dengan tugas sederhana. Mahasiswa diminta membawa satu keluhan dari lingkungan kampus atau tempat magang. Setelah itu, mahasiswa mencatat gejala, mengumpulkan data awal, memisahkan fakta dan dugaan, lalu menulis pernyataan masalah. Dosen kemudian menilai apakah rumusan masalah sudah jelas, spesifik, berbasis data, memiliki batas, dan dapat ditindaklanjuti.

Pernyataan masalah juga perlu menggunakan bahasa yang objektif. Bahasa objektif menghindari tuduhan dan penilaian emosional. Misalnya, kalimat “pekerja tidak becus memasang pipa” perlu diganti menjadi “terdapat kebocoran pada tiga sambungan pipa setelah uji aliran, sehingga perlu diperiksa kesesuaian material, teknik penyambungan, tekanan uji, dan prosedur pemasangan.” Bahasa kedua lebih profesional karena fokus pada kondisi teknis, bukan menyalahkan individu.

Pernyataan masalah yang objektif juga membantu komunikasi tim. Dalam pekerjaan teknik, masalah sering melibatkan banyak pihak. Jika rumusan masalah ditulis dengan bahasa menyalahkan, pihak lain

dapat bersikap defensif. Jika rumusan masalah ditulis dengan bahasa teknis, diskusi dapat fokus pada data dan solusi. Keterampilan ini penting bagi mahasiswa vokasi karena mereka akan bekerja dalam tim yang melibatkan teknisi, *supervisor*, operator, pengguna, dan manajemen.

Pada akhirnya, mengubah keluhan lapangan menjadi pernyataan masalah merupakan keterampilan dasar dalam *problem solving* teknik terapan. Keterampilan ini membantu mahasiswa berpindah dari informasi umum menuju analisis teknis. Keluhan tidak diabaikan, tetapi diolah menjadi masalah yang dapat diteliti, diukur, dan diselesaikan. Dengan kemampuan ini, mahasiswa akan lebih siap memasuki tahap berikutnya, yaitu menentukan batas masalah dan ruang lingkup pekerjaan.

Keluhan lapangan merupakan informasi awal yang perlu diolah menjadi pernyataan masalah teknik. Prosesnya meliputi pencatatan keluhan, identifikasi gejala, pengumpulan data awal, pemisahan fakta dan dugaan, serta penyusunan pernyataan masalah yang jelas. Pernyataan masalah yang baik harus spesifik, objektif, berbasis data awal, memiliki dampak yang jelas, dan dapat ditindaklanjuti. Dalam pekerjaan teknik, rumusan masalah yang baik membantu menentukan arah pengumpulan data, analisis penyebab, dan pemilihan solusi.

B. Menentukan Batas Masalah dan Ruang Lingkup Pekerjaan

Batas masalah dan ruang lingkup pekerjaan merupakan bagian penting dalam perumusan masalah teknik. Setelah keluhan lapangan diubah menjadi pernyataan masalah, langkah berikutnya adalah menentukan bagian mana yang akan dianalisis dan bagian mana yang tidak dianalisis. Tanpa batas yang jelas, masalah dapat menjadi terlalu luas, sulit dikendalikan, dan tidak selesai dalam waktu yang tersedia. Sebaliknya, batas yang terlalu sempit dapat membuat analisis mengabaikan faktor penting.

Batas masalah adalah penjelasan tentang cakupan masalah yang akan dibahas. Batas ini dapat mencakup lokasi, objek, waktu, jenis data, aspek teknis, pihak yang terlibat, dan tingkat kedalaman analisis. Ruang lingkup pekerjaan adalah penjelasan tentang kegiatan yang

akan dilakukan untuk memahami dan menyelesaikan masalah. Ruang lingkup dapat mencakup observasi, pengukuran, pengujian, analisis, perancangan solusi, validasi, dan penyusunan rekomendasi.

Dalam pekerjaan teknik, batas masalah diperlukan karena sumber daya selalu terbatas. Mahasiswa memiliki keterbatasan waktu, alat, data, biaya, akses lokasi, dan kompetensi. Praktisi teknik juga memiliki batasan serupa. Oleh karena itu, perumusan masalah harus realistis. Masalah yang terlalu luas, seperti “mengatasi banjir kawasan perkotaan,” tidak sesuai untuk proyek kecil mahasiswa. Masalah tersebut perlu dipersempit menjadi, misalnya, “menganalisis penyebab genangan pada area parkir kampus berdasarkan kapasitas saluran, kondisi inlet, sedimentasi, dan kemiringan aliran.”

Menentukan batas masalah tidak berarti mengabaikan konteks. Batas masalah justru membantu mahasiswa fokus pada bagian yang paling relevan. Misalnya, pada masalah kerusakan jalan, mahasiswa dapat membatasi analisis pada segmen tertentu, jenis kerusakan permukaan, kondisi drainase, dan beban lalu lintas. Namun, mahasiswa tetap perlu menyebutkan bahwa analisis tidak mencakup desain struktur perkerasan secara penuh jika data tersebut tidak tersedia. Penjelasan seperti ini membuat ruang lingkup lebih jujur dan dapat dipertanggungjawabkan.

Ruang lingkup pekerjaan juga perlu ditentukan sejak awal agar proses kerja lebih jelas. Misalnya, dalam kasus genangan, ruang lingkup dapat mencakup observasi titik genangan, pengukuran dimensi saluran, pemeriksaan kondisi inlet, dokumentasi foto, wawancara teknis dengan petugas sarana, dan penyusunan rekomendasi awal. Ruang lingkup tidak mencakup pembangunan fisik saluran baru jika tugas hanya sampai tahap analisis dan rekomendasi. Dengan ruang lingkup yang jelas, mahasiswa dan dosen memiliki pemahaman yang sama tentang hasil yang diharapkan.

Project Management Institute (2021) menempatkan ruang lingkup sebagai elemen penting dalam pengelolaan proyek karena ruang lingkup menentukan pekerjaan apa yang termasuk dan tidak termasuk dalam proyek. Prinsip ini relevan dalam pendidikan vokasi keteknikan. Jika ruang lingkup tidak jelas, tugas mahasiswa dapat

melebar tanpa arah. Akibatnya, data yang dikumpulkan tidak fokus, waktu habis, dan solusi menjadi tidak sesuai dengan tujuan awal.

Batas masalah dapat ditentukan melalui beberapa dimensi. Dimensi pertama adalah batas lokasi. Batas lokasi menjelaskan di mana masalah diamati. Lokasi dapat berupa satu ruang, satu mesin, satu panel, satu saluran, satu segmen jalan, satu unit proses, atau satu area kerja. Batas lokasi membantu mahasiswa menghindari pembahasan yang terlalu luas. Lokasi juga memudahkan dokumentasi dan pengukuran ulang.

Dimensi kedua adalah batas objek. Batas objek menjelaskan apa yang menjadi pusat analisis. Objek dapat berupa komponen, sistem, proses, alat, bahan, dokumen, atau hasil pekerjaan. Dalam kasus panel sering trip, objek dapat dibatasi pada panel distribusi utama di gedung laboratorium, bukan seluruh sistem kelistrikan kampus. Dalam kasus mesin bergetar, objek dapat dibatasi pada motor dan sistem transmisi mesin tertentu, bukan seluruh lini produksi.

Dimensi ketiga adalah batas waktu. Batas waktu menjelaskan periode data atau waktu kejadian yang dianalisis. Masalah dapat dianalisis berdasarkan data satu hari, satu minggu, satu bulan, satu semester, atau periode tertentu. Batas waktu penting karena kondisi teknis dapat berubah. Misalnya, masalah genangan perlu dianalisis pada periode musim hujan. Masalah beban listrik perlu dianalisis saat jam operasi puncak. Masalah produktivitas perlu dianalisis selama proses kerja berlangsung.

Dimensi keempat adalah batas aspek teknis. Batas ini menjelaskan aspek apa yang dianalisis. Aspek dapat berupa mutu, waktu, biaya, keselamatan, produktivitas, energi, lingkungan, keandalan, atau kenyamanan. Dalam satu kasus, tidak semua aspek harus dianalisis secara mendalam. Mahasiswa dapat memilih aspek paling relevan dengan masalah. Namun, aspek keselamatan tetap perlu diperhatikan meskipun bukan fokus utama.

Dimensi kelima adalah batas data. Batas data menjelaskan jenis data yang digunakan dan data yang tidak tersedia. Batas ini penting untuk menjaga kejujuran ilmiah. Misalnya, penelitian kecil

mahasiswa dapat menggunakan observasi visual, pengukuran dimensi, data hujan sederhana, dan wawancara teknis. Jika tidak memiliki data hidrologi lengkap, mahasiswa perlu menyatakan keterbatasan tersebut. Dengan demikian, kesimpulan tidak dibuat melebihi data yang tersedia.

Dimensi keenam adalah batas kewenangan. Dalam pekerjaan teknik, tidak semua tindakan boleh dilakukan oleh mahasiswa atau teknisi tertentu. Beberapa pekerjaan membutuhkan izin, sertifikasi, atau pengawasan ahli. Contohnya adalah membuka panel listrik aktif, melakukan pengujian beban berat, memasuki ruang terbatas, menaiki struktur tinggi, atau mengambil sampel bahan berbahaya. Batas kewenangan harus dijelaskan agar kegiatan tetap aman dan sesuai aturan.

Dimensi ketujuh adalah batas hasil. Batas ini menjelaskan keluaran akhir pekerjaan. Keluaran dapat berupa laporan analisis, rekomendasi teknis, desain konseptual, prototipe, prosedur perbaikan, checklist inspeksi, atau presentasi. Batas hasil penting agar pembaca tidak mengharapkan keluaran yang tidak direncanakan. Misalnya, tugas analisis genangan dapat menghasilkan rekomendasi teknis, tetapi belum tentu menghasilkan desain detail saluran lengkap.

Tabel 16 menyajikan contoh dimensi batas masalah dan ruang lingkup pekerjaan. Tabel ini dapat digunakan mahasiswa sebagai panduan saat menyusun proposal tugas, laporan praktikum, atau proyek akhir.

Tabel 16. Dimensi Batas Masalah dan Ruang Lingkup Pekerjaan

Dimensi	Pertanyaan Panduan	Contoh Penerapan
Lokasi	Di mana masalah diamati dan dibatasi?	Area parkir sisi utara kampus, segmen jalan 0 sampai 150 meter, atau ruang panel gedung laboratorium
Objek	Objek apa yang menjadi pusat analisis?	Saluran drainase, mesin produksi nomor 2, panel distribusi utama, atau hasil uji beton
Waktu	Periode kapan data atau kejadian dianalisis?	Data genangan setelah hujan selama bulan tertentu atau gangguan panel selama jam beban puncak

Dimensi	Pertanyaan Panduan	Contoh Penerapan
Aspek teknis	Aspek apa yang menjadi fokus utama?	Mutu pekerjaan, keselamatan, waktu pelaksanaan, biaya bahan, produktivitas, atau keandalan sistem
Data	Data apa yang digunakan dan data apa yang tidak tersedia?	Foto, pengukuran dimensi, laporan harian, hasil uji, data sensor, atau wawancara teknis
Kewenangan	Tindakan apa yang boleh dan tidak boleh dilakukan?	Mahasiswa hanya melakukan observasi visual dan pengukuran nonintrusif tanpa membuka panel aktif
Keluaran	Hasil akhir apa yang diharapkan?	Laporan analisis, daftar penyebab awal, rekomendasi teknis, sketsa solusi, atau checklist pemeriksaan

Tabel 16 menunjukkan bahwa batas masalah perlu dibuat secara eksplisit. Setiap dimensi membantu mahasiswa mengurangi ambiguitas. Lokasi mencegah analisis terlalu luas. Objek membantu memilih data yang tepat. Waktu membantu memahami konteks kejadian. Aspek teknis membantu menentukan fokus. Data membantu menjaga validitas. Kewenangan menjaga keselamatan dan etika. Keluaran membantu menentukan bentuk hasil akhir.

Dalam menentukan batas masalah, mahasiswa perlu menghindari dua kesalahan umum. Kesalahan pertama adalah membuat batas terlalu luas. Contohnya adalah “menganalisis kerusakan jalan di kota.” Rumusan ini terlalu besar untuk tugas vokasi. Batas yang lebih realistis adalah “menganalisis jenis kerusakan permukaan jalan pada segmen depan kampus sepanjang 150 meter.” Kesalahan kedua adalah membuat batas terlalu sempit. Contohnya adalah “membersihkan satu lubang inlet” padahal masalah genangan mungkin berkaitan dengan kapasitas saluran dan kemiringan. Batas yang baik harus cukup fokus, tetapi tetap mencakup faktor yang relevan.

Ruang lingkup pekerjaan harus disusun setelah batas masalah jelas. Ruang lingkup menjelaskan kegiatan yang akan dilakukan. Misalnya, untuk masalah drainase, ruang lingkup dapat mencakup observasi lokasi, pengukuran dimensi saluran, dokumentasi titik

genangan, pemeriksaan inlet, wawancara petugas, analisis kemungkinan penyebab, dan penyusunan rekomendasi. Kegiatan yang tidak dilakukan juga dapat ditulis, seperti tidak melakukan desain hidrologi lengkap atau tidak melaksanakan pekerjaan konstruksi.

Penulisan ruang lingkup yang jelas membantu mengendalikan ekspektasi. Dalam proyek mahasiswa, dosen dapat menilai apakah kegiatan yang dilakukan sesuai dengan tujuan. Dalam pekerjaan profesional, ruang lingkup membantu mencegah konflik antara pemberi tugas dan pelaksana. Jika ruang lingkup tidak jelas, pihak lain dapat menganggap pekerjaan belum selesai karena mengharapkan keluaran yang berbeda.

Batas masalah dan ruang lingkup juga berkaitan dengan risiko. ISO 31000:2018 menekankan pentingnya penetapan konteks dalam proses manajemen risiko (International Organization for Standardization, 2018). Dalam perumusan masalah teknik, penetapan konteks dilakukan melalui batas masalah dan ruang lingkup. Mahasiswa perlu mengetahui konteks lokasi, objek, pihak yang terlibat, risiko, dan tujuan pekerjaan sebelum melakukan analisis. Tanpa konteks yang jelas, risiko dapat terabaikan.

Aspek keselamatan harus menjadi pertimbangan dalam batas masalah. Jika analisis memerlukan akses ke area berbahaya, maka ruang lingkup perlu menyesuaikan. Misalnya, mahasiswa tidak boleh membuka panel listrik aktif tanpa pengawasan dan kewenangan. Mahasiswa dapat membatasi kegiatan pada observasi visual, pembacaan dokumen, wawancara teknis, dan pengukuran yang aman. Jika data lebih lanjut diperlukan, mahasiswa dapat merekomendasikan pemeriksaan oleh teknisi berwenang.

Batas masalah juga perlu mempertimbangkan ketersediaan data. Kesimpulan tidak boleh dibuat melebihi data. Jika mahasiswa hanya memiliki data visual dan wawancara awal, maka hasil yang dapat disusun adalah analisis awal, bukan diagnosis final. Jika mahasiswa memiliki data pengujian, pengukuran, dan dokumen lengkap, maka analisis dapat dibuat lebih kuat. Kejujuran terhadap keterbatasan data merupakan bagian dari standar penulisan ilmiah.

Dalam penulisan ilmiah, batas masalah sering ditempatkan setelah latar belakang masalah. Ruang lingkup pekerjaan dapat ditempatkan setelah tujuan atau metode. Namun, dalam buku ini, keduanya dibahas bersama karena saling berkaitan. Batas masalah menjawab “apa yang dibahas.” Ruang lingkup menjawab “apa yang dilakukan.” Keduanya membantu pembaca memahami arah pekerjaan.

Contoh penulisan batas masalah adalah sebagai berikut. “Pembahasan dibatasi pada genangan yang terjadi di area parkir sisi utara kampus setelah hujan. Analisis difokuskan pada kondisi inlet, dimensi saluran, hambatan aliran, dan kemiringan saluran. Analisis tidak mencakup perhitungan hidrologi kawasan secara menyeluruh karena data curah hujan jangka panjang tidak tersedia.” Contoh ini jelas karena menyebutkan lokasi, fokus, dan keterbatasan.

Contoh penulisan ruang lingkup pekerjaan adalah sebagai berikut. “Kegiatan yang dilakukan meliputi observasi lokasi, dokumentasi foto, pengukuran dimensi saluran, pencatatan titik genangan, wawancara teknis dengan petugas sarana, dan penyusunan rekomendasi awal. Kegiatan tidak mencakup pelaksanaan konstruksi atau desain detail saluran baru.” Contoh ini membantu pembaca memahami keluaran yang diharapkan.

Dalam pendidikan vokasi, dosen dapat melatih mahasiswa membuat batas masalah dengan format sederhana. Format tersebut dapat memuat lokasi, objek, waktu, aspek teknis, data, batas kewenangan, dan keluaran. Mahasiswa kemudian diminta menilai apakah batas tersebut terlalu luas, terlalu sempit, atau sudah sesuai. Latihan ini penting karena banyak mahasiswa langsung masuk ke solusi tanpa memperjelas ruang lingkup masalah.

Batas masalah juga dapat disesuaikan selama proses berjalan. Jika observasi menemukan data baru, batas dapat diperbarui dengan alasan yang jelas. Misalnya, analisis awal hanya fokus pada sedimentasi saluran. Namun, setelah pengukuran, ditemukan bahwa kemiringan saluran juga bermasalah. Dalam kondisi ini, batas masalah dapat diperluas secara terbatas untuk memasukkan aspek kemiringan. Perubahan batas harus dicatat agar proses analisis tetap transparan.

Pada akhirnya, menentukan batas masalah dan ruang lingkup pekerjaan membantu mahasiswa bekerja secara fokus, aman, dan ilmiah. Tahap ini mencegah masalah menjadi terlalu luas, mencegah kesimpulan yang tidak didukung data, dan menjaga agar solusi sesuai dengan kemampuan serta sumber daya yang tersedia. Dengan batas dan ruang lingkup yang jelas, proses *problem solving* teknik terapan dapat bergerak ke tahap berikutnya secara lebih terarah.

Batas masalah menjelaskan bagian masalah yang akan dianalisis, sedangkan ruang lingkup pekerjaan menjelaskan kegiatan yang akan dilakukan. Batas masalah dapat ditentukan berdasarkan lokasi, objek, waktu, aspek teknis, data, kewenangan, dan keluaran. Ruang lingkup pekerjaan membantu mengendalikan ekspektasi, menjaga fokus, dan memastikan kegiatan sesuai tujuan. Dalam pekerjaan teknik, batas dan ruang lingkup yang jelas membantu mahasiswa bekerja secara aman, realistis, dan dapat dipertanggungjawabkan.

C. Menyusun Asumsi Teknis yang dapat Diuji

Asumsi teknis merupakan dugaan awal yang disusun berdasarkan gejala, data awal, pengalaman teknis, standar, dan pengetahuan lapangan. Asumsi teknis digunakan untuk mengarahkan pengumpulan data dan analisis penyebab. Dalam *problem solving* teknik terapan, asumsi tidak boleh dipahami sebagai kesimpulan akhir. Asumsi hanya menjadi titik awal yang harus diuji melalui bukti.

Asumsi teknis diperlukan karena masalah lapangan sering tidak memiliki data lengkap pada tahap awal. Mahasiswa mungkin hanya menemukan gejala, seperti retak, panas berlebih, suara abnormal, keterlambatan, biaya meningkat, atau hasil uji menyimpang. Dari gejala tersebut, mahasiswa perlu menyusun dugaan sementara. Dugaan ini membantu menentukan data apa yang perlu dikumpulkan, alat apa yang perlu digunakan, dan metode pemeriksaan apa yang sesuai.

Asumsi teknis yang baik harus dapat diuji. Artinya, asumsi harus dapat diperiksa melalui observasi, pengukuran, pengujian, perbandingan dokumen, wawancara teknis, atau analisis data. Asumsi yang tidak dapat diuji akan sulit digunakan dalam *problem*

solving. Misalnya, asumsi “pekerjaan gagal karena kurang perhatian” terlalu umum dan sulit diuji. Asumsi yang lebih baik adalah “ketidaksesuaian dimensi pekerjaan terjadi karena gambar revisi belum diterima oleh pelaksana lapangan.” Asumsi kedua dapat diuji melalui dokumen revisi, catatan distribusi gambar, dan wawancara teknis.

Dalam manajemen risiko, ISO 31000:2018 menjelaskan bahwa risiko perlu diidentifikasi, dianalisis, dievaluasi, ditangani, dipantau, dan dikomunikasikan. Prinsip ini relevan dalam penyusunan asumsi teknis karena setiap asumsi pada dasarnya menunjukkan kemungkinan penyebab dan potensi dampak yang perlu diuji lebih lanjut.

Asumsi teknis juga berkaitan dengan sistem manajemen mutu. ISO 9001:2015 menekankan pentingnya proses yang terkendali untuk memenuhi persyaratan pelanggan dan ketentuan yang berlaku. Dalam konteks perumusan masalah, asumsi teknis membantu menelusuri apakah ketidaksesuaian mutu berasal dari input, proses, alat, metode, manusia, atau lingkungan kerja.

Langkah pertama dalam menyusun asumsi teknis adalah membaca gejala secara objektif. Mahasiswa perlu menuliskan apa yang benar-benar terlihat atau terukur. Misalnya, “terdapat retak rambut pada permukaan beton,” “suhu motor meningkat setelah 30 menit operasi,” atau “hasil uji kuat tekan antar sampel memiliki selisih besar.” Pernyataan seperti ini menjadi dasar untuk menyusun asumsi.

Langkah kedua adalah menghubungkan gejala dengan faktor penyebab yang mungkin. Faktor tersebut dapat mencakup manusia, alat, bahan, metode, lingkungan, data, standar, dan waktu pelaksanaan. Mahasiswa tidak perlu langsung memilih satu penyebab. Pada tahap awal, beberapa asumsi dapat disusun secara paralel. Setiap asumsi kemudian diuji melalui data.

Langkah ketiga adalah menuliskan asumsi dalam bentuk yang spesifik. Asumsi harus menjelaskan hubungan antara dugaan penyebab dan gejala. Contohnya, “retak rambut pada permukaan beton diduga berkaitan dengan proses curing yang tidak dilakukan

secara konsisten selama tujuh hari pertama.” Pernyataan ini lebih baik daripada “beton retak karena pelaksanaan buruk.” Asumsi yang spesifik memudahkan mahasiswa menentukan data yang perlu diperiksa.

Langkah keempat adalah menentukan cara menguji asumsi. Setiap asumsi perlu dihubungkan dengan data pembuktian. Jika asumsi berkaitan dengan material, maka data yang dibutuhkan dapat berupa spesifikasi bahan, hasil uji, sertifikat material, atau kondisi penyimpanan. Jika asumsi berkaitan dengan metode, maka data yang dibutuhkan dapat berupa SOP, foto proses, catatan pelaksanaan, atau hasil wawancara teknis. Jika asumsi berkaitan dengan alat, maka data yang dibutuhkan dapat berupa log perawatan, sertifikat kalibrasi, atau hasil uji fungsi alat.

Langkah kelima adalah membedakan asumsi utama dan asumsi pendukung. Asumsi utama adalah dugaan yang paling mungkin menjelaskan masalah berdasarkan data awal. Asumsi pendukung adalah dugaan lain yang masih perlu diperiksa karena dapat memperkuat atau memperlemah analisis. Pemisahan ini membantu mahasiswa membuat prioritas pengumpulan data.

Tabel 17 menyajikan contoh penyusunan asumsi teknis yang dapat diuji pada beberapa kasus teknik.

Tabel 17. Contoh Asumsi Teknis yang dapat Diuji dalam Kasus Keteknikan

Gejala Lapangan	Asumsi Teknis Awal	Data yang Diperlukan untuk Menguji	Cara Pengujian atau Pemeriksaan
Beton mengalami retak rambut pada permukaan	Retak diduga berkaitan dengan curing yang tidak konsisten	Catatan curing, foto pelaksanaan, suhu lingkungan, waktu pembukaan bekisting	Pemeriksaan catatan pelaksanaan dan observasi kondisi permukaan
Mesin mengalami getaran berlebih	Getaran diduga berkaitan dengan ketidaksejajaran poros atau bearing aus	Data getaran, riwayat perawatan, kondisi bearing, alignment poros	Pengukuran getaran, inspeksi komponen, dan pemeriksaan log perawatan

Gejala Lapangan	Asumsi Teknis Awal	Data yang Diperlukan untuk Menguji	Cara Pengujian atau Pemeriksaan
Panel listrik sering trip	Gangguan diduga berkaitan dengan beban lebih atau sambungan longgar	Data arus, tegangan, pembagian beban, kondisi terminal, riwayat trip	Pengukuran beban, inspeksi visual, dan pemeriksaan sambungan
Hasil uji laboratorium tidak konsisten	Variasi data diduga berkaitan dengan alat ukur yang belum dikalibrasi atau prosedur uji tidak seragam	Sertifikat kalibrasi, SOP pengujian, data operator, kondisi sampel	Pemeriksaan dokumen kalibrasi, observasi prosedur, dan uji ulang terbatas
Pekerjaan terlambat dari jadwal	Keterlambatan diduga berkaitan dengan material datang terlambat dan produktivitas tenaga kerja rendah	Jadwal rencana, laporan harian, catatan material, data tenaga kerja	Perbandingan jadwal dan realisasi serta analisis laporan harian
Biaya pekerjaan meningkat	Kenaikan biaya diduga berkaitan dengan pekerjaan ulang dan pemborosan material	RAB, catatan pembelian, volume pekerjaan ulang, sisa material	Pemeriksaan catatan biaya, dokumentasi pekerjaan ulang, dan audit material sederhana

Tabel 17 menunjukkan bahwa asumsi teknis harus selalu dihubungkan dengan data. Asumsi tanpa data akan berubah menjadi opini. Asumsi yang dapat diuji membantu mahasiswa menjaga proses *problem solving* tetap objektif. Dengan tabel seperti ini, mahasiswa dapat melihat bahwa satu gejala dapat memiliki beberapa dugaan penyebab, tetapi setiap dugaan harus diuji melalui bukti.

Dalam menyusun asumsi teknis, mahasiswa perlu menghindari bias. Bias dapat muncul ketika mahasiswa terlalu cepat percaya pada penjelasan pertama, terlalu bergantung pada pengalaman sebelumnya, atau terlalu fokus pada faktor yang paling mudah dilihat. Misalnya, ketika mesin rusak, mahasiswa dapat langsung menyalahkan operator. Padahal, penyebabnya mungkin berasal dari jadwal

perawatan yang lemah, alat yang sudah aus, bahan pelumas yang tidak sesuai, atau lingkungan kerja yang berdebu.

Asumsi juga perlu disusun dengan bahasa netral. Bahasa netral membantu tim fokus pada fakta, bukan pada penyalahgunaan istilah atau tuduhan. Contoh asumsi yang kurang baik adalah “pekerja tidak hati-hati sehingga hasil buruk.” Asumsi yang lebih baik adalah “ketidaksesuaian hasil kerja diduga berkaitan dengan instruksi kerja yang belum dipahami pelaksana dan tidak adanya pemeriksaan antara.” Pernyataan kedua lebih teknis dan lebih mudah diuji.

Asumsi teknis yang dapat diuji juga membantu menentukan urutan kerja analisis. Jika asumsi memiliki risiko keselamatan tinggi, maka pengujian terhadap asumsi tersebut perlu diprioritaskan. Misalnya, pada kasus panel listrik panas, asumsi tentang sambungan longgar atau beban lebih perlu diperiksa lebih awal karena dapat menimbulkan risiko kebakaran. Prinsip ini sejalan dengan pendekatan manajemen risiko yang menempatkan identifikasi, analisis, dan penanganan risiko sebagai proses yang berurutan.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat melatih mahasiswa menyusun asumsi dengan format sederhana. Format tersebut memuat gejala, asumsi awal, alasan teknis, data yang diperlukan, metode pemeriksaan, dan status hasil uji. Status hasil uji dapat berupa terbukti, tidak terbukti, atau perlu data tambahan. Dengan format ini, mahasiswa belajar bahwa asumsi harus diuji sebelum digunakan sebagai dasar solusi.

Pada akhirnya, asumsi teknis yang dapat diuji merupakan jembatan antara perumusan masalah dan pengumpulan data. Asumsi membantu mahasiswa menentukan arah analisis tanpa menutup kemungkinan penyebab lain. Asumsi yang baik bersifat spesifik, logis, berbasis gejala, dapat diuji, dan dapat direvisi jika data baru menunjukkan kondisi berbeda.

Asumsi teknis adalah dugaan awal yang disusun untuk menjelaskan kemungkinan penyebab masalah. Asumsi harus dapat diuji melalui observasi, pengukuran, pengujian, dokumen, wawancara teknis, atau analisis data. Asumsi yang baik bersifat spesifik, objektif,

berbasis gejala, dan terhubung dengan data pembuktian. Dalam *problem solving* teknik terapan, asumsi tidak boleh dianggap sebagai kesimpulan akhir sebelum diuji.

D. Merumuskan Kebutuhan Pengguna dan Kriteria Kinerja

Kebutuhan pengguna merupakan hal yang harus dipahami sebelum solusi teknik dirancang. Dalam pekerjaan teknik, pengguna dapat berupa mahasiswa, dosen, operator, teknisi, pekerja lapangan, pemilik fasilitas, masyarakat, pelanggan, atau organisasi. Kebutuhan pengguna menjelaskan apa yang dibutuhkan agar suatu sistem, produk, fasilitas, atau proses kerja dapat berfungsi dengan baik. Kriteria kinerja menjelaskan ukuran yang digunakan untuk menilai apakah kebutuhan tersebut telah terpenuhi.

Merumuskan kebutuhan pengguna penting karena solusi teknik tidak hanya harus benar secara teoritis. Solusi juga harus berguna bagi pihak yang memakai, mengoperasikan, merawat, atau terdampak oleh hasil pekerjaan. Solusi yang kuat secara teknis dapat gagal diterima jika tidak sesuai kebutuhan pengguna. Misalnya, sistem drainase yang dirancang baik secara hidraulis tetap bermasalah jika sulit dibersihkan. Alat bantu praktikum yang presisi tetap tidak efektif jika sulit digunakan mahasiswa. Panel kontrol yang lengkap tetap dapat menimbulkan kesalahan jika tampilannya membingungkan operator.

ISO 9241-210:2019 menjelaskan prinsip dan aktivitas desain berpusat pada manusia untuk sistem interaktif berbasis komputer. Walaupun standar ini banyak digunakan pada desain sistem interaktif, prinsip dasarnya relevan untuk *problem solving* teknik terapan, yaitu memahami pengguna, konteks penggunaan, kebutuhan, dan evaluasi solusi berdasarkan pengalaman pengguna.

Dalam konteks mutu, ISO 9001:2015 menekankan bahwa organisasi perlu memenuhi persyaratan pelanggan dan ketentuan yang berlaku. Prinsip ini relevan dengan perumusan kebutuhan pengguna karena mutu solusi teknik harus dinilai berdasarkan kesesuaian terhadap kebutuhan, spesifikasi, standar, dan fungsi yang diharapkan.

Kebutuhan pengguna dapat bersifat eksplisit atau implisit. Kebutuhan eksplisit adalah kebutuhan yang dinyatakan langsung oleh pengguna, seperti “ruang praktik harus lebih sejuk,” “alat harus mudah digunakan,” atau “akses jalan harus tidak tergenang.” Kebutuhan implisit adalah kebutuhan yang tidak selalu disebutkan, tetapi penting secara teknis, seperti keselamatan, kemudahan perawatan, daya tahan, efisiensi energi, biaya terjangkau, dan kepatuhan terhadap standar.

Mahasiswa perlu berhati-hati dalam menafsirkan kebutuhan pengguna. Keluhan pengguna belum tentu langsung menunjukkan kebutuhan teknis. Misalnya, pengguna mengeluh “ruang terlalu panas.” Kebutuhan teknisnya dapat berupa suhu ruang yang lebih stabil, sirkulasi udara lebih baik, beban panas peralatan yang berkurang, atau sistem pendingin yang lebih efektif. Oleh karena itu, kebutuhan pengguna perlu diterjemahkan menjadi kebutuhan teknis yang dapat diukur.

Langkah pertama dalam merumuskan kebutuhan pengguna adalah mengidentifikasi siapa pengguna dan pihak terdampak. Pengguna utama adalah pihak yang memakai sistem atau hasil pekerjaan secara langsung. Pengguna pendukung adalah pihak yang mengoperasikan, memelihara, mengawasi, atau mengelola sistem. Pihak terdampak adalah pihak yang tidak menggunakan sistem secara langsung, tetapi menerima dampaknya. Dalam masalah drainase kampus, pengguna utama dapat berupa mahasiswa dan staf yang melewati area tersebut. Pengguna pendukung dapat berupa petugas sarana. Pihak terdampak dapat berupa pengguna kendaraan dan pengelola kampus.

Langkah kedua adalah mengumpulkan informasi kebutuhan. Informasi dapat diperoleh melalui observasi, wawancara, kuesioner sederhana, diskusi teknis, catatan keluhan, data penggunaan, laporan perawatan, atau dokumen standar. Pengumpulan informasi harus diarahkan pada kebutuhan, bukan hanya keinginan. Keinginan pengguna dapat sangat luas, tetapi solusi harus disusun berdasarkan kebutuhan yang penting, layak, aman, dan sesuai sumber daya.

Langkah ketiga adalah menerjemahkan kebutuhan pengguna menjadi kebutuhan teknis. Contohnya, kebutuhan pengguna “area

parkir tidak tergenang” dapat diterjemahkan menjadi kebutuhan teknis “air hujan harus dapat mengalir ke saluran utama tanpa genangan lebih dari batas waktu tertentu setelah hujan.” Kebutuhan “alat praktikum mudah digunakan” dapat diterjemahkan menjadi “alat memiliki petunjuk operasi yang jelas, titik ukur mudah diakses, dan hasil ukur dapat dibaca tanpa interpretasi rumit.”

Langkah keempat adalah menyusun kriteria kinerja. Kriteria kinerja adalah ukuran keberhasilan yang dapat digunakan untuk menilai solusi. Kriteria dapat berupa angka, batas toleransi, standar, kondisi minimum, atau indikator kualitatif yang jelas. Kriteria kinerja membantu mahasiswa menilai apakah solusi sudah bekerja. Tanpa kriteria, keberhasilan solusi hanya dinilai berdasarkan kesan.

Kriteria kinerja harus relevan dengan masalah. Untuk masalah mutu, kriteria dapat berupa kesesuaian terhadap spesifikasi, toleransi dimensi, hasil uji, atau tingkat cacat. Untuk masalah waktu, kriteria dapat berupa durasi pekerjaan, waktu tunggu, atau ketepatan jadwal. Untuk masalah biaya, kriteria dapat berupa batas anggaran, pengurangan pemborosan, atau efisiensi material. Untuk masalah keselamatan, kriteria dapat berupa pengurangan bahaya, kepatuhan APD, atau tidak adanya kondisi tidak aman. Untuk masalah produktivitas, kriteria dapat berupa *output* per jam, waktu siklus, atau penurunan downtime. Tabel 18 menyajikan contoh hubungan antara kebutuhan pengguna dan kriteria kinerja.

Tabel 18. Hubungan Kebutuhan Pengguna dan Kriteria Kinerja

Kasus Teknik	Kebutuhan Pengguna	Kebutuhan Teknis	Kriteria Kinerja
Genangan area parkir	Area dapat digunakan setelah hujan	Sistem drainase mampu mengalirkan air tanpa hambatan utama	Titik genangan berkurang, aliran menuju outlet lancar, inlet tidak tertutup sedimentasi
Mesin praktikum sering panas	Mesin dapat digunakan selama sesi praktik	Suhu operasi tetap dalam batas aman selama durasi praktik	Suhu tidak melebihi batas operasi, mesin tidak berhenti mendadak, ventilasi bekerja baik

Kasus Teknik	Kebutuhan Pengguna	Kebutuhan Teknis	Kriteria Kinerja
Panel listrik sering trip	Sistem listrik stabil saat beban normal	Pembagian beban dan proteksi sesuai kapasitas	Tidak terjadi trip berulang pada beban normal, kabel tidak panas berlebih, arus sesuai kapasitas
Hasil uji laboratorium tidak konsisten	Data uji dapat dipercaya	Prosedur uji, alat, sampel, dan pencatatan berjalan konsisten	Selisih hasil uji berada dalam batas toleransi, alat terkalibrasi, prosedur diikuti
Pekerjaan terlambat	Pekerjaan selesai sesuai jadwal	Aktivitas, material, alat, dan tenaga kerja terkendali	Progres aktual sesuai rencana, waktu tunggu berkurang, aktivitas kritis tidak tertunda
Biaya praktik membengkak	Penggunaan bahan lebih efisien	Pemakaian material terkendali dan pekerjaan ulang berkurang	Sisa material tercatat, produk gagal menurun, pemakaian bahan sesuai rencana

Tabel 18 menunjukkan bahwa kebutuhan pengguna perlu diterjemahkan menjadi kebutuhan teknis dan kriteria kinerja. Tanpa tahap ini, solusi dapat menjadi terlalu umum. Misalnya, “memperbaiki drainase” belum menjelaskan hasil seperti apa yang diharapkan. Dengan kriteria kinerja, mahasiswa dapat menilai apakah perbaikan berhasil atau belum.

Kriteria kinerja yang baik memiliki beberapa ciri. Pertama, kriteria harus relevan dengan masalah. Kedua, kriteria harus dapat diamati atau diukur. Ketiga, kriteria harus realistis sesuai sumber daya. Keempat, kriteria harus dapat dibandingkan sebelum dan sesudah solusi. Kelima, kriteria harus mempertimbangkan keselamatan dan standar. Jika kriteria tidak memenuhi ciri ini, proses evaluasi akan lemah.

Dalam pekerjaan teknik, kriteria kinerja juga perlu mempertimbangkan batasan. Tidak semua kebutuhan dapat dipenuhi sekaligus. Pengguna mungkin menginginkan solusi paling cepat, paling murah, paling kuat, paling mudah, dan paling modern. Namun, pekerjaan teknik selalu memiliki trade-off. Solusi cepat mungkin membutuhkan biaya lebih besar. Solusi murah mungkin

membutuhkan perawatan lebih sering. Solusi canggih mungkin membutuhkan pelatihan tambahan. Oleh karena itu, kebutuhan pengguna perlu diprioritaskan.

Merumuskan kebutuhan pengguna juga membantu mengurangi konflik. Dalam banyak pekerjaan, pihak yang berbeda memiliki kebutuhan berbeda. Operator membutuhkan sistem yang mudah digunakan. Teknisi perawatan membutuhkan sistem yang mudah diperiksa. Pemilik fasilitas membutuhkan biaya yang terkendali. Pengguna akhir membutuhkan fungsi yang nyaman dan aman. Dosen membutuhkan alat yang mendukung pembelajaran. Mahasiswa membutuhkan prosedur yang jelas. Jika kebutuhan ini tidak dirumuskan sejak awal, solusi dapat memuaskan satu pihak tetapi menyulitkan pihak lain.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat meminta mahasiswa melakukan wawancara kebutuhan sederhana. Mahasiswa dapat bertanya kepada pengguna tentang masalah yang dialami, dampak yang dirasakan, kondisi yang diharapkan, kendala penggunaan, dan batasan yang harus dipertimbangkan. Hasil wawancara kemudian diterjemahkan menjadi kebutuhan teknis dan kriteria kinerja. Latihan ini membantu mahasiswa memahami bahwa solusi teknik harus terhubung dengan pengguna dan konteks kerja.

Pada akhirnya, kebutuhan pengguna dan kriteria kinerja menjadi dasar untuk memilih solusi. Solusi yang baik adalah solusi yang menjawab kebutuhan utama, memenuhi kriteria teknis, aman, layak diterapkan, dan dapat dievaluasi. Dengan merumuskan kebutuhan dan kriteria secara jelas, mahasiswa dapat menghindari solusi yang tampak menarik tetapi tidak menyelesaikan masalah utama.

Kebutuhan pengguna menjelaskan apa yang dibutuhkan oleh pihak yang memakai, mengoperasikan, merawat, atau terdampak oleh sistem. Kriteria kinerja menjelaskan ukuran keberhasilan solusi. Kebutuhan pengguna perlu diterjemahkan menjadi kebutuhan teknis yang dapat diuji. Kriteria kinerja harus relevan, terukur, realistis, dapat dibandingkan, serta memperhatikan standar dan keselamatan. Tahap ini penting agar solusi teknik tidak hanya benar secara konsep, tetapi juga berguna bagi pengguna.

E. Menentukan Prioritas Masalah Berdasarkan Dampak

Dalam pekerjaan teknik, tidak semua masalah dapat diselesaikan sekaligus. Sumber daya seperti waktu, alat, biaya, data, tenaga kerja, dan kewenangan selalu terbatas. Oleh karena itu, mahasiswa perlu menentukan prioritas masalah. Prioritas membantu menentukan masalah mana yang harus ditangani lebih dahulu, masalah mana yang dapat dijadwalkan kemudian, dan masalah mana yang memerlukan data tambahan sebelum diputuskan.

Prioritas masalah harus ditentukan berdasarkan dampak, bukan hanya berdasarkan masalah yang paling mudah terlihat. Masalah yang kecil secara visual dapat memiliki dampak besar. Misalnya, sambungan kabel yang longgar mungkin tidak terlihat serius, tetapi dapat menimbulkan panas berlebih dan risiko kebakaran. Sebaliknya, masalah yang terlihat besar belum tentu paling mendesak jika tidak berdampak pada keselamatan, fungsi, atau mutu kritis.

Dampak masalah dapat dilihat dari beberapa aspek. Aspek pertama adalah keselamatan. Masalah yang dapat membahayakan manusia harus menjadi prioritas tinggi. Aspek kedua adalah fungsi. Masalah yang membuat sistem tidak dapat bekerja perlu ditangani segera. Aspek ketiga adalah mutu. Masalah yang menyebabkan hasil tidak sesuai standar perlu diperiksa. Aspek keempat adalah waktu. Masalah yang menghambat aktivitas penting perlu diprioritaskan. Aspek kelima adalah biaya. Masalah yang menyebabkan pemborosan atau kerugian besar perlu dikendalikan. Aspek keenam adalah lingkungan. Masalah yang berpotensi mencemari atau merusak lingkungan perlu ditangani.

ISO 31000:2018 menekankan bahwa risiko perlu dievaluasi untuk mendukung keputusan tentang tindakan yang perlu dilakukan. Prinsip ini sejalan dengan penentuan prioritas masalah karena mahasiswa perlu menilai kemungkinan dampak dan tingkat urgensi sebelum memilih tindakan.

Dalam keselamatan kerja, ISO 45001:2018 menempatkan identifikasi bahaya dan pengendalian risiko sebagai bagian penting dari sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja. Oleh karena

itu, masalah yang memiliki dampak terhadap keselamatan perlu mendapat prioritas utama dalam perumusan masalah teknik.

Project Management Institute menjelaskan bahwa standar dan panduan manajemen proyek membantu organisasi mengelola pekerjaan agar tetap relevan dengan perubahan praktik dan kebutuhan proyek. Dalam konteks prioritas masalah, pendekatan proyek menuntut pengambilan keputusan berdasarkan nilai, risiko, pemangku kepentingan, dan hasil yang ingin dicapai.

1. Langkah pertama dalam menentukan prioritas adalah membuat daftar masalah. Daftar ini dapat berasal dari observasi, keluhan, hasil inspeksi, data uji, laporan harian, atau wawancara teknis. Setiap masalah perlu ditulis secara jelas. Contoh daftar masalah adalah “inlet saluran tertutup sedimentasi,” “panel sering trip saat beban puncak,” “hasil uji tidak konsisten,” “alat praktikum belum dikalibrasi,” atau “pekerjaan tertunda karena material terlambat.”
2. Langkah kedua adalah menentukan aspek dampak. Mahasiswa dapat menggunakan aspek keselamatan, mutu, waktu, biaya, produktivitas, fungsi, lingkungan, dan kepuasan pengguna. Tidak semua aspek harus memiliki bobot yang sama. Pada pekerjaan berisiko tinggi, keselamatan harus diberi bobot lebih besar. Pada pekerjaan layanan publik, fungsi dan keselamatan dapat menjadi prioritas. Pada kegiatan laboratorium, mutu data dan keselamatan dapat menjadi prioritas utama.
3. Langkah ketiga adalah menilai tingkat dampak. Penilaian dapat dilakukan secara kualitatif, seperti rendah, sedang, dan tinggi. Penilaian juga dapat dilakukan dengan skor, misalnya 1 sampai 5. Skor 1 berarti dampak sangat rendah. Skor 5 berarti dampak sangat tinggi. Penilaian harus didukung alasan, bukan hanya angka. Alasan tersebut dapat berupa data, bukti lapangan, standar, atau konsekuensi yang mungkin terjadi.
4. Langkah keempat adalah menilai urgensi. Urgensi menunjukkan seberapa cepat masalah harus ditangani. Masalah dengan dampak besar dan urgensi tinggi harus menjadi prioritas utama. Masalah dengan dampak rendah dan urgensi rendah dapat dijadwalkan setelah masalah kritis ditangani. Masalah dengan data belum cukup dapat masuk ke kategori perlu investigasi lanjutan.

5. Langkah kelima adalah memilih prioritas tindakan. Prioritas tindakan dapat dibagi menjadi empat kategori. Kategori pertama adalah tindakan segera, terutama untuk masalah keselamatan dan fungsi kritis. Kategori kedua adalah tindakan terjadwal, untuk masalah yang berdampak sedang tetapi tidak mengancam langsung. Kategori ketiga adalah pemantauan, untuk masalah ringan yang belum memerlukan tindakan besar. Kategori keempat adalah investigasi lanjutan, untuk masalah yang berpotensi serius tetapi belum memiliki data cukup. Tabel 19 menyajikan contoh matriks prioritas masalah berdasarkan dampak dan urgensi.

Tabel 19. Matriks Prioritas Masalah Berdasarkan Dampak dan Urgensi

Masalah yang Ditemukan	Dampak Utama	Tingkat Dampak	Urgensi	Prioritas Tindakan	Alasan Teknis
Kabel sementara melintang di jalur pekerja tanpa pelindung	Keselamatan	Tinggi	Tinggi	Tindakan segera	Risiko tersandung dan gangguan kelistrikan dapat membahayakan pekerja
Inlet drainase tertutup sedimentasi	Fungsi dan mutu lingkungan	Sedang sampai tinggi	Sedang	Tindakan terjadwal cepat	Dapat menyebabkan genangan saat hujan dan mengganggu akses pengguna
Alat uji belum memiliki bukti kalibrasi terbaru	Mutu data	Tinggi	Sedang	Investigasi dan verifikasi	Data uji dapat tidak valid jika alat tidak memenuhi ketertelusuran pengukuran
Pekerjaan pengecatan terlambat satu hari	Waktu	Rendah sampai sedang	Rendah	Pemantauan	Dampak terhadap pekerjaan berikutnya belum signifikan
Mesin produksi bergetar pada beban normal	Keselamatan dan keandalan	Tinggi	Tinggi	Tindakan segera dan inspeksi teknis	Getaran dapat berkembang menjadi kerusakan komponen

Masalah yang Ditemukan	Dampak Utama	Tingkat Dampak	Urgensi	Prioritas Tindakan	Alasan Teknis
					dan risiko operasi
Pemakaian material melebihi rencana	Biaya	Sedang	Sedang	Analisis penyebab	Perlu ditelusuri apakah disebabkan pemborosan, pekerjaan ulang, atau perencanaan kebutuhan yang lemah

Tabel 19 menunjukkan bahwa prioritas tidak ditentukan hanya dari jumlah masalah. Prioritas ditentukan dari dampak, urgensi, dan alasan teknis. Masalah keselamatan dan fungsi kritis biasanya perlu ditangani lebih dahulu. Masalah mutu data juga dapat menjadi prioritas tinggi karena keputusan teknis bergantung pada data yang benar.

Dalam menentukan prioritas, mahasiswa perlu menghindari kecenderungan memilih masalah yang paling mudah diselesaikan. Masalah yang mudah diselesaikan belum tentu paling penting. Misalnya, membersihkan area kerja mungkin mudah dilakukan, tetapi jika ada panel listrik panas, maka panel perlu diprioritaskan karena risikonya lebih tinggi. Penentuan prioritas harus mengikuti dampak dan risiko.

Mahasiswa juga perlu mempertimbangkan keterkaitan antar masalah. Satu masalah dapat memengaruhi masalah lain. Misalnya, alat yang tidak layak dapat menurunkan mutu, memperlambat pekerjaan, meningkatkan biaya, dan membahayakan operator. Masalah seperti ini perlu mendapat prioritas karena dampaknya meluas. Sebaliknya, masalah yang berdiri sendiri dan berdampak kecil dapat ditangani setelah masalah utama.

Penentuan prioritas juga perlu mempertimbangkan pihak yang terdampak. Masalah yang berdampak pada banyak pengguna biasanya lebih penting daripada masalah yang hanya berdampak pada satu aktivitas kecil. Namun, jumlah pengguna bukan satu-satunya

pertimbangan. Risiko keselamatan terhadap satu orang tetap harus diprioritaskan jika tingkat bahayanya tinggi.

Dalam pendidikan vokasi, dosen dapat melatih mahasiswa menggunakan matriks prioritas sederhana. Mahasiswa diminta menuliskan daftar masalah dari hasil observasi, menilai dampak dan urgensi, lalu memberi alasan teknis. Latihan ini melatih kemampuan mengambil keputusan berdasarkan bukti. Mahasiswa belajar bahwa prioritas harus dapat dijelaskan, bukan hanya dipilih berdasarkan intuisi.

Pada akhirnya, menentukan prioritas masalah membantu proses *problem solving* menjadi lebih efektif. Mahasiswa dapat memusatkan perhatian pada masalah yang paling berdampak, paling mendesak, dan paling relevan dengan tujuan pekerjaan. Dengan prioritas yang jelas, pengumpulan data, analisis, dan solusi dapat dilakukan lebih terarah.

Prioritas masalah ditentukan berdasarkan dampak, urgensi, risiko, dan keterkaitan antar masalah. Dampak dapat dilihat dari keselamatan, fungsi, mutu, waktu, biaya, produktivitas, lingkungan, dan kepuasan pengguna. Masalah dengan dampak tinggi dan urgensi tinggi harus ditangani lebih dahulu. Penentuan prioritas membantu mahasiswa menggunakan sumber daya secara efektif dan menghindari pemilihan masalah berdasarkan dugaan atau kemudahan semata.

F. Menyusun Dokumen Ringkas Perumusan Masalah

Dokumen ringkas perumusan masalah adalah dokumen singkat yang menjelaskan masalah teknik secara sistematis. Dokumen ini memuat keluhan atau gejala awal, data pendukung, pernyataan masalah, batas masalah, asumsi teknis, kebutuhan pengguna, kriteria kinerja, prioritas, dan rencana tindak lanjut. Dokumen ini penting karena membantu mahasiswa menyusun dasar *problem solving* sebelum masuk ke tahap pengumpulan data dan analisis akar masalah.

Dokumen ringkas tidak harus panjang. Namun, isinya harus jelas, padat, dan dapat ditelusuri. Dalam pekerjaan teknik, dokumen seperti ini membantu tim memahami masalah yang sama. Tanpa dokumen,

setiap orang dapat memiliki tafsir berbeda. Teknisi dapat melihat masalah sebagai gangguan alat. *Supervisor* dapat melihatnya sebagai keterlambatan kerja. Pengguna dapat melihatnya sebagai kegagalan fungsi. Dokumen perumusan masalah menyatukan pemahaman agar diskusi teknis lebih fokus.

Dokumen ringkas perumusan masalah juga mendukung prinsip pengendalian proses. ISO 9001:2015 menekankan pentingnya sistem yang mampu menghasilkan keluaran konsisten dan memenuhi persyaratan. Dalam konteks ini, dokumen perumusan masalah membantu memastikan bahwa proses *problem solving* dimulai dari informasi yang jelas dan terdokumentasi.

Selain itu, dokumen perumusan masalah mendukung penetapan konteks dalam manajemen risiko. ISO 31000:2018 menekankan bahwa risiko perlu dikelola melalui proses yang mencakup identifikasi, analisis, evaluasi, perlakuan, pemantauan, dan komunikasi. Dokumen ringkas membantu menyimpan konteks awal masalah sehingga analisis risiko dan keputusan teknis dapat dilakukan secara lebih tertib.

Dokumen ringkas perumusan masalah memiliki beberapa fungsi. Fungsi pertama adalah sebagai catatan awal masalah. Fungsi kedua adalah sebagai alat komunikasi antara mahasiswa, dosen, teknisi, pengguna, dan pihak terkait. Fungsi ketiga adalah sebagai dasar pengumpulan data lanjutan. Fungsi keempat adalah sebagai acuan untuk memilih metode analisis. Fungsi kelima adalah sebagai bukti bahwa masalah telah dirumuskan secara sistematis.

1. Bagian pertama dokumen adalah identitas masalah. Identitas memuat judul masalah, lokasi, tanggal, penyusun, pihak yang terlibat, dan sumber informasi. Judul harus singkat tetapi jelas. Contoh judul yang baik adalah “Analisis Awal Genangan pada Area Parkir Utara Kampus” atau “Perumusan Masalah Gangguan Trip pada Panel Distribusi Laboratorium.” Judul seperti ini menunjukkan objek dan lokasi masalah.
2. Bagian kedua adalah latar belakang singkat. Latar belakang menjelaskan mengapa masalah perlu diperhatikan. Bagian ini dapat memuat keluhan pengguna, gejala awal, dampak, dan

urgensi. Latar belakang tidak perlu terlalu panjang. Cukup menjelaskan konteks masalah agar pembaca memahami pentingnya analisis.

3. Bagian ketiga adalah data awal dan bukti. Data awal dapat berupa foto, hasil pengukuran, laporan harian, hasil uji, dokumen teknis, atau wawancara. Bagian ini penting karena pernyataan masalah harus berbasis bukti. Jika data belum lengkap, dokumen harus menyatakan data apa yang belum tersedia dan perlu dikumpulkan.
4. Bagian keempat adalah pernyataan masalah. Pernyataan masalah harus ditulis secara spesifik, objektif, dan dapat dianalisis. Pernyataan ini menjadi pusat dokumen. Semua bagian lain harus mendukung pernyataan masalah tersebut. Pernyataan masalah yang baik menjelaskan objek, lokasi, gejala, dampak, dan arah analisis.
5. Bagian kelima adalah batas masalah dan ruang lingkup. Bagian ini menjelaskan lokasi, objek, waktu, aspek teknis, data, kewenangan, dan keluaran. Ruang lingkup menjelaskan kegiatan yang akan dilakukan. Penjelasan ini penting agar pembaca memahami apa yang termasuk dan tidak termasuk dalam pekerjaan.
6. Bagian keenam adalah asumsi teknis yang dapat diuji. Asumsi ditulis dalam bentuk dugaan penyebab yang masih perlu diperiksa. Setiap asumsi harus disertai data yang diperlukan untuk mengujinya. Bagian ini membantu mahasiswa menyusun rencana pengumpulan data.
7. Bagian ketujuh adalah kebutuhan pengguna dan kriteria kinerja. Bagian ini menjelaskan kebutuhan pihak yang terdampak dan ukuran keberhasilan solusi. Kriteria kinerja membantu mahasiswa menilai hasil pada tahap berikutnya. Tanpa kriteria, solusi sulit dievaluasi.
8. Bagian kedelapan adalah prioritas masalah. Jika terdapat beberapa masalah, dokumen perlu menjelaskan mana yang diprioritaskan dan mengapa. Alasan prioritas harus berdasarkan dampak, urgensi, risiko, dan data awal.
9. Bagian kesembilan adalah rencana tindak lanjut. Rencana ini dapat berupa observasi tambahan, pengukuran, pengujian laboratorium, wawancara teknis, pemeriksaan dokumen, analisis risiko, atau penyusunan alternatif solusi. Rencana tindak lanjut menunjukkan

bahwa dokumen perumusan masalah tidak berhenti sebagai catatan, tetapi menjadi dasar pekerjaan berikutnya.

Tabel 20 menyajikan format dokumen ringkas perumusan masalah yang dapat digunakan mahasiswa.

Tabel 20. Format Dokumen Ringkas Perumusan Masalah Teknik

Komponen Dokumen	Isi yang Perlu Ditulis	Contoh Singkat
Judul masalah	Nama masalah yang jelas dan spesifik	Analisis Awal Genangan pada Area Parkir Utara Kampus
Lokasi dan waktu	Tempat dan periode kejadian atau observasi	Area parkir utara, observasi setelah hujan pada minggu kedua bulan berjalan
Sumber informasi	Pihak atau dokumen yang menjadi sumber awal	Keluhan pengguna, observasi mahasiswa, foto lapangan, dan catatan petugas sarana
Gejala awal	Tanda masalah yang terlihat atau terukur	Genangan muncul pada tiga titik inlet dan air mengalir lambat menuju outlet
Data awal	Bukti awal yang mendukung gejala	Foto lokasi, ukuran saluran, kedalaman genangan, kondisi sedimentasi
Pernyataan masalah	Rumusan masalah yang spesifik dan dapat dianalisis	Genangan pada area parkir utara perlu dianalisis berdasarkan kapasitas saluran, kondisi inlet, sedimentasi, dan kemiringan aliran
Batas masalah	Lokasi, objek, waktu, aspek, data, kewenangan, dan keluaran	Analisis dibatasi pada saluran sisi utara dan tidak mencakup desain hidrologi kawasan penuh
Asumsi teknis	Dugaan penyebab yang dapat diuji	Genangan diduga berkaitan dengan inlet tertutup sedimentasi dan kemiringan saluran yang tidak memadai
Kebutuhan pengguna	Kondisi yang dibutuhkan pengguna	Area parkir dapat digunakan setelah hujan tanpa genangan yang menghambat akses
Kriteria kinerja	Ukuran keberhasilan yang dapat diamati atau diukur	Aliran menuju outlet lancar, titik genangan berkurang, dan inlet tidak tertutup sedimentasi
Prioritas	Tingkat pentingnya masalah	Prioritas sedang sampai tinggi karena mengganggu akses dan dapat menimbulkan risiko terpeleset

Komponen Dokumen	Isi yang Perlu Ditulis	Contoh Singkat
Tindak lanjut	Kegiatan berikutnya untuk memperkuat analisis	Mengukur elevasi saluran, memeriksa outlet, dan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah pembersihan

Tabel 20 dapat digunakan sebagai template awal dalam tugas perumusan masalah. Mahasiswa dapat menyesuaikan format sesuai bidang teknik masing-masing. Pada teknik mesin, objek dapat berupa mesin atau komponen. Pada teknik elektro, objek dapat berupa panel, jaringan, atau sistem kontrol. Pada teknik sipil, objek dapat berupa struktur, jalan, drainase, tanah, atau pekerjaan konstruksi. Pada teknik lingkungan, objek dapat berupa unit pengolahan, saluran, titik *sampling*, atau sistem pemantauan.

Dokumen ringkas harus ditulis dengan bahasa teknis yang jelas. Hindari kalimat yang emosional, menyalahkan, atau terlalu umum. Kalimat “petugas tidak merawat saluran dengan baik” sebaiknya diganti menjadi “terdapat sedimentasi pada beberapa titik inlet dan belum ditemukan catatan pembersihan rutin dalam periode observasi.” Kalimat kedua lebih objektif dan dapat ditelusuri melalui data.

Dokumen juga perlu membedakan data, dugaan, dan keputusan. Data adalah bukti yang telah diperoleh. Dugaan adalah asumsi yang akan diuji. Keputusan adalah tindakan yang dipilih setelah data cukup. Jika ketiganya dicampur, dokumen menjadi lemah. Mahasiswa perlu membiasakan diri menulis secara runtut agar pembaca dapat mengikuti proses berpikir teknis.

Dalam pembelajaran, dokumen ringkas dapat menjadi prasyarat sebelum mahasiswa melakukan analisis akar masalah. Dosen dapat meminta mahasiswa menyusun dokumen ini setelah observasi awal. Setelah dokumen diperiksa, mahasiswa baru melanjutkan ke pengumpulan data detail. Dengan cara ini, kegiatan *problem solving* lebih tertib dan tidak langsung melompat ke solusi.

Dokumen ringkas juga dapat digunakan sebagai bahan presentasi awal. Mahasiswa dapat menjelaskan masalah, data awal, batas,

asumsi, kebutuhan pengguna, kriteria, dan rencana tindak lanjut dalam waktu singkat. Presentasi ini membantu dosen dan teman sekelas memberi masukan sebelum analisis dilanjutkan. Masukan awal dapat memperbaiki rumusan masalah dan mencegah kesalahan arah.

Pada akhirnya, dokumen ringkas perumusan masalah merupakan alat penting dalam *problem solving* teknik terapan. Dokumen ini membantu mengubah keluhan lapangan menjadi masalah teknik yang jelas, terbatas, dapat diuji, dan dapat ditindaklanjuti. Dengan dokumen yang baik, mahasiswa dapat memasuki tahap pengumpulan data dan analisis akar masalah dengan dasar yang lebih kuat.

Dokumen ringkas perumusan masalah memuat identitas masalah, latar belakang singkat, data awal, pernyataan masalah, batas masalah, ruang lingkup, asumsi teknis, kebutuhan pengguna, kriteria kinerja, prioritas, dan rencana tindak lanjut. Dokumen ini berfungsi sebagai alat komunikasi, acuan analisis, dasar pengumpulan data, dan bukti bahwa masalah telah dirumuskan secara sistematis. Dokumen harus ditulis secara jelas, objektif, berbasis data, dan dapat ditelusuri.



BAB 4

PENGUMPULAN DATA LAPANGAN DAN BUKTI TEKNIS

Pengumpulan data lapangan dan bukti teknis merupakan tahap penting setelah masalah teknik dirumuskan. Data menjadi dasar untuk memahami kondisi nyata, menguji asumsi teknis, menilai tingkat penyimpangan, menentukan akar masalah, dan menyusun solusi. Tanpa data yang cukup, proses *problem solving* mudah berubah menjadi dugaan. Dalam pekerjaan teknik, dugaan yang tidak diuji dapat menghasilkan keputusan yang keliru, biaya tambahan, pekerjaan ulang, bahkan risiko keselamatan.

Data lapangan dapat berasal dari observasi, pengukuran, inspeksi, pengujian, dokumentasi visual, wawancara teknis, laporan harian, gambar kerja, catatan perawatan, log alat, data sensor, dan dokumen mutu. Setiap jenis data memiliki fungsi yang berbeda. Data visual membantu menunjukkan kondisi fisik. Data ukur membantu menjelaskan besaran teknis. Data dokumen membantu menelusuri riwayat pekerjaan. Data wawancara membantu memahami pengalaman operator atau pengguna. Data sensor membantu memantau perubahan kondisi dari waktu ke waktu.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, pengumpulan data tidak boleh dipahami sebagai kegiatan administratif. Pengumpulan data adalah kegiatan teknis. Mahasiswa perlu mengetahui apa yang akan diukur, mengapa data tersebut dibutuhkan, alat apa yang digunakan, bagaimana cara mencatat, dan bagaimana memastikan data dapat dipercaya. Data yang buruk akan menghasilkan analisis yang buruk. Oleh karena itu, kualitas data sangat menentukan kualitas solusi.

ISO/IEC 17025:2017 menekankan kompetensi, ketidakberpihakan, dan konsistensi operasi laboratorium pengujian dan kalibrasi agar hasil yang diperoleh valid dan dapat dipercaya (International Organization for Standardization, 2017). Prinsip ini relevan dengan pekerjaan teknik terapan karena data hasil uji dan pengukuran sering menjadi dasar keputusan. Data harus diperoleh melalui prosedur yang benar, alat yang layak, pencatatan yang lengkap, dan interpretasi yang hati-hati.

Pengukuran juga memiliki keterbatasan. Tidak ada pengukuran yang sepenuhnya bebas dari kesalahan. Setiap pengukuran dapat dipengaruhi oleh alat, operator, metode, kondisi lingkungan, objek yang diukur, dan cara pencatatan. NIST Technical Note 1297 menjelaskan pentingnya evaluasi dan penyajian ketidakpastian pengukuran agar hasil pengukuran dapat dipahami secara benar (Taylor & Kuyatt, 1994). Dalam konteks vokasi, mahasiswa tidak selalu perlu melakukan analisis ketidakpastian yang kompleks. Namun, mahasiswa harus memahami bahwa hasil ukur perlu disertai satuan, kondisi pengukuran, alat yang digunakan, dan kemungkinan sumber kesalahan.

Bab ini membahas cara mengumpulkan data lapangan dan bukti teknis secara sistematis. Subbab A menjelaskan jenis data yang digunakan dalam pekerjaan teknik terapan. Subbab B membahas perencanaan pengukuran dan inspeksi lapangan. Subbab berikutnya akan membahas pemilihan alat ukur, teknik *sampling*, dokumentasi, validitas, reliabilitas, serta etika penggunaan data. Dengan alur tersebut, pembaca diharapkan mampu mengumpulkan data yang relevan, akurat, aman, dan dapat digunakan untuk analisis teknis.

Pengumpulan data yang baik harus dimulai dari rumusan masalah. Rumusan masalah menentukan data yang diperlukan. Jika masalah berkaitan dengan genangan, data yang dibutuhkan dapat berupa dimensi saluran, kemiringan, kondisi inlet, curah hujan, sedimentasi, dan arah aliran. Jika masalah berkaitan dengan mesin panas, data yang dibutuhkan dapat berupa suhu operasi, beban kerja, kondisi pelumasan, ventilasi, getaran, dan riwayat perawatan. Jika masalah berkaitan dengan panel listrik sering trip, data yang dibutuhkan dapat berupa arus, tegangan, pembagian beban, suhu panel, kondisi sambungan, dan riwayat gangguan.

Data juga harus dikaitkan dengan bukti teknis. Bukti teknis adalah data yang relevan dan dapat digunakan untuk mendukung atau menolak suatu asumsi. Tidak semua data otomatis menjadi bukti. Data menjadi bukti jika berhubungan langsung dengan masalah yang sedang dianalisis. Misalnya, foto genangan menjadi bukti awal masalah drainase jika dilengkapi lokasi, waktu, dan kondisi hujan. Hasil ukur arus menjadi bukti masalah beban listrik jika dicatat pada kondisi operasi yang sesuai.

Hasil uji material menjadi bukti mutu jika mengikuti prosedur uji yang benar.

Dalam pekerjaan teknik, data perlu dikumpulkan dengan memperhatikan keselamatan. Pengukuran lapangan dapat dilakukan di dekat alat berat, panel listrik, mesin bergerak, jalan aktif, ruang terbatas, area basah, ketinggian, atau bahan berbahaya. Oleh karena itu, kegiatan pengumpulan data perlu direncanakan. Mahasiswa harus memahami batas kewenangan, menggunakan alat pelindung diri, mengikuti izin kerja, dan tidak melakukan tindakan yang melebihi kompetensi.

Tabel 21 menyajikan hubungan antara tahap *problem solving* dan kebutuhan data. Tabel ini membantu pembaca memahami bahwa data diperlukan pada seluruh proses, bukan hanya pada tahap awal.

Tabel 21. Hubungan Tahap *Problem Solving* dan Kebutuhan Data

Tahap <i>Problem Solving</i>	Tujuan Penggunaan Data	Contoh Data yang Dibutuhkan
Identifikasi gejala	Mengenali tanda awal masalah	Foto kondisi, keluhan pengguna, catatan kejadian, hasil observasi awal
Perumusan masalah	Menjelaskan masalah secara spesifik	Lokasi, objek, waktu kejadian, dampak, data awal, batas masalah
Pengujian asumsi	Membuktikan atau menolak dugaan penyebab	Hasil ukur, hasil uji, log alat, dokumen SOP, riwayat perawatan
Analisis akar masalah	Menentukan penyebab utama	Pola data, perbandingan standar, data historis, diagram sebab akibat
Pemilihan solusi	Membandingkan alternatif tindakan	Kriteria kinerja, biaya, risiko, sumber daya, kebutuhan pengguna
Validasi solusi	Menilai apakah solusi bekerja	Data sebelum dan sesudah, hasil uji coba, pengukuran ulang, umpan balik pengguna
Dokumentasi hasil	Menyimpan bukti proses dan keputusan	Laporan teknis, foto beranotasi, tabel data, berita acara, rekomendasi

Tabel 21 menunjukkan bahwa data memiliki peran berbeda pada setiap tahap *problem solving*. Data tidak hanya digunakan untuk menemukan masalah, tetapi juga untuk menguji dugaan, memilih solusi, memvalidasi hasil, dan mendokumentasikan keputusan. Karena itu, mahasiswa perlu membangun kebiasaan mencatat data secara tertib sejak awal. Setelah mempelajari Bab 4, pembaca diharapkan mampu:

1. Menjelaskan fungsi data lapangan dan bukti teknis dalam *problem solving* teknik terapan.
2. Mengidentifikasi jenis data yang digunakan dalam pekerjaan teknik.
3. Membedakan data kualitatif, data kuantitatif, data primer, data sekunder, data visual, dan data digital.
4. Menyusun rencana pengukuran dan inspeksi lapangan.
5. Menentukan alat, prosedur, lokasi, waktu, dan keselamatan dalam kegiatan pengumpulan data.
6. Menjelaskan pentingnya validitas, reliabilitas, ketertelusuran, dan etika penggunaan data.

Bab ini membahas pengumpulan data lapangan dan bukti teknis dalam pekerjaan teknik terapan. Ruang lingkupnya mencakup jenis data, perencanaan pengukuran, inspeksi lapangan, pemilihan alat ukur, kalibrasi, teknik *sampling*, kecukupan data, dokumentasi foto dan video, formulir lapangan, log digital, validitas, reliabilitas, serta etika penggunaan data. Pembahasan diarahkan agar mahasiswa mampu mengumpulkan data yang dapat digunakan untuk analisis akar masalah dan penyusunan solusi.

A. Jenis Data dalam Pekerjaan Teknik Terapan

Data dalam pekerjaan teknik terapan adalah informasi yang digunakan untuk memahami kondisi, menilai kinerja, membandingkan hasil dengan standar, dan mendukung keputusan teknis. Data dapat berbentuk angka, teks, gambar, suara, video, sketsa, peta, model, dokumen, atau catatan digital. Dalam *problem solving*, data digunakan untuk menjawab pertanyaan teknis, seperti apa yang terjadi, di mana terjadi, kapan terjadi, seberapa besar penyimpangan, apa dampaknya, dan faktor apa yang mungkin menjadi penyebab.

Data perlu dibedakan dari opini. Opini adalah penilaian atau pandangan seseorang terhadap suatu kondisi. Data adalah informasi yang dapat dicatat, diperiksa, dan ditelusuri. Contoh opini adalah “pekerjaan ini kurang baik.” Contoh data adalah “hasil pengukuran elevasi menunjukkan perbedaan 8 cm antara inlet dan outlet pada saluran sepanjang 20 meter.” Opini dapat menjadi informasi awal, tetapi keputusan teknik harus didukung oleh data.

Jenis data pertama adalah data kuantitatif. Data kuantitatif berbentuk angka dan dapat dihitung atau diukur. Contohnya adalah panjang, lebar, tinggi, suhu, arus, tegangan, kuat tekan, debit, berat, waktu, tekanan, getaran, kadar air, kecepatan, volume, dan jumlah cacat. Data kuantitatif penting karena membantu mahasiswa menilai besaran masalah secara objektif. Misalnya, pernyataan “mesin panas” menjadi lebih jelas jika dinyatakan sebagai “suhu motor mencapai 92 derajat Celsius setelah beroperasi selama 30 menit.”

Jenis data kedua adalah data kualitatif. Data kualitatif berbentuk deskripsi kondisi, perilaku, prosedur, atau pengalaman. Contohnya adalah kondisi permukaan beton, suara mesin, pola kerja operator, kondisi penyimpanan material, alur komunikasi, atau hasil wawancara teknis. Data kualitatif penting karena tidak semua kondisi lapangan dapat langsung diukur dengan angka. Namun, data kualitatif tetap harus dicatat secara sistematis agar dapat dianalisis.

Jenis data ketiga adalah data primer. Data primer diperoleh langsung oleh mahasiswa atau tim melalui observasi, pengukuran, pengujian, inspeksi, wawancara, atau dokumentasi lapangan. Data primer memiliki keunggulan karena sesuai dengan kebutuhan masalah yang sedang dianalisis. Namun, data primer membutuhkan waktu, alat, prosedur, dan pengendalian keselamatan. Contohnya adalah hasil pengukuran dimensi saluran, foto kondisi panel, hasil uji kuat tekan, atau catatan wawancara dengan operator.

Jenis data keempat adalah data sekunder. Data sekunder diperoleh dari dokumen atau sumber yang sudah tersedia. Contohnya adalah gambar kerja, laporan harian, catatan perawatan, hasil uji terdahulu, spesifikasi teknis, SOP, standar, data cuaca, data penggunaan energi, dan riwayat kerusakan. Data sekunder membantu memahami riwayat

masalah dan konteks pekerjaan. Namun, data sekunder perlu diperiksa kesesuaiannya dengan kondisi aktual. Dokumen lama dapat berbeda dari kondisi lapangan saat ini.

Jenis data kelima adalah data visual. Data visual berupa foto, video, sketsa, peta, diagram, gambar kerja, model tiga dimensi, atau tangkapan layar *dashboard*. Data visual membantu menjelaskan kondisi yang sulit diuraikan hanya dengan kata-kata. Foto retak, video aliran air, sketsa posisi kerusakan, atau model digital dapat menjadi bukti penting. Namun, data visual harus diberi keterangan lokasi, waktu, arah pandang, dan objek yang ditunjukkan.

Jenis data keenam adalah data temporal. Data temporal menunjukkan perubahan kondisi dari waktu ke waktu. Contohnya adalah suhu mesin setiap 10 menit, arus panel pada jam beban puncak, progres pekerjaan harian, debit saluran selama hujan, atau data getaran mesin selama operasi. Data temporal penting karena beberapa masalah hanya terlihat ketika sistem berjalan. Data satu kali kadang tidak cukup untuk memahami pola masalah.

Jenis data ketujuh adalah data spasial. Data spasial berkaitan dengan lokasi, posisi, jarak, elevasi, koordinat, luas area, arah aliran, dan hubungan antar titik. Data spasial penting dalam teknik sipil, geospasial, lingkungan, arsitektur, dan pekerjaan lapangan. Contohnya adalah peta titik genangan, koordinat kerusakan jalan, elevasi saluran, posisi panel, layout mesin, atau area bahaya. Data spasial membantu mahasiswa memahami hubungan masalah dengan tempat.

Jenis data kedelapan adalah data digital dan sensor. Data ini dihasilkan oleh alat digital, sensor, sistem *monitoring*, data logger, perangkat lunak, *dashboard*, atau *Internet of Things*. Contohnya adalah suhu, getaran, tekanan, kelembapan, energi listrik, debit, kualitas udara, status mesin, dan alarm sistem. Data digital dapat dikumpulkan secara cepat dan terus-menerus. Namun, data digital tetap perlu divalidasi karena sensor dapat rusak, salah kalibrasi, atau salah konfigurasi.

Jenis data kesembilan adalah data dokumen. Data dokumen meliputi kontrak, spesifikasi, SOP, metode kerja, laporan inspeksi, laporan pengujian, berita acara, checklist, jadwal, RAB, gambar revisi, dan catatan perubahan. Data dokumen membantu menelusuri apakah pekerjaan dilakukan sesuai rencana. Dalam masalah kesenjangan antara perencanaan dan pelaksanaan, data dokumen sangat penting karena menjadi acuan untuk membandingkan kondisi aktual.

Jenis data kesepuluh adalah data keselamatan. Data keselamatan mencakup identifikasi bahaya, laporan insiden, catatan near miss, penggunaan APD, izin kerja, inspeksi K3, kondisi area kerja, dan tindakan pengendalian risiko. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya identifikasi bahaya dan pengendalian risiko dalam sistem keselamatan dan kesehatan kerja (International Organization for Standardization, 2018). Dalam pengumpulan data lapangan, data keselamatan perlu dicatat karena masalah teknik sering berhubungan dengan risiko manusia. Tabel 22 menyajikan jenis data dalam pekerjaan teknik terapan beserta contoh dan kegunaannya.

Tabel 22. Jenis Data dalam Pekerjaan Teknik Terapan

Jenis Data	Bentuk Data	Contoh dalam Pekerjaan Teknik	Kegunaan dalam Problem Solving
Kuantitatif	Angka hasil ukur atau hitung	Suhu mesin, arus listrik, kuat tekan beton, debit air, waktu siklus	Menilai besaran masalah dan membandingkan dengan standar
Kualitatif	Deskripsi kondisi atau perilaku	Suara mesin kasar, permukaan beton keropos, instruksi kerja tidak jelas	Memahami konteks dan kondisi yang tidak langsung terukur
Primer	Data yang dikumpulkan langsung	Hasil pengukuran lapangan, foto lokasi, hasil uji, wawancara teknis	Memberi bukti aktual sesuai kebutuhan masalah
Sekunder	Data dari dokumen atau sumber tersedia	Gambar kerja, SOP, laporan harian, riwayat perawatan, data cuaca	Menelusuri riwayat, standar, dan kondisi rencana
Visual	Foto, video, sketsa, peta, model	Foto retak, video aliran, sketsa titik	Menunjukkan kondisi fisik dan

Jenis Data	Bentuk Data	Contoh dalam Pekerjaan Teknik	Kegunaan dalam Problem Solving
		kerusakan, layout mesin	mendukung komunikasi teknis
Temporal	Data berdasarkan waktu	Suhu setiap 10 menit, progres harian, arus saat beban puncak	Membaca pola perubahan dan kondisi berulang
Spasial	Data berbasis lokasi	Koordinat kerusakan, elevasi saluran, peta titik genangan	Memahami hubungan masalah dengan posisi dan area
Digital atau sensor	Data dari perangkat digital	Data getaran, alarm sistem, log energi, data logger suhu	Memantau kondisi secara cepat dan berulang
Dokumen	Catatan tertulis atau arsip teknis	Spesifikasi, berita acara, checklist, catatan perubahan	Membandingkan rencana, prosedur, dan realisasi
Keselamatan	Data bahaya dan risiko kerja	Laporan insiden, izin kerja, APD, kondisi area berbahaya	Menentukan risiko dan tindakan pengendalian

Tabel 22 menunjukkan bahwa data teknik memiliki banyak bentuk. Mahasiswa perlu memilih jenis data sesuai masalah. Tidak semua masalah membutuhkan semua jenis data. Masalah mutu material membutuhkan hasil uji, spesifikasi, dan prosedur. Masalah keterlambatan membutuhkan jadwal, laporan harian, dan data sumber daya. Masalah keselamatan membutuhkan identifikasi bahaya, foto kondisi, dan laporan insiden. Pemilihan data yang tepat akan membuat analisis lebih efisien.

Data yang baik memiliki beberapa karakteristik. Pertama, data harus relevan dengan masalah. Data yang tidak berhubungan akan menambah beban analisis. Kedua, data harus akurat. Data perlu diperoleh dengan alat dan prosedur yang sesuai. Ketiga, data harus lengkap sesuai kebutuhan. Data yang terlalu sedikit dapat menghasilkan kesimpulan lemah. Keempat, data harus dapat ditelusuri. Sumber, waktu, lokasi, alat, dan pencatat data harus jelas. Kelima, data harus dapat dibandingkan dengan standar, rencana, atau kondisi sebelumnya.

Akurasi dan presisi perlu dipahami dalam pengumpulan data teknik. ISO 5725-1:2023 menjelaskan bahwa akurasi berkaitan dengan trueness dan precision dalam metode dan hasil pengukuran (International Organization for Standardization, 2023). Dalam bahasa sederhana, akurasi berkaitan dengan kedekatan hasil terhadap nilai yang benar atau diterima, sedangkan presisi berkaitan dengan kedekatan hasil pengukuran berulang satu sama lain. Mahasiswa perlu memahami perbedaan ini agar tidak salah menafsirkan hasil ukur.

Contohnya, pengukuran dimensi benda kerja dapat memberikan hasil yang berulang sama, tetapi tetap salah jika alat ukur tidak terkalibrasi. Ini menunjukkan presisi baik, tetapi akurasi lemah. Sebaliknya, hasil ukur dapat mendekati nilai benar secara rata-rata, tetapi menyebar jauh jika cara pengukuran tidak konsisten. Ini menunjukkan akurasi rata-rata mungkin cukup, tetapi presisi lemah. Dalam *problem solving*, keduanya penting karena keputusan teknis membutuhkan data yang akurat dan konsisten.

Data juga perlu memiliki ketertelusuran. Ketertelusuran berarti hasil data dapat dikaitkan dengan sumber, alat, metode, waktu, lokasi, dan penanggung jawab. Dalam laboratorium, ketertelusuran sering dikaitkan dengan kalibrasi dan standar pengukuran. Dalam lapangan, ketertelusuran dapat dilakukan melalui catatan alat, foto berlokasi, kode titik pengukuran, dan formulir observasi. Data yang tidak dapat ditelusuri akan sulit dipercaya.

Dalam kegiatan vokasi, mahasiswa perlu dilatih mencatat metadata sederhana. Metadata adalah data tentang data. Contohnya adalah tanggal pengukuran, nama pengukur, alat yang digunakan, satuan, lokasi titik ukur, kondisi cuaca, kondisi alat, dan catatan khusus. Metadata sering dianggap kecil, tetapi sangat penting. Tanpa metadata, data sulit diperiksa ulang.

Data juga dapat bersifat statis atau dinamis. Data statis adalah data yang relatif tidak berubah dalam waktu singkat, seperti dimensi bangunan, posisi panel, jenis material, atau layout ruang. Data dinamis adalah data yang dapat berubah cepat, seperti arus listrik, suhu mesin, debit air, tekanan, kelembapan, dan produktivitas. Data

dinamis biasanya membutuhkan pengukuran berulang atau pemantauan pada waktu tertentu.

Dalam *problem solving*, mahasiswa perlu memahami kapan data tunggal cukup dan kapan data berulang diperlukan. Jika ingin mengetahui ukuran saluran, satu kali pengukuran dengan verifikasi dapat cukup. Jika ingin mengetahui suhu mesin saat operasi, pengukuran perlu dilakukan beberapa kali selama periode operasi. Jika ingin mengetahui keterlambatan proyek, data perlu dilihat berdasarkan progres harian atau mingguan. Jika ingin mengetahui produktivitas, data perlu dicatat berdasarkan waktu siklus atau *output* dalam periode tertentu.

Data juga perlu dikelola dengan baik. Pengelolaan data mencakup penamaan file, penyimpanan foto, pengaturan tabel, pencatatan satuan, pencadangan dokumen, dan perlindungan data sensitif. Dalam pekerjaan teknik modern, banyak data dikumpulkan secara digital. Hal ini memudahkan penyimpanan dan analisis, tetapi juga menuntut disiplin. File yang tidak diberi nama jelas atau disimpan tanpa struktur dapat menyulitkan analisis.

Pada akhirnya, memahami jenis data merupakan langkah dasar dalam pengumpulan bukti teknis. Mahasiswa perlu mampu memilih, mencatat, memeriksa, dan menggunakan data sesuai tujuan. Data yang baik akan memperkuat perumusan masalah, pengujian asumsi, analisis akar masalah, dan penyusunan solusi. Tanpa data yang baik, *problem solving* teknik terapan tidak memiliki dasar yang kuat.

Data dalam pekerjaan teknik terapan dapat berbentuk kuantitatif, kualitatif, primer, sekunder, visual, temporal, spasial, digital, dokumen, dan keselamatan. Setiap jenis data memiliki fungsi yang berbeda dalam *problem solving*. Data yang baik harus relevan, akurat, lengkap, dapat ditelusuri, dan dapat dibandingkan dengan standar atau kondisi rencana. Mahasiswa perlu memahami akurasi, presisi, ketertelusuran, metadata, dan pengelolaan data agar bukti teknis dapat digunakan secara bertanggung jawab.

B. Perencanaan Pengukuran dan Inspeksi Lapangan

Pengukuran dan inspeksi lapangan harus direncanakan sebelum dilakukan. Perencanaan diperlukan agar data yang dikumpulkan relevan, aman, akurat, dan sesuai dengan tujuan analisis. Tanpa perencanaan, pengukuran dapat dilakukan pada titik yang salah, alat yang digunakan tidak sesuai, data tidak lengkap, atau kegiatan menimbulkan risiko keselamatan. Dalam pekerjaan teknik, pengukuran yang buruk dapat menghasilkan keputusan yang salah.

Pengukuran adalah kegiatan memperoleh nilai besaran tertentu dengan alat ukur. Contohnya adalah mengukur panjang, suhu, arus, tegangan, debit, tekanan, getaran, kelembapan, elevasi, atau waktu. Inspeksi adalah kegiatan memeriksa kondisi objek berdasarkan kriteria tertentu. Contohnya adalah memeriksa kondisi fisik panel, kelengkapan APD, keretakan permukaan beton, kebocoran pipa, kondisi bearing, kesesuaian material, atau kepatuhan prosedur kerja.

Pengukuran dan inspeksi saling melengkapi. Pengukuran memberikan data angka. Inspeksi memberikan informasi kondisi. Misalnya, pada masalah panel panas, pengukuran dapat mencatat suhu, arus, dan tegangan. Inspeksi dapat mencatat kondisi sambungan, ventilasi panel, kebersihan ruang, dan tanda perubahan warna pada kabel. Gabungan keduanya memberikan bukti teknis yang lebih kuat.

Perencanaan pengukuran dan inspeksi harus dimulai dari rumusan masalah dan asumsi teknis. Jika rumusan masalah berkaitan dengan genangan, maka pengukuran perlu diarahkan pada dimensi saluran, elevasi, kemiringan, kedalaman genangan, dan kondisi aliran. Jika asumsi menyebutkan bahwa mesin panas karena ventilasi buruk, maka data yang perlu dikumpulkan adalah suhu operasi, kondisi ventilasi, beban kerja, dan pola penggunaan mesin. Data harus dipilih berdasarkan kebutuhan analisis, bukan sekadar karena mudah diambil.

Langkah pertama dalam perencanaan adalah menentukan tujuan pengukuran dan inspeksi. Tujuan harus jelas. Contohnya adalah “mengukur dimensi dan kemiringan saluran untuk menilai

kemungkinan hambatan aliran,” “memeriksa kondisi panel untuk mengidentifikasi potensi beban lebih dan sambungan longgar,” atau “mengukur suhu mesin selama operasi untuk melihat pola kenaikan suhu.” Tujuan yang jelas membantu menentukan alat, lokasi, waktu, dan metode.

Langkah kedua adalah menentukan parameter yang akan diukur atau diperiksa. Parameter adalah besaran atau kondisi yang menjadi fokus data. Parameter dapat berupa suhu, arus, tegangan, dimensi, tekanan, getaran, waktu siklus, kadar air, jumlah cacat, kondisi sambungan, kondisi material, atau kepatuhan SOP. Parameter harus dipilih sesuai masalah. Terlalu banyak parameter dapat membuat pengumpulan data tidak efisien. Terlalu sedikit parameter dapat membuat analisis lemah.

Langkah ketiga adalah menentukan lokasi atau titik pengukuran. Titik pengukuran harus mewakili kondisi yang ingin dianalisis. Pada saluran drainase, titik ukur dapat mencakup inlet, segmen tengah, outlet, titik genangan, dan titik perubahan elevasi. Pada mesin, titik ukur dapat mencakup motor, bearing, rumah mesin, area ventilasi, dan titik getaran. Pada panel listrik, titik ukur dapat mencakup kabel utama, terminal, MCB, busbar, dan area ventilasi. Titik ukur perlu diberi kode agar data mudah ditelusuri.

Langkah keempat adalah menentukan waktu pengukuran. Beberapa data hanya bermakna jika diambil pada kondisi tertentu. Data arus listrik perlu diambil saat beban normal atau beban puncak. Data suhu mesin perlu diambil saat mesin mulai beroperasi, saat beban stabil, dan setelah periode tertentu. Data genangan perlu diambil saat atau setelah hujan. Data produktivitas perlu diambil saat proses kerja berlangsung. Waktu pengukuran harus dicatat karena kondisi dapat berubah.

Langkah kelima adalah memilih alat ukur dan alat inspeksi. Alat harus sesuai dengan parameter, rentang ukur, ketelitian, kondisi lapangan, dan risiko keselamatan. Misalnya, pengukuran arus memerlukan clamp meter yang sesuai kapasitas. Pengukuran suhu panel dapat menggunakan termometer inframerah jika aman dan tersedia. Pengukuran dimensi dapat menggunakan meteran, jangka

sorong, atau alat ukur lain sesuai kebutuhan. Inspeksi dapat menggunakan checklist, kamera, lampu, sketsa, atau formulir.

ISO 10012 menjelaskan persyaratan sistem manajemen pengukuran untuk proses pengukuran dan peralatan ukur agar persyaratan metrologi dapat terpenuhi (International Organization for Standardization, 2003). Walaupun standar ini bersifat sistem manajemen, prinsipnya relevan untuk pendidikan vokasi. Mahasiswa perlu memastikan alat ukur sesuai tujuan, dalam kondisi baik, dan digunakan dengan prosedur yang benar.

Langkah keenam adalah menentukan metode pengukuran dan inspeksi. Metode menjelaskan bagaimana data diambil. Metode perlu mencakup posisi alat, jumlah pengukuran, urutan kerja, kondisi operasi, cara membaca hasil, dan cara mencatat data. Metode yang tidak jelas dapat membuat data antar mahasiswa tidak konsisten. Misalnya, pengukuran suhu mesin harus menentukan titik ukur dan jarak alat. Pengukuran dimensi saluran harus menentukan titik awal dan titik akhir. Inspeksi retak harus menentukan cara mengukur panjang, lebar, dan pola retak.

Langkah ketujuh adalah menentukan jumlah data. Jumlah data harus cukup untuk mendukung analisis. Satu data mungkin cukup untuk kondisi statis sederhana, tetapi tidak cukup untuk kondisi dinamis. Jika masalah bersifat berulang, data perlu dikumpulkan beberapa kali. Jika kondisi berbeda antar lokasi, data perlu diambil pada beberapa titik. Jika hasil pengukuran bervariasi, pengukuran ulang perlu dilakukan. Kecukupan data akan dibahas lebih rinci pada subbab berikutnya, tetapi perencanaan awal tetap perlu mencantumkan jumlah data minimum.

Langkah kedelapan adalah menyiapkan format pencatatan. Format pencatatan dapat berupa tabel pengukuran, checklist inspeksi, formulir observasi, log digital, atau catatan lapangan. Format harus memuat parameter, satuan, lokasi, waktu, alat, kondisi, hasil, nama pencatat, dan catatan khusus. Pencatatan langsung di lapangan lebih baik daripada mengandalkan ingatan. Data yang dicatat setelah kegiatan selesai mudah salah.

Langkah kesembilan adalah mengidentifikasi risiko keselamatan. Pengukuran dan inspeksi dapat mengandung bahaya. Mengukur panel listrik memiliki risiko sengatan atau arc flash. Memeriksa mesin bergerak memiliki risiko terjepit atau terkena komponen berputar. Mengukur saluran saat hujan memiliki risiko terpeleset atau terbawa aliran. Memeriksa area konstruksi memiliki risiko tertimpa, tersandung, atau terkena alat berat. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya identifikasi bahaya dan pengendalian risiko sebelum pekerjaan dilakukan (International Organization for Standardization, 2018).

Langkah kesepuluh adalah menentukan batas kewenangan. Mahasiswa tidak boleh melakukan pengukuran atau inspeksi yang melebihi kompetensi dan izin. Jika pekerjaan memerlukan teknisi berwenang, mahasiswa hanya boleh melakukan observasi dari jarak aman atau menggunakan data yang disediakan. Contohnya adalah membuka panel aktif, memasuki ruang terbatas, menaiki struktur tinggi, atau mengoperasikan mesin tanpa pendamping. Batas kewenangan harus ditulis dalam rencana. Tabel 23 menyajikan format perencanaan pengukuran dan inspeksi lapangan.

Tabel 23. Format Perencanaan Pengukuran dan Inspeksi Lapangan

Komponen Perencanaan	Isi yang Perlu Ditentukan	Contoh Penerapan
Tujuan	Alasan data dikumpulkan	Menilai kemungkinan penyebab genangan pada saluran area parkir
Parameter	Besaran atau kondisi yang diukur atau diperiksa	Dimensi saluran, kedalaman genangan, kemiringan, kondisi inlet, sedimentasi
Lokasi atau titik ukur	Titik pengambilan data	Inlet A1, segmen tengah A2, outlet A3, dan titik genangan G1
Waktu pengukuran	Kapan data diambil	Setelah hujan, saat aliran masih terlihat, dan saat kondisi kering untuk pembandingan
Alat	Peralatan ukur dan inspeksi	Meteran, waterpass sederhana, kamera, formulir, APD
Metode	Cara pengambilan data	Mengukur lebar dan kedalaman saluran pada tiga titik serta mencatat hambatan aliran
Jumlah data	Banyaknya titik, sampel, atau pengulangan	Minimal tiga titik saluran dan dua kondisi waktu pengamatan

Komponen Perencanaan	Isi yang Perlu Ditentukan	Contoh Penerapan
Format pencatatan	Media dan struktur pencatatan	Tabel lapangan berisi lokasi, waktu, hasil ukur, foto, dan catatan kondisi
Risiko keselamatan	Bahaya yang mungkin muncul	Permukaan licin, genangan, kendaraan lewat, dan tepi saluran terbuka
Pengendalian risiko	Tindakan pencegahan	Menggunakan sepatu keselamatan, rompi, bekerja berpasangan, dan menjaga jarak dari kendaraan
Batas kewenangan	Tindakan yang boleh dan tidak boleh dilakukan	Mahasiswa hanya mengukur dari area aman dan tidak membongkar struktur saluran
Keluaran	Bentuk hasil yang diharapkan	Tabel data, foto beranotasi, sketsa lokasi, dan rekomendasi data lanjutan

Tabel 23 menunjukkan bahwa perencanaan pengukuran dan inspeksi bukan hanya daftar alat. Perencanaan harus memuat tujuan, parameter, lokasi, waktu, metode, risiko, dan keluaran. Dengan format ini, mahasiswa dapat melakukan pengumpulan data secara lebih terarah dan aman.

Perencanaan juga perlu memperhatikan standar atau acuan pembandingan. Data tidak memiliki makna jika tidak dapat dibandingkan. Hasil ukur dimensi dapat dibandingkan dengan gambar. Hasil uji material dapat dibandingkan dengan spesifikasi. Data suhu mesin dapat dibandingkan dengan batas operasi. Data arus listrik dapat dibandingkan dengan kapasitas proteksi dan kabel. Data progres dapat dibandingkan dengan jadwal. Acuan pembandingan harus dicatat sejak perencanaan.

Pengukuran lapangan perlu mempertimbangkan kondisi lingkungan. Suhu, kelembapan, cahaya, angin, hujan, getaran, debu, dan kebisingan dapat memengaruhi hasil ukur atau keselamatan. Misalnya, pengukuran dimensi di area gelap dapat menyebabkan kesalahan baca. Pengukuran suhu pada permukaan yang terkena sinar matahari langsung dapat berbeda dari kondisi operasi normal. Pengukuran getaran dapat terganggu oleh sumber getaran lain. Kondisi lingkungan harus dicatat sebagai bagian dari data.

Inspeksi lapangan perlu menggunakan kriteria. Tanpa kriteria, inspeksi dapat menjadi penilaian subjektif. Kriteria dapat berasal dari

standar, SOP, gambar, spesifikasi, checklist, instruksi kerja, atau kriteria kinerja yang telah dirumuskan. Misalnya, inspeksi APD dapat memakai daftar kewajiban APD. Inspeksi material dapat memakai spesifikasi material. Inspeksi retak dapat memakai lokasi, panjang, lebar, pola, dan tingkat keparahan. Kriteria membuat hasil inspeksi lebih konsisten.

Dalam kegiatan mahasiswa, pengukuran dan inspeksi sebaiknya dilakukan oleh tim kecil dengan pembagian tugas jelas. Satu orang membaca alat, satu orang mencatat, satu orang mengambil foto, dan satu orang memeriksa keselamatan area. Pembagian tugas mengurangi kesalahan dan mempercepat pekerjaan. Namun, semua anggota tim tetap harus memahami tujuan dan metode agar data yang dikumpulkan konsisten.

Sebelum pengukuran dimulai, tim perlu melakukan pemeriksaan awal. Pemeriksaan awal mencakup kesiapan alat, baterai, formulir, APD, izin lokasi, kondisi cuaca, dan keamanan area. Pemeriksaan ini sederhana, tetapi penting. Banyak kegagalan pengumpulan data terjadi karena alat tertinggal, baterai habis, formulir tidak siap, atau lokasi tidak dapat diakses.

Setelah pengukuran selesai, data perlu diperiksa di lapangan. Pemeriksaan ini bertujuan memastikan tidak ada kolom kosong, satuan hilang, foto tanpa kode, atau hasil yang terlihat tidak wajar. Jika ditemukan data meragukan, pengukuran ulang dapat dilakukan sebelum tim meninggalkan lokasi. Pemeriksaan lapangan menghemat waktu karena kembali ke lokasi sering sulit dilakukan.

Perencanaan pengukuran dan inspeksi juga harus mempertimbangkan etika. Mahasiswa perlu meminta izin jika lokasi berada dalam area kerja, fasilitas organisasi, atau ruang terbatas. Pengambilan foto harus memperhatikan privasi, keamanan, dan kerahasiaan informasi. Data yang diperoleh tidak boleh diubah tanpa alasan teknis. Jika data memiliki keterbatasan, keterbatasan tersebut harus ditulis.

Pada akhirnya, perencanaan pengukuran dan inspeksi lapangan menentukan kualitas data yang diperoleh. Perencanaan yang baik

akan membantu mahasiswa memperoleh data yang relevan, aman, terukur, dan dapat ditelusuri. Dengan data yang baik, analisis akar masalah pada tahap berikutnya dapat dilakukan secara lebih kuat dan dapat dipertanggungjawabkan.

Perencanaan pengukuran dan inspeksi lapangan dilakukan agar data yang dikumpulkan relevan, akurat, aman, dan sesuai tujuan. Perencanaan mencakup tujuan, parameter, lokasi, waktu, alat, metode, jumlah data, format pencatatan, risiko keselamatan, pengendalian risiko, batas kewenangan, dan keluaran. Pengukuran memberikan data angka, sedangkan inspeksi memberikan informasi kondisi. Keduanya perlu dirancang berdasarkan rumusan masalah, asumsi teknis, standar pembandingan, dan kondisi lapangan.

C. Pemilihan Alat Ukur dan Prinsip Kalibrasi

Pemilihan alat ukur merupakan tahap penting dalam pengumpulan data lapangan dan bukti teknis. Alat ukur yang tepat akan menghasilkan data yang lebih dapat dipercaya. Sebaliknya, alat ukur yang tidak sesuai dapat menghasilkan data yang keliru, tidak konsisten, atau tidak dapat digunakan sebagai dasar keputusan. Dalam pekerjaan teknik terapan, kesalahan memilih alat ukur dapat berdampak pada mutu pekerjaan, keselamatan, biaya, dan validitas analisis.

Alat ukur harus dipilih berdasarkan tujuan pengukuran. Mahasiswa perlu memahami apa yang akan diukur, mengapa pengukuran dilakukan, berapa rentang nilai yang mungkin muncul, seberapa teliti data yang dibutuhkan, dan bagaimana kondisi lokasi pengukuran. Alat yang baik untuk satu pekerjaan belum tentu sesuai untuk pekerjaan lain. Misalnya, meteran dapat digunakan untuk mengukur panjang saluran, tetapi tidak cukup untuk mengukur ketebalan kecil yang membutuhkan jangka sorong. Termometer inframerah dapat membantu membaca suhu permukaan, tetapi hasilnya dapat dipengaruhi jarak, sudut, dan jenis permukaan.

Dalam pekerjaan teknik, alat ukur digunakan untuk mengubah kondisi nyata menjadi data. Data tersebut kemudian digunakan untuk membandingkan kondisi aktual dengan standar, spesifikasi, gambar,

atau batas kinerja. Oleh karena itu, alat ukur harus memiliki kemampuan yang sesuai dengan kebutuhan teknis. Jika alat ukur tidak sesuai, data yang dihasilkan dapat menyedatkan proses *problem solving*.

ISO 10012:2026 menjelaskan bahwa sistem manajemen pengukuran bertujuan memberikan keyakinan terhadap validitas dan reliabilitas hasil pengukuran. Standar ini juga menekankan pentingnya pengelolaan risiko yang berkaitan dengan proses pengukuran karena hasil ukur yang salah dapat memengaruhi mutu produk atau layanan (International Organization for Standardization, 2026). Prinsip ini relevan dalam pendidikan vokasi karena mahasiswa perlu memahami bahwa pengukuran bukan sekadar membaca angka pada alat.

ISO/IEC 17025:2017 juga relevan karena mengatur kompetensi, ketidakberpihakan, dan konsistensi operasi laboratorium pengujian dan kalibrasi (International Organization for Standardization, 2017). Dalam konteks pembelajaran, mahasiswa tidak harus menguasai seluruh sistem akreditasi laboratorium. Namun, mahasiswa harus memahami prinsip dasar bahwa hasil pengujian dan pengukuran harus diperoleh dengan alat, metode, personel, dan prosedur yang dapat dipercaya.

Pemilihan alat ukur perlu memperhatikan beberapa kriteria. Kriteria pertama adalah jenis besaran yang diukur. Besaran dapat berupa panjang, massa, suhu, tekanan, arus listrik, tegangan, kelembapan, debit, getaran, intensitas cahaya, suara, atau waktu. Setiap besaran membutuhkan alat ukur yang berbeda. Kesalahan memilih alat dapat membuat data tidak relevan.

Kriteria kedua adalah rentang ukur. Rentang ukur adalah batas minimum dan maksimum yang dapat dibaca alat. Alat ukur harus mampu membaca nilai yang diperkirakan muncul di lapangan. Jika nilai yang diukur melebihi kapasitas alat, alat dapat rusak atau menghasilkan data yang tidak valid. Misalnya, clamp meter yang digunakan harus sesuai dengan perkiraan arus listrik. Timbangan harus sesuai dengan massa benda uji. Alat ukur tekanan harus sesuai dengan tekanan kerja sistem.

Kriteria ketiga adalah resolusi. Resolusi adalah perubahan terkecil yang dapat dibaca oleh alat. Semakin kecil resolusi, semakin detail pembacaan alat. Namun, resolusi tinggi tidak selalu diperlukan. Mahasiswa perlu menyesuaikan resolusi dengan kebutuhan. Mengukur panjang saluran drainase tidak memerlukan resolusi 0,01 mm. Sebaliknya, mengukur diameter komponen mesin kecil dapat membutuhkan alat dengan resolusi lebih tinggi.

Kriteria keempat adalah akurasi. Akurasi menunjukkan kedekatan hasil pengukuran dengan nilai yang benar atau nilai acuan. Alat yang memiliki resolusi tinggi belum tentu akurat. Oleh karena itu, mahasiswa tidak boleh hanya melihat jumlah angka desimal pada alat digital. Akurasi alat perlu diperiksa melalui spesifikasi alat, kalibrasi, atau perbandingan dengan alat acuan.

Kriteria kelima adalah presisi. Presisi menunjukkan kedekatan hasil pengukuran berulang. Jika pengukuran dilakukan beberapa kali pada objek yang sama dan hasilnya hampir sama, maka data dapat disebut presisi. Namun, data presisi belum tentu akurat. Kesalahan sistematis dapat membuat hasil pengukuran selalu konsisten tetapi tetap menyimpang dari nilai sebenarnya. ISO 5725-1:2023 menjelaskan konsep akurasi sebagai gabungan dari trueness dan precision dalam metode dan hasil pengukuran (International Organization for Standardization, 2023).

Kriteria keenam adalah kondisi lingkungan. Beberapa alat ukur sensitif terhadap suhu, kelembapan, debu, getaran, medan elektromagnetik, pencahayaan, atau kondisi permukaan. Pengukuran lapangan sering dilakukan pada lingkungan yang tidak ideal. Oleh karena itu, mahasiswa perlu membaca petunjuk alat dan mencatat kondisi lingkungan saat pengukuran. Data yang diperoleh di lokasi panas, basah, atau berdebu perlu ditafsirkan dengan hati-hati.

Kriteria ketujuh adalah keselamatan. Alat ukur harus aman digunakan pada kondisi pekerjaan. Pada pengukuran listrik, alat harus sesuai kategori keselamatan dan kapasitas tegangan atau arus yang diukur. Pada pengukuran mesin bergerak, alat harus memungkinkan pengukuran dari jarak aman. Pada pengukuran di area basah atau ketinggian, alat harus digunakan tanpa menambah risiko.

Keselamatan pengukur lebih penting daripada memperoleh data secara cepat.

Kriteria kedelapan adalah kemudahan penggunaan dan kompetensi operator. Alat ukur yang kompleks membutuhkan pelatihan. Jika operator tidak memahami cara menggunakan alat, hasil pengukuran dapat salah. Dalam pendidikan vokasi, dosen perlu memastikan mahasiswa memahami cara menyalakan alat, memilih mode, mengatur satuan, membaca hasil, mencatat data, dan menyimpan alat setelah digunakan. Tabel 24 menyajikan kriteria pemilihan alat ukur dalam pekerjaan teknik terapan.

Tabel 24. Kriteria Pemilihan Alat Ukur dalam Pekerjaan Teknik Terapan

Kriteria Pemilihan	Makna Teknis	Contoh Pertanyaan Panduan	Risiko Jika Diabaikan
Jenis besaran	Besaran fisik atau teknis yang akan diukur	Apakah yang diukur panjang, suhu, arus, tekanan, debit, atau getaran?	Data tidak relevan karena alat tidak sesuai dengan parameter
Rentang ukur	Batas minimum dan maksimum pembacaan alat	Apakah nilai lapangan masih berada dalam kapasitas alat?	Alat rusak, hasil tidak valid, atau pembacaan tidak muncul
Resolusi	Perubahan terkecil yang dapat dibaca alat	Apakah tingkat detail pembacaan sudah cukup untuk analisis?	Data terlalu kasar atau terlalu detail tanpa manfaat teknis
Akurasi	Kedekatan hasil dengan nilai acuan	Apakah alat memiliki spesifikasi akurasi yang sesuai?	Keputusan teknis salah karena hasil ukur menyimpang
Presisi	Konsistensi hasil pengukuran berulang	Apakah hasil pengukuran stabil jika diulang?	Data sulit dipercaya karena hasil tidak konsisten
Kondisi lingkungan	Pengaruh suhu, kelembapan, debu, getaran, dan cahaya	Apakah alat sesuai untuk kondisi lapangan?	Data terganggu oleh lingkungan dan sulit dibandingkan
Keselamatan	Kesesuaian alat dengan risiko pekerjaan	Apakah alat aman untuk pengukuran	Pengukur cedera, alat rusak, atau pekerjaan harus dihentikan

Kriteria Pemilihan	Makna Teknis	Contoh Pertanyaan Panduan	Risiko Jika Diabaikan
		listrik, mesin, atau area berbahaya?	
Kompetensi operator	Kemampuan pengguna dalam mengoperasikan alat	Apakah mahasiswa memahami prosedur penggunaan alat?	Kesalahan pembacaan, salah mode, salah satuan, atau data hilang
Kalibrasi	Status pembandingan alat terhadap acuan	Apakah alat memiliki status kalibrasi yang masih berlaku?	Hasil ukur tidak dapat dipercaya atau tidak dapat ditelusuri
Ketersediaan dan perawatan	Kondisi fisik, baterai, sensor, dan kelengkapan alat	Apakah alat siap digunakan dan dalam kondisi baik?	Pengukuran gagal atau data tidak lengkap

Tabel 24 menunjukkan bahwa pemilihan alat ukur perlu mempertimbangkan aspek teknis dan praktis. Mahasiswa tidak cukup memilih alat berdasarkan ketersediaan. Alat harus sesuai dengan parameter, rentang, ketelitian, lingkungan, keselamatan, dan kemampuan operator. Dengan demikian, data yang diperoleh lebih layak digunakan sebagai bukti teknis.

Selain pemilihan alat, mahasiswa perlu memahami prinsip kalibrasi. Kalibrasi adalah proses membandingkan alat ukur dengan standar atau acuan yang memiliki ketertelusuran. Tujuan kalibrasi adalah mengetahui apakah alat masih memberikan hasil yang sesuai dengan batas yang diterima. Kalibrasi tidak selalu berarti memperbaiki alat. Kalibrasi menghasilkan informasi tentang penyimpangan alat dan apakah alat masih layak digunakan.

Kalibrasi penting karena alat ukur dapat berubah kinerjanya seiring penggunaan. Alat dapat aus, terjatuh, terkena panas, lembap, debu, getaran, atau digunakan melebihi kapasitas. Perubahan kecil pada alat dapat menghasilkan kesalahan data. Dalam pekerjaan teknik, kesalahan data dapat menyebabkan salah diagnosis, salah perhitungan, salah material, atau salah tindakan perbaikan.

Prinsip pertama dalam kalibrasi adalah ketertelusuran. Ketertelusuran berarti hasil kalibrasi dapat dihubungkan dengan standar acuan melalui rantai pembandingan yang terdokumentasi. Ketertelusuran membuat hasil pengukuran lebih dapat dipercaya. Dalam praktik pendidikan, mahasiswa perlu memahami bahwa alat yang digunakan untuk pengujian penting sebaiknya memiliki status kalibrasi yang jelas.

Prinsip kedua adalah interval kalibrasi. Interval kalibrasi adalah jarak waktu antara satu kalibrasi dan kalibrasi berikutnya. Interval tidak selalu sama untuk semua alat. Alat yang sering digunakan, digunakan pada kondisi berat, atau digunakan untuk pengukuran kritis mungkin membutuhkan interval lebih pendek. Alat yang jarang digunakan dan disimpan dengan baik mungkin memiliki interval lebih panjang. Penentuan interval perlu mempertimbangkan risiko penggunaan alat.

Prinsip ketiga adalah label atau identitas kalibrasi. Alat ukur perlu memiliki identitas yang jelas, seperti nomor alat, tanggal kalibrasi, tanggal jatuh tempo, status layak pakai, dan pihak yang melakukan kalibrasi. Label ini membantu pengguna mengetahui apakah alat dapat digunakan. Mahasiswa perlu dibiasakan memeriksa label kalibrasi sebelum menggunakan alat untuk pengukuran penting.

Prinsip keempat adalah penanganan alat. Alat yang telah dikalibrasi tetap dapat menghasilkan data buruk jika digunakan atau disimpan secara salah. Alat perlu dibersihkan, disimpan pada tempat yang sesuai, dilindungi dari benturan, dan digunakan sesuai petunjuk. Jika alat jatuh atau mengalami kerusakan, status kalibrasinya perlu diperiksa ulang.

Prinsip kelima adalah pencatatan hasil kalibrasi. Catatan kalibrasi membantu menelusuri kondisi alat. Catatan tersebut dapat memuat hasil pembandingan, penyimpangan, ketidakpastian, status penerimaan, dan rekomendasi penggunaan. JCGM 100:2008 memberikan panduan umum untuk mengevaluasi dan menyatakan ketidakpastian pengukuran, sehingga hasil pengukuran tidak dipahami sebagai angka tunggal tanpa konteks (Joint Committee for Guides in Metrology, 2008).

Prinsip keenam adalah keputusan layak pakai. Setelah kalibrasi, alat dapat dinyatakan layak, perlu penyesuaian, perlu perbaikan, atau tidak boleh digunakan. Keputusan ini harus dikaitkan dengan kebutuhan pengukuran. Alat yang tidak cukup baik untuk pengukuran kritis mungkin masih dapat digunakan untuk demonstrasi nonkritis. Namun, alat tersebut tidak boleh digunakan untuk menghasilkan data yang menjadi dasar keputusan teknis penting.

Dalam kegiatan vokasi, prinsip kalibrasi dapat diterapkan secara sederhana. Mahasiswa dapat memeriksa nol alat sebelum digunakan, membandingkan dua alat sejenis, menggunakan benda acuan sederhana, mencatat kondisi alat, dan melaporkan jika alat tidak stabil. Kegiatan ini bukan pengganti kalibrasi resmi, tetapi membantu mahasiswa memahami pentingnya keandalan alat ukur.

Contoh penerapan dapat dilihat pada pengujian kuat tekan beton. Mesin uji tekan harus memiliki status kalibrasi yang jelas karena hasilnya dapat menentukan penerimaan mutu beton. Jika mesin uji tidak terkalibrasi, data kuat tekan dapat diragukan. Pada pengukuran arus panel, clamp meter harus sesuai kapasitas dan dalam kondisi baik. Pada pengukuran suhu mesin, alat harus digunakan pada jarak dan kondisi permukaan yang sesuai. Pada pengukuran dimensi komponen, jangka sorong harus bersih, nolnya benar, dan rahang ukur tidak rusak.

Mahasiswa juga perlu memahami kesalahan umum dalam penggunaan alat ukur. Kesalahan tersebut meliputi salah memilih satuan, salah membaca skala, salah posisi alat, tidak menunggu nilai stabil, menekan alat terlalu kuat, menggunakan alat di luar rentang, tidak mencatat kondisi, dan tidak melakukan pengukuran ulang ketika hasil meragukan. Kesalahan seperti ini sering terjadi dalam praktikum dan dapat mengganggu validitas data.

Pada akhirnya, pemilihan alat ukur dan prinsip kalibrasi merupakan fondasi data teknik yang dapat dipercaya. Data yang baik tidak hanya berasal dari alat yang mahal. Data yang baik berasal dari alat yang sesuai, digunakan dengan benar, memiliki status kalibrasi yang jelas, dan dicatat secara lengkap. Mahasiswa vokasi perlu

memahami prinsip ini agar hasil pengukuran dapat digunakan sebagai bukti teknis dalam *problem solving*.

Pemilihan alat ukur harus mempertimbangkan jenis besaran, rentang ukur, resolusi, akurasi, presisi, kondisi lingkungan, keselamatan, kompetensi operator, status kalibrasi, dan kesiapan alat. Kalibrasi merupakan proses perbandingan alat ukur dengan acuan untuk mengetahui kelayakan hasil pengukuran. Prinsip penting dalam kalibrasi meliputi ketertelusuran, interval kalibrasi, identitas alat, penanganan alat, pencatatan hasil, dan keputusan layak pakai. Dalam *problem solving* teknik terapan, alat ukur yang sesuai dan terkalibrasi membantu menghasilkan data yang valid, reliabel, dan dapat dipertanggungjawabkan.

D. Teknik *Sampling* dan Kecukupan Data

Sampling adalah proses memilih sebagian objek, titik, waktu, atau unit pengamatan untuk mewakili kondisi yang lebih luas. Dalam pekerjaan teknik, *sampling* diperlukan karena sering tidak mungkin memeriksa seluruh objek. Mahasiswa mungkin tidak dapat menguji semua material, mengukur seluruh titik saluran, memeriksa semua sambungan, atau mengamati seluruh waktu operasi mesin. Karena itu, sampel dipilih agar data yang diperoleh cukup untuk mendukung analisis.

Sampling harus dilakukan secara terencana. Sampel yang dipilih secara asal dapat menghasilkan kesimpulan yang keliru. Jika sampel hanya diambil dari titik yang mudah dijangkau, kondisi bermasalah di titik lain dapat terabaikan. Jika sampel hanya diambil saat kondisi normal, masalah yang muncul saat beban puncak tidak akan terlihat. Jika sampel terlalu sedikit, pola masalah sulit dibaca. Oleh karena itu, teknik *sampling* dan kecukupan data perlu dipahami sebelum pengumpulan data dilakukan.

Dalam inspeksi mutu, ISO 2859-1:2026 mengatur skema *sampling* penerimaan berdasarkan Acceptance Quality Limit atau AQL untuk inspeksi atribut lot demi lot (International Organization for Standardization, 2026). Standar ini menunjukkan bahwa *sampling* dapat menjadi dasar keputusan mutu jika dilakukan dengan aturan

yang jelas. Dalam pendidikan vokasi, mahasiswa tidak selalu harus menggunakan skema AQL secara lengkap. Namun, mahasiswa perlu memahami prinsip bahwa jumlah sampel, cara memilih sampel, dan kriteria penerimaan harus ditentukan secara rasional.

Sampling dalam pekerjaan teknik dapat dilakukan berdasarkan beberapa pendekatan. Pendekatan pertama adalah *sampling* acak. Pada *sampling* acak, setiap unit memiliki peluang yang sama untuk dipilih. Pendekatan ini cocok jika populasi relatif seragam dan setiap unit dapat diakses. Contohnya adalah memilih beberapa benda kerja dari satu batch produksi untuk diperiksa dimensinya.

Pendekatan kedua adalah *sampling* sistematis. Pada *sampling* sistematis, sampel dipilih berdasarkan interval tertentu. Contohnya adalah memeriksa setiap produk ke-10, mengukur elevasi saluran setiap 5 meter, atau mencatat suhu mesin setiap 10 menit. *Sampling* sistematis mudah diterapkan dan membantu menghasilkan data yang teratur. Namun, mahasiswa perlu memastikan interval tidak bertepatan dengan pola tertentu yang dapat membuat data bias.

Pendekatan ketiga adalah *sampling* stratifikasi. Pada *sampling* stratifikasi, populasi dibagi ke dalam kelompok atau strata, lalu sampel diambil dari setiap kelompok. Pendekatan ini cocok jika objek memiliki variasi yang jelas. Misalnya, kerusakan jalan dapat dibagi berdasarkan segmen ringan, sedang, dan berat. Material dapat dibagi berdasarkan pemasok. Area kerja dapat dibagi berdasarkan zona. Dengan *sampling* stratifikasi, setiap kelompok penting tetap terwakili.

Pendekatan keempat adalah *sampling* purposif. Pada *sampling* purposif, sampel dipilih karena dianggap relevan dengan masalah. Pendekatan ini sering digunakan dalam observasi lapangan awal. Misalnya, mahasiswa memilih titik genangan paling parah, panel yang sering trip, mesin yang sering panas, atau area kerja dengan risiko tertinggi. *Sampling* purposif berguna untuk memahami masalah kritis, tetapi tidak boleh digunakan untuk membuat generalisasi luas tanpa data tambahan.

Pendekatan kelima adalah *sampling* waktu. Pada *sampling* waktu, data dikumpulkan pada waktu tertentu untuk melihat perubahan kondisi. Contohnya adalah pengukuran arus saat beban puncak, suhu mesin selama operasi, debit saluran saat hujan, atau produktivitas selama jam kerja. *Sampling* waktu penting untuk kondisi dinamis karena satu kali pengukuran sering tidak cukup.

Pendekatan keenam adalah *sampling* lokasi. Pada *sampling* lokasi, data diambil dari beberapa titik ruang atau area. Contohnya adalah pengukuran kebisingan pada beberapa titik bengkel, pengukuran pencahayaan di beberapa area studio, pengukuran elevasi saluran pada beberapa titik, atau pemeriksaan retak pada beberapa zona struktur. *Sampling* lokasi membantu membaca variasi spasial.

Pendekatan ketujuh adalah *sampling* dokumen. Pada *sampling* dokumen, mahasiswa memilih sejumlah dokumen untuk diperiksa. Contohnya adalah laporan harian, checklist inspeksi, catatan perawatan, hasil uji, berita acara, atau log alat. *Sampling* dokumen berguna jika data historis sangat banyak. Mahasiswa perlu memilih dokumen berdasarkan periode, relevansi, dan kelengkapan. Tabel 25 menyajikan teknik *sampling* yang dapat digunakan dalam pekerjaan teknik terapan.

Tabel 25. Teknik *Sampling* dalam Pekerjaan Teknik Terapan

Teknik <i>Sampling</i>	Karakter Utama	Contoh Penerapan	Kelebihan	Keterbatasan
Acak	Sampel dipilih tanpa pola tertentu dan setiap unit memiliki peluang yang sama	Memilih benda kerja dari satu batch untuk pemeriksaan dimensi	Mengurangi bias pemilihan	Membutuhkan daftar unit yang jelas
Sistematik	Sampel dipilih berdasarkan interval tertentu	Mengukur elevasi saluran setiap 5 meter atau mencatat suhu setiap 10 menit	Mudah diterapkan dan data teratur	Dapat bias jika interval bertepatan dengan pola tertentu
Stratifikasi	Populasi dibagi ke dalam kelompok, lalu sampel diambil dari tiap kelompok	Memeriksa kerusakan jalan berdasarkan segmen ringan, sedang, dan berat	Mewakili variasi antar kelompok	Membutuhkan pengelompokan awal yang jelas
Purposif	Sampel dipilih karena relevan dengan masalah	Memeriksa titik genangan paling parah atau panel	Efektif untuk	Tidak cukup untuk generalisasi luas

Teknik Sampling	Karakter Utama	Contoh Penerapan	Kelebihan	Keterbatasan
		yang paling sering trip	masalah kritis	
Waktu	Sampel diambil pada periode atau interval waktu tertentu	Mengukur arus saat beban puncak atau suhu mesin selama operasi	Membaca perubahan kondisi dinamis	Membutuhkan pengamatan berulang
Lokasi	Sampel diambil dari beberapa titik ruang atau area	Mengukur kebisingan di beberapa titik bengkel	Membaca variasi spasial	Titik ukur harus ditentukan dengan hati-hati
Dokumen	Sampel diambil dari arsip atau catatan teknis	Memeriksa laporan perawatan selama tiga bulan terakhir	Berguna untuk analisis riwayat	Bergantung pada kelengkapan dokumen

Tabel 25 menunjukkan bahwa teknik *sampling* harus dipilih berdasarkan karakter masalah. Masalah yang bersifat lokasi membutuhkan *sampling* lokasi. Masalah yang berubah berdasarkan waktu membutuhkan *sampling* waktu. Masalah yang melibatkan banyak unit produk dapat menggunakan *sampling* acak atau sistematis. Masalah yang memiliki beberapa kelompok kondisi dapat menggunakan stratifikasi. Masalah kritis yang perlu dipahami cepat dapat menggunakan *sampling* purposif.

Kecukupan data adalah kondisi ketika data yang dikumpulkan sudah cukup untuk mendukung analisis dan keputusan. Kecukupan data tidak selalu berarti data harus banyak. Data yang banyak tetapi tidak relevan tidak membantu analisis. Data yang sedikit tetapi tepat, akurat, dan sesuai tujuan dapat lebih berguna. Namun, untuk masalah yang kompleks, data yang terlalu sedikit dapat menyebabkan kesimpulan lemah.

Kecukupan data dipengaruhi oleh beberapa faktor. Faktor pertama adalah tujuan analisis. Jika tujuan hanya identifikasi awal, data sederhana dapat cukup. Jika tujuan adalah menentukan keputusan teknis penting, data harus lebih kuat. Faktor kedua adalah variasi kondisi. Semakin bervariasi kondisi lapangan, semakin banyak sampel yang dibutuhkan. Faktor ketiga adalah risiko keputusan. Jika keputusan memiliki risiko tinggi, data harus lebih lengkap dan valid. Faktor keempat adalah standar atau prosedur yang digunakan. Beberapa pengujian memiliki ketentuan jumlah sampel tertentu.

Faktor kelima adalah ketersediaan sumber daya. Waktu, biaya, alat, dan akses lokasi memengaruhi jumlah data yang dapat dikumpulkan. Namun, keterbatasan sumber daya tidak boleh menjadi alasan untuk membuat kesimpulan yang terlalu kuat. Jika data terbatas, mahasiswa perlu menyatakan keterbatasan tersebut dalam laporan. Kesimpulan harus sesuai dengan kekuatan data.

Mahasiswa dapat menilai kecukupan data melalui beberapa pertanyaan. Pertama, apakah data menjawab rumusan masalah. Kedua, apakah data dapat menguji asumsi teknis. Ketiga, apakah data mewakili lokasi, waktu, atau unit yang relevan. Keempat, apakah data dapat dibandingkan dengan standar atau rencana. Kelima, apakah data memiliki satuan, waktu, lokasi, dan alat yang jelas. Keenam, apakah data yang meragukan sudah diperiksa ulang.

Contoh kecukupan data dapat dilihat pada kasus genangan saluran. Satu foto genangan belum cukup untuk menyimpulkan penyebab. Data yang lebih cukup dapat mencakup lokasi genangan, waktu kejadian, kondisi hujan, dimensi saluran, kondisi inlet, sedimentasi, elevasi sederhana, arah aliran, dan dokumentasi outlet. Jika data tersebut tersedia, mahasiswa dapat mulai menyusun analisis yang lebih kuat.

Pada kasus mesin panas, satu pengukuran suhu juga belum cukup. Data yang lebih baik mencakup suhu awal, suhu setelah 10 menit, 20 menit, dan 30 menit, beban kerja, kondisi ventilasi, riwayat perawatan, kondisi pelumasan, dan data getaran jika tersedia. Dengan data waktu, mahasiswa dapat melihat pola kenaikan suhu. Dengan data kondisi, mahasiswa dapat menguji kemungkinan penyebab.

Pada kasus panel listrik sering trip, data perlu dikumpulkan saat kondisi operasi yang relevan. Data dapat mencakup arus setiap fasa, tegangan, beban yang menyala, waktu terjadinya trip, suhu panel, kondisi sambungan, kapasitas proteksi, dan riwayat gangguan. Jika pengukuran hanya dilakukan saat beban rendah, masalah saat beban puncak mungkin tidak terlihat.

Sampling juga harus memperhatikan keselamatan. Beberapa sampel atau titik ukur mungkin berada di area berbahaya. Jika titik

tersebut tidak aman, mahasiswa tidak boleh memaksakan pengambilan data. Data dapat diperoleh melalui jarak aman, alat bantu, dokumen, atau pendamping berwenang. Keselamatan tetap menjadi batas utama dalam pengumpulan data.

Dalam kegiatan vokasi, dosen dapat melatih mahasiswa membuat rencana *sampling* sederhana. Rencana tersebut memuat populasi atau objek, teknik *sampling*, jumlah sampel, lokasi atau waktu pengambilan, alat yang digunakan, alasan pemilihan, dan keterbatasan data. Rencana ini membantu mahasiswa memahami bahwa *sampling* harus dirancang, bukan dilakukan secara spontan.

Mahasiswa juga perlu memahami potensi bias *sampling*. Bias terjadi ketika sampel tidak mewakili kondisi yang ingin dianalisis. Bias dapat muncul karena hanya memilih titik yang mudah dijangkau, hanya mengambil data saat kondisi normal, menghindari titik yang sulit, memilih sampel berdasarkan dugaan pribadi, atau mengabaikan data yang tidak sesuai harapan. Bias *sampling* dapat membuat kesimpulan salah.

Untuk mengurangi bias, mahasiswa dapat menggunakan beberapa strategi. Pertama, tentukan kriteria pemilihan sampel sebelum turun ke lapangan. Kedua, gunakan kode titik atau unit agar sampel dapat ditelusuri. Ketiga, ambil sampel dari beberapa lokasi atau waktu jika kondisi bervariasi. Keempat, catat alasan pemilihan sampel. Kelima, laporkan keterbatasan jika sampel tidak sepenuhnya mewakili kondisi.

Dalam laporan teknis, mahasiswa harus menjelaskan teknik *sampling* yang digunakan. Penjelasan tersebut mencakup jumlah sampel, lokasi, waktu, alasan pemilihan, alat yang digunakan, dan batasan data. Penjelasan ini penting agar pembaca dapat menilai kekuatan bukti. Laporan yang hanya menampilkan hasil tanpa menjelaskan cara pengambilan data akan sulit dinilai secara ilmiah.

Pada akhirnya, teknik *sampling* dan kecukupan data menentukan kekuatan analisis. Data yang cukup, relevan, dan dikumpulkan dengan teknik yang tepat akan membantu mahasiswa menguji asumsi, menemukan pola, dan menyusun solusi. Data yang tidak cukup harus

dinyatakan secara jujur agar kesimpulan tidak melebihi bukti. Dalam *problem solving* teknik terapan, keputusan yang baik selalu bergantung pada kualitas dan kecukupan data.

Sampling adalah proses memilih sebagian objek, titik, waktu, atau unit pengamatan untuk mewakili kondisi yang lebih luas. Teknik *sampling* dalam pekerjaan teknik dapat berupa acak, sistematis, stratifikasi, purposif, waktu, lokasi, dan dokumen. Kecukupan data ditentukan oleh tujuan analisis, variasi kondisi, risiko keputusan, standar yang digunakan, dan sumber daya. Data yang cukup harus relevan, dapat menguji asumsi, mewakili kondisi penting, dapat dibandingkan, dan dapat ditelusuri. Jika data terbatas, keterbatasan tersebut harus ditulis secara jujur dalam laporan.

E. Dokumentasi Foto, Video, Formulir, dan Log Digital

Dokumentasi merupakan bagian penting dalam pengumpulan data lapangan dan bukti teknis. Dalam pekerjaan teknik, dokumentasi berfungsi sebagai bukti kondisi, catatan proses, dasar analisis, alat komunikasi, dan arsip keputusan. Tanpa dokumentasi yang baik, data lapangan mudah hilang, sulit diverifikasi, dan lemah sebagai dasar *problem solving*. Oleh karena itu, mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami cara membuat dokumentasi foto, video, formulir, dan log digital secara sistematis.

Dokumentasi tidak boleh dipahami sebagai pelengkap laporan semata. Dokumentasi adalah bagian dari bukti teknis. Foto dapat menunjukkan kondisi fisik. Video dapat menunjukkan proses atau perubahan kondisi. Formulir dapat mencatat hasil pengamatan dan pengukuran. Log digital dapat menyimpan data waktu nyata, riwayat kejadian, atau data sensor. Semua bentuk dokumentasi tersebut membantu mahasiswa menelusuri masalah secara lebih jelas.

Dalam pekerjaan teknik terapan, dokumentasi sering digunakan untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah tindakan. Misalnya, foto saluran sebelum dan sesudah pembersihan dapat menunjukkan perubahan hambatan aliran. Video getaran mesin dapat membantu menunjukkan pola gangguan. Formulir inspeksi panel dapat menunjukkan kondisi sambungan, suhu, dan kebersihan ruang.

Log digital dapat menunjukkan kapan alarm muncul, kapan suhu naik, atau kapan arus melebihi batas normal.

ISO 15489-1:2016 menjelaskan konsep dan prinsip dalam pembuatan, penangkapan, dan pengelolaan rekod atau arsip kegiatan organisasi (International Organization for Standardization, 2016). Prinsip ini relevan dengan pekerjaan teknik karena dokumentasi lapangan perlu dibuat, disimpan, dan dikelola agar dapat ditelusuri kembali. Dalam konteks vokasi, mahasiswa perlu memahami bahwa dokumentasi yang baik harus jelas, lengkap, diberi identitas, dan mudah digunakan kembali untuk analisis.

Dokumentasi foto merupakan bentuk dokumentasi yang paling sering digunakan dalam observasi lapangan. Foto dapat menunjukkan kerusakan, posisi objek, kondisi lingkungan, alat yang digunakan, hasil pekerjaan, atau gejala masalah. Namun, foto yang tidak diberi keterangan sering sulit digunakan sebagai bukti. Foto perlu dilengkapi dengan informasi lokasi, waktu, objek, arah pengambilan, kode titik, dan penjelasan singkat.

Foto yang baik harus fokus pada objek yang relevan. Jika objek terlalu jauh, kerusakan mungkin tidak terlihat. Jika foto terlalu dekat tanpa konteks, lokasi kerusakan sulit diketahui. Oleh karena itu, mahasiswa sebaiknya mengambil foto dalam tiga tingkat. Pertama, foto konteks untuk menunjukkan lokasi umum. Kedua, foto objek untuk menunjukkan bagian yang bermasalah. Ketiga, foto detail untuk menunjukkan gejala secara lebih dekat. Pola ini membantu pembaca memahami hubungan antara lokasi, objek, dan gejala.

Dalam kasus retak beton, foto konteks dapat menunjukkan posisi elemen dalam bangunan. Foto objek dapat menunjukkan bidang beton yang retak. Foto detail dapat menunjukkan pola, panjang, lebar, dan arah retak. Jika memungkinkan, gunakan alat bantu skala seperti penggaris atau meteran agar ukuran retak dapat diperkirakan. Tanpa skala, foto retak sulit dinilai secara teknis.

Dokumentasi video digunakan ketika kondisi yang diamati bersifat dinamis. Video dapat menunjukkan aliran air, suara mesin, getaran, pergerakan alat, prosedur kerja, kebocoran, perubahan suhu pada

layar alat, atau aktivitas yang sulit dijelaskan melalui foto. Video sangat berguna untuk masalah yang muncul hanya saat sistem beroperasi. Namun, video harus dibuat secara terarah. Video yang terlalu panjang tanpa keterangan akan sulit dianalisis.

Video lapangan perlu diberi identitas. Mahasiswa dapat menyebutkan tanggal, lokasi, objek, dan kondisi saat perekaman. Jika tidak ingin merekam suara, identitas dapat ditulis dalam catatan pendamping. Video juga perlu diberi nama file yang jelas. Contoh nama file yang baik adalah “V01_Drainase_ParkirUtara_SetelahHujan_2026-07-05.” Nama seperti ini lebih berguna daripada nama otomatis dari kamera.

Formulir merupakan alat dokumentasi yang membantu pencatatan data secara terstruktur. Formulir dapat berupa lembar observasi, checklist inspeksi, tabel pengukuran, daftar bahaya, lembar wawancara teknis, atau catatan pengujian. Formulir membantu mahasiswa mencatat data yang sama secara konsisten. Dengan formulir, data tidak hanya bergantung pada ingatan atau catatan bebas yang tidak seragam.

Formulir yang baik harus memuat identitas kegiatan, lokasi, tanggal, nama pencatat, alat yang digunakan, parameter yang diamati, hasil pengamatan, satuan, kondisi lapangan, dan catatan khusus. Jika formulir digunakan untuk inspeksi, formulir perlu memuat kriteria pemeriksaan. Jika formulir digunakan untuk pengukuran, formulir perlu memuat satuan dan kode titik ukur. Jika formulir digunakan untuk wawancara teknis, formulir perlu memuat pertanyaan dan sumber informasi.

Checklist merupakan salah satu bentuk formulir yang praktis. Checklist digunakan untuk memastikan unsur penting tidak terlewat. Namun, checklist tidak boleh hanya berisi tanda centang tanpa catatan. Untuk pekerjaan teknik, checklist sebaiknya dilengkapi kolom keterangan, bukti foto, tindakan awal, dan penanggung jawab. Dengan demikian, checklist menjadi bukti kerja, bukan hanya daftar administratif.

Log digital merupakan catatan berbasis sistem elektronik. Log dapat berasal dari sensor, data logger, perangkat lunak, mesin, panel kontrol, sistem *monitoring*, aplikasi inspeksi, atau formulir digital. Log digital penting karena dapat mencatat data berdasarkan waktu. Contohnya adalah suhu mesin setiap menit, arus panel saat beban puncak, status alarm, penggunaan energi, downtime mesin, atau progres pekerjaan harian.

Keunggulan log digital adalah kemampuannya menyimpan data dalam jumlah besar dan berulang. Data tersebut dapat digunakan untuk melihat pola, tren, anomali, dan waktu kejadian. Namun, log digital tetap perlu diperiksa. Data digital dapat salah karena sensor rusak, konfigurasi keliru, jam sistem tidak sinkron, input manusia salah, atau data terhapus. Oleh karena itu, mahasiswa perlu memvalidasi log digital dengan kondisi lapangan dan dokumen pendukung.

Dalam laboratorium pengujian dan kalibrasi, ISO/IEC 17025:2017 menekankan pentingnya kompetensi dan konsistensi operasi agar hasil dapat dipercaya (International Organization for Standardization, 2017). Prinsip ini juga berlaku pada dokumentasi data lapangan. Hasil pengukuran, foto, video, formulir, dan log digital harus dibuat dengan prosedur yang jelas agar dapat digunakan sebagai bukti teknis. Tabel 26 menyajikan perbandingan fungsi foto, video, formulir, dan log digital dalam pengumpulan bukti teknis.

Tabel 26. Fungsi Dokumentasi Foto, Video, Formulir, dan Log Digital dalam Pekerjaan Teknik Terapan

Bentuk Dokumentasi	Fungsi Utama	Contoh Penggunaan	Informasi Wajib yang Perlu Dicatat	Risiko Jika Tidak Terkelola
Foto	Menunjukkan kondisi fisik, lokasi, objek, dan gejala masalah	Foto retak beton, genangan, kabel berserakan, alat rusak, atau material tidak sesuai	Lokasi, waktu, kode titik, arah pengambilan, objek, dan keterangan singkat	Foto sulit ditafsirkan, tidak dapat ditelusuri, atau tidak cukup sebagai bukti
Video	Menunjukkan proses, gerakan, perubahan kondisi, suara,	Video aliran air, getaran mesin, kebocoran pipa, proses	Lokasi, waktu, durasi, kondisi operasi, objek, dan catatan kejadian	Video terlalu panjang, tidak fokus, sulit dianalisis, atau

Bentuk Dokumentasi	Fungsi Utama	Contoh Penggunaan	Informasi Wajib yang Perlu Dicatat	Risiko Jika Tidak Terkelola
	atau kejadian dinamis	kerja, atau alarm sistem		kehilangan konteks
Formulir	Mencatat data secara terstruktur dan konsisten	Form observasi, checklist inspeksi, tabel pengukuran, atau lembar wawancara	Identitas kegiatan, parameter, satuan, hasil, alat, pencatat, dan catatan khusus	Data tidak lengkap, tidak seragam, atau sulit dibandingkan
Log digital	Menyimpan data elektronik berdasarkan waktu, sistem, atau sensor	Log suhu, arus, alarm, downtime, energi, atau progres digital	Sumber data, waktu, satuan, interval pencatatan, perangkat, dan status sistem	Data salah karena sensor rusak, input keliru, waktu tidak sinkron, atau file hilang

Tabel 26 menunjukkan bahwa setiap bentuk dokumentasi memiliki fungsi dan risiko yang berbeda. Foto kuat untuk menunjukkan kondisi fisik. Video kuat untuk menunjukkan proses dinamis. Formulir kuat untuk mencatat data secara terstruktur. Log digital kuat untuk membaca pola waktu. Keempatnya dapat saling melengkapi. Dalam banyak kasus, bukti teknis yang kuat tidak cukup hanya menggunakan satu bentuk dokumentasi.

Dalam pengelolaan dokumentasi, penamaan file sangat penting. Nama file harus mudah ditelusuri. Nama file sebaiknya memuat kode kegiatan, lokasi, objek, tanggal, dan nomor urut. Contohnya adalah “F03_RetakBalok_LabStruktur_2026-07-05.” Penamaan seperti ini membantu mahasiswa mencari file saat analisis dan penulisan laporan. Jika file masih menggunakan nama otomatis seperti “IMG_2034,” dokumen akan sulit dikelola.

Selain penamaan file, struktur folder juga perlu diperhatikan. Folder dapat dibagi berdasarkan tanggal, lokasi, jenis data, atau subkegiatan. Contohnya adalah folder “Foto,” “Video,” “Formulir,” “Log Digital,” dan “Dokumen Pendukung.” Struktur folder yang jelas membantu tim bekerja lebih efisien. Dalam proyek kelompok, struktur folder mencegah data tercecer atau tertimpa.

Dokumentasi juga perlu dilengkapi metadata. Metadata adalah informasi tentang data. Metadata dapat berupa tanggal, waktu, lokasi, alat, operator, satuan, kondisi lingkungan, dan metode pengambilan

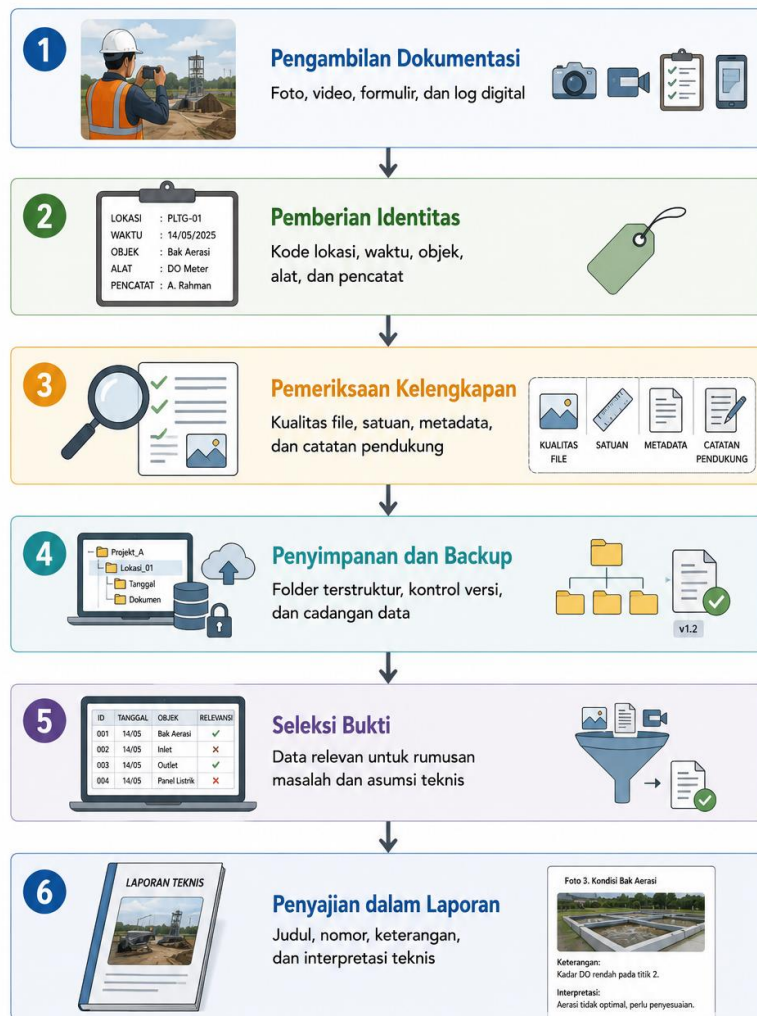
data. Metadata membantu pembaca memahami konteks data. Tanpa metadata, data dapat kehilangan makna teknis. Misalnya, angka suhu 90 derajat Celsius tidak cukup jika tidak diketahui titik ukur, waktu operasi, alat ukur, dan kondisi beban.

Dalam praktik lapangan, mahasiswa harus menjaga keaslian dokumentasi. Foto, video, formulir, dan log digital tidak boleh dimanipulasi untuk mengubah makna teknis. Pengolahan gambar sederhana seperti memperjelas kontras dapat dilakukan jika tidak mengubah isi. Namun, penghapusan objek, perubahan angka, atau pemotongan konteks yang menyesatkan tidak dapat diterima. Integritas dokumentasi adalah bagian dari etika teknik.

Dokumentasi juga harus memperhatikan privasi dan izin. Beberapa lokasi kerja tidak boleh difoto atau direkam tanpa persetujuan. Beberapa data teknis dapat bersifat rahasia, seperti layout fasilitas, panel kontrol, data produksi, atau informasi pelanggan. Mahasiswa perlu meminta izin sebelum mengambil dokumentasi di area terbatas. Jika data digunakan untuk laporan, identitas organisasi atau individu dapat disamarkan sesuai ketentuan.

Dokumentasi lapangan perlu diperiksa setelah kegiatan selesai. Pemeriksaan meliputi kelengkapan file, kualitas foto, keterbacaan formulir, kesesuaian nama file, dan keamanan penyimpanan. Data penting sebaiknya dicadangkan. Jika dokumentasi hanya tersimpan pada satu perangkat, risiko kehilangan data menjadi tinggi. Cadangan dapat dibuat pada penyimpanan lokal, penyimpanan institusi, atau sistem yang disetujui.

Dalam laporan teknik, dokumentasi harus disajikan secara selektif. Tidak semua foto atau data log perlu dimasukkan ke laporan utama. Pilih dokumentasi yang paling relevan dengan masalah, asumsi, analisis, dan solusi. Dokumentasi lain dapat dimasukkan sebagai lampiran. Setiap dokumentasi yang ditampilkan harus memiliki judul, nomor, keterangan, dan rujukan dalam teks.



Gambar 9. Alur Pengelolaan Dokumentasi Lapangan sebagai Bukti Teknis

Gambar 8 menjelaskan bahwa dokumentasi lapangan tidak berhenti pada pengambilan foto, video, formulir, atau log digital. Dokumentasi perlu diberi identitas, diperiksa kelengkapannya, disimpan dengan baik, dipilih sesuai relevansi, dan disajikan secara benar dalam laporan. Alur ini membantu mahasiswa menjaga bukti teknis agar dapat digunakan dalam analisis dan pengambilan keputusan.

Pada akhirnya, dokumentasi foto, video, formulir, dan log digital merupakan bagian penting dari pengumpulan data lapangan. Dokumentasi yang baik membantu mahasiswa membuktikan kondisi, menjelaskan proses, menelusuri keputusan, dan menyusun laporan yang dapat dipercaya. Dokumentasi yang buruk dapat melemahkan analisis meskipun pengamatan lapangan sudah dilakukan. Oleh karena itu, mahasiswa perlu membangun kebiasaan dokumentasi yang teliti, objektif, dan bertanggung jawab.

Dokumentasi foto, video, formulir, dan log digital berfungsi sebagai bukti teknis dalam *problem solving* teknik terapan. Foto menunjukkan kondisi fisik. Video menunjukkan proses dinamis. Formulir mencatat data secara terstruktur. Log digital menunjukkan data berbasis waktu atau sistem. Dokumentasi harus dilengkapi identitas, metadata, keterangan, dan penyimpanan yang baik. Mahasiswa juga perlu menjaga keaslian data, meminta izin dokumentasi, memperhatikan privasi, dan memilih bukti yang relevan untuk laporan.

F. Validitas, Reliabilitas, dan Etika Penggunaan Data Lapangan

Validitas, reliabilitas, dan etika merupakan tiga aspek penting dalam penggunaan data lapangan. Data yang dikumpulkan tidak hanya harus banyak, tetapi juga harus benar, konsisten, dan digunakan secara bertanggung jawab. Dalam *problem solving* teknik terapan, data menjadi dasar untuk menguji asumsi, menentukan akar masalah, memilih solusi, dan mengevaluasi hasil. Jika data tidak valid, tidak reliabel, atau diperoleh dengan cara yang tidak etis, maka keputusan teknis dapat menjadi lemah.

Validitas menunjukkan sejauh mana data benar-benar mengukur atau menggambarkan hal yang ingin diketahui. Data disebut valid jika sesuai dengan tujuan pengukuran dan relevan dengan masalah. Misalnya, jika masalah yang dianalisis adalah kenaikan suhu mesin, maka data suhu pada titik yang tepat dan saat mesin beroperasi menjadi data yang valid. Sebaliknya, data suhu ruang secara umum belum tentu valid untuk menjelaskan suhu bearing atau motor.

Dalam pekerjaan teknik, validitas berkaitan dengan kesesuaian antara rumusan masalah, parameter yang diukur, alat yang digunakan, metode pengambilan data, dan kondisi lapangan. Jika salah satu unsur tidak sesuai, validitas data dapat menurun. Contohnya adalah mengukur arus panel saat beban rendah, padahal masalah trip terjadi saat beban puncak. Data tersebut mungkin benar secara pembacaan, tetapi kurang valid untuk menjelaskan masalah.

Reliabilitas menunjukkan konsistensi data jika pengukuran atau pengamatan dilakukan berulang dalam kondisi yang sama. Data yang reliabel menghasilkan hasil yang relatif stabil ketika metode, alat, dan kondisi serupa digunakan. Reliabilitas penting karena keputusan teknik membutuhkan data yang dapat dipercaya. Jika hasil pengukuran berubah-ubah tanpa alasan jelas, maka data perlu diperiksa ulang.

Reliabilitas dapat dipengaruhi oleh alat, operator, metode, lingkungan, dan objek yang diukur. Alat yang tidak stabil dapat menghasilkan data yang tidak konsisten. Operator yang tidak terlatih dapat membaca hasil dengan cara berbeda. Metode yang tidak baku dapat membuat data antar tim tidak dapat dibandingkan. Lingkungan yang berubah dapat memengaruhi hasil pengukuran. Objek yang memang berubah secara dinamis juga perlu dipahami agar variasi data tidak salah ditafsirkan.

ISO 10012:2026 menekankan bahwa sistem manajemen pengukuran perlu memberi keyakinan terhadap validitas dan reliabilitas hasil pengukuran (International Organization for Standardization, 2026). Prinsip ini penting dalam pendidikan vokasi karena mahasiswa sering menggunakan data untuk membuat keputusan praktis. Jika data tidak valid dan tidak reliabel, proses *problem solving* dapat bergerak ke arah yang salah.

ISO/IEC 17025:2017 juga menekankan pentingnya hasil yang dapat dipercaya dalam kegiatan pengujian, *sampling*, dan kalibrasi (International Organization for Standardization, 2017). Dalam konteks lapangan, prinsip ini dapat diterapkan melalui penggunaan alat yang sesuai, prosedur pengambilan data yang jelas, pencatatan yang lengkap, dan pemeriksaan ulang terhadap data yang meragukan.

Validitas dan reliabilitas dapat ditingkatkan melalui beberapa cara. Pertama, rumusan masalah harus jelas. Data yang dikumpulkan harus sesuai dengan pertanyaan teknis yang ingin dijawab. Kedua, parameter harus tepat. Jangan mengukur data yang tidak berhubungan dengan masalah. Ketiga, alat harus sesuai dan layak pakai. Keempat, metode pengukuran harus konsisten. Kelima, data harus dicatat lengkap dengan satuan, lokasi, waktu, dan kondisi pengukuran. Keenam, data yang tidak wajar harus diperiksa ulang.

Selain validitas dan reliabilitas, mahasiswa perlu memahami etika penggunaan data. Etika penggunaan data berkaitan dengan kejujuran, tanggung jawab, privasi, izin, kerahasiaan, dan keadilan dalam mengumpulkan, menyimpan, menganalisis, dan menyajikan data. Dalam pekerjaan teknik, data tidak boleh dimanipulasi untuk mendukung kesimpulan tertentu. Data yang tidak sesuai harapan tetap harus dilaporkan.

Etika data sangat penting karena data teknik dapat berdampak pada keselamatan, mutu, biaya, dan keputusan organisasi. Mengubah data hasil uji, menghapus foto kerusakan, menyembunyikan hasil pengukuran, atau memilih hanya data yang mendukung kesimpulan merupakan tindakan tidak etis. Tindakan seperti ini dapat menyebabkan keputusan teknis yang salah dan merugikan banyak pihak.

Prinsip etika pertama adalah kejujuran data. Mahasiswa harus mencatat data sesuai hasil yang diperoleh. Jika terjadi kesalahan pengukuran, kesalahan tersebut perlu dicatat dan dijelaskan. Jika data hilang, mahasiswa harus menuliskan bahwa data tidak tersedia. Jika data tidak lengkap, mahasiswa tidak boleh membuat angka fiktif. Kejujuran data menjadi dasar integritas ilmiah dan profesional.

Prinsip etika kedua adalah transparansi metode. Laporan harus menjelaskan bagaimana data diperoleh. Pembaca perlu mengetahui alat yang digunakan, titik pengukuran, waktu, kondisi, jumlah sampel, dan batasan data. Transparansi metode membantu pembaca menilai kekuatan bukti. Tanpa informasi metode, data sulit dipercaya.

Prinsip etika ketiga adalah perlindungan privasi dan kerahasiaan. Data lapangan dapat memuat identitas orang, nama organisasi, lokasi sensitif, proses produksi, konfigurasi sistem, atau informasi internal. Mahasiswa perlu meminta izin sebelum menggunakan data. Jika diperlukan, data dapat dianonimkan. Misalnya, nama perusahaan dapat diganti dengan “Industri X” jika ada permintaan kerahasiaan.

Prinsip etika keempat adalah keamanan data. Data digital perlu disimpan dengan aman agar tidak hilang, rusak, atau diakses oleh pihak yang tidak berwenang. File perlu diberi nama jelas, disimpan dalam folder terstruktur, dan dicadangkan. Data yang bersifat sensitif perlu dibatasi aksesnya. Dalam pekerjaan teknik modern, keamanan data menjadi semakin penting karena banyak data tersimpan dalam sistem digital.

Prinsip etika kelima adalah penggunaan data sesuai tujuan. Data yang dikumpulkan untuk tugas atau penelitian tidak boleh digunakan untuk tujuan lain tanpa izin. Misalnya, foto fasilitas industri untuk tugas magang tidak boleh disebar di media sosial. Data pengukuran internal tidak boleh dipublikasikan tanpa persetujuan. Penggunaan data harus menghormati aturan institusi dan pihak pemberi data.

Prinsip etika keenam adalah pelaporan keterbatasan data. Tidak semua data lapangan sempurna. Ada data yang terbatas jumlahnya, kondisi pengukuran yang tidak ideal, alat yang kurang teliti, atau akses lokasi yang terbatas. Keterbatasan tersebut harus ditulis agar pembaca memahami batas kesimpulan. Menyembunyikan keterbatasan data dapat membuat laporan terlihat kuat, tetapi sebenarnya lemah secara ilmiah. Tabel 27 menyajikan hubungan antara validitas, reliabilitas, dan etika dalam penggunaan data lapangan.

Tabel 27. Validitas, Reliabilitas, dan Etika Penggunaan Data Lapangan

Aspek	Makna dalam Pekerjaan Teknik	Contoh Masalah	Cara Pengendalian
Validitas	Data sesuai dengan tujuan,	Mengukur arus panel saat beban	Menyesuaikan waktu, titik ukur, parameter,

Aspek	Makna dalam Pekerjaan Teknik	Contoh Masalah	Cara Pengendalian
	parameter, dan masalah yang dianalisis	rendah, padahal gangguan terjadi saat beban puncak	dan metode dengan rumusan masalah
Reliabilitas	Data konsisten jika pengukuran atau pengamatan dilakukan berulang dalam kondisi serupa	Hasil ukur dimensi berbeda jauh antar pengukur karena metode tidak seragam	Membakukan metode, melatih operator, menggunakan alat layak, dan melakukan pengukuran ulang
Ketertelusuran	Data memiliki sumber, waktu, lokasi, alat, dan pencatat yang jelas	Foto kerusakan tidak memiliki lokasi dan tanggal	Memberi kode data, metadata, nama file jelas, dan formulir pencatatan
Kejujuran data	Data dicatat sesuai kondisi sebenarnya tanpa manipulasi	Menghapus data yang tidak sesuai dugaan awal	Melaporkan semua data relevan dan menjelaskan data yang meragukan
Privasi dan kerahasiaan	Data orang, organisasi, lokasi, dan proses kerja dilindungi sesuai izin	Menyebarkan foto area industri tanpa persetujuan	Meminta izin, membatasi akses, dan menganonimkan informasi sensitif
Keamanan data	Data disimpan agar tidak hilang, rusak, atau diakses pihak tidak berwenang	File log digital hilang karena tidak dicadangkan	Membuat struktur folder, backup, kontrol akses, dan penamaan file
Keterbatasan data	Batas data dijelaskan agar kesimpulan tidak berlebihan	Menarik kesimpulan umum dari satu titik pengukuran	Menulis keterbatasan, menambah data jika perlu, dan membatasi ruang kesimpulan

Tabel 27 menunjukkan bahwa kualitas data tidak hanya ditentukan oleh alat ukur. Kualitas data juga ditentukan oleh kesesuaian data dengan masalah, konsistensi metode, ketertelusuran, kejujuran, perlindungan data, dan pelaporan keterbatasan. Dalam *problem solving* teknik terapan, seluruh aspek ini perlu diperhatikan agar keputusan teknis dapat dipertanggungjawabkan.

Validitas data dapat diperiksa melalui pertanyaan sederhana. Apakah data ini menjawab rumusan masalah. Apakah parameter yang diukur sesuai dengan asumsi teknis. Apakah pengukuran dilakukan pada lokasi dan waktu yang tepat. Apakah alat yang digunakan sesuai. Apakah kondisi pengukuran mendukung. Jika jawaban terhadap pertanyaan tersebut lemah, maka validitas data perlu diperbaiki.

Reliabilitas data dapat diperiksa melalui pengukuran ulang, perbandingan antar alat, perbandingan antar pengukur, atau pemeriksaan konsistensi data dari waktu ke waktu. Jika hasil pengukuran berbeda jauh tanpa alasan teknis, mahasiswa perlu mencari penyebabnya. Penyebab dapat berasal dari alat, metode, operator, lingkungan, atau objek yang memang berubah.

Etika penggunaan data perlu diterapkan sejak awal pengumpulan data. Mahasiswa harus meminta izin, menjelaskan tujuan pengumpulan data, tidak mengganggu pekerjaan, tidak mengambil data sensitif tanpa persetujuan, dan tidak menyebarkan data di luar kepentingan akademik. Etika tidak hanya berlaku saat laporan ditulis. Etika berlaku sejak data diambil, disimpan, dianalisis, dan disajikan.

Dalam laporan ilmiah, data perlu disajikan secara jujur. Jika ada data yang tidak digunakan, alasan penghapusannya perlu dijelaskan. Jika ada data pencilan, mahasiswa perlu memeriksa apakah data tersebut merupakan kesalahan atau justru menunjukkan gejala penting. Data pencilan tidak boleh langsung dibuang hanya karena tidak sesuai harapan. Dalam beberapa kasus, data pencilan justru menunjukkan masalah utama.

Penggunaan data juga perlu memperhatikan konteks. Data yang benar pada satu kondisi belum tentu berlaku pada kondisi lain. Misalnya, data arus listrik pada pagi hari tidak dapat langsung mewakili beban puncak malam hari. Data suhu mesin tanpa beban tidak dapat langsung mewakili kondisi operasi penuh. Data kualitas air satu kali *sampling* tidak dapat langsung menggambarkan kondisi sepanjang tahun. Mahasiswa perlu menulis konteks data agar pembaca tidak salah menafsirkan.

Dalam pendidikan vokasi, dosen dapat melatih validitas, reliabilitas, dan etika data melalui audit data sederhana. Mahasiswa diminta menukar laporan data dengan kelompok lain. Kelompok pemeriksa menilai apakah data memiliki satuan, lokasi, waktu, alat, metode, dan bukti pendukung. Pemeriksa juga menilai apakah data sesuai dengan rumusan masalah. Latihan ini membantu mahasiswa memahami bahwa data harus dapat diperiksa oleh orang lain.



Gambar 10. Hubungan Validitas, Reliabilitas, dan Etika dalam Penggunaan Data Lapangan

Gambar 9 menunjukkan bahwa bukti teknis yang dapat dipercaya harus didukung oleh validitas, reliabilitas, dan etika. Validitas memastikan data sesuai dengan masalah. Reliabilitas memastikan data konsisten dan dapat diperiksa ulang. Etika memastikan data diperoleh, disimpan, dianalisis, dan disajikan secara jujur serta bertanggung jawab. Jika salah satu unsur lemah, kualitas bukti teknis juga menurun.

Pada akhirnya, validitas, reliabilitas, dan etika menjadi dasar penting dalam penggunaan data lapangan. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami bahwa data bukan hanya angka, foto, atau catatan. Data adalah dasar keputusan teknis. Karena itu, data harus dikumpulkan dengan metode yang benar, diperiksa konsistensinya, dan digunakan secara jujur. Dengan cara ini, *problem solving* teknik terapan dapat menghasilkan solusi yang lebih aman, tepat, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Validitas menunjukkan kesesuaian data dengan tujuan dan masalah yang dianalisis. Reliabilitas menunjukkan konsistensi data jika pengukuran atau pengamatan dilakukan berulang dalam kondisi serupa. Etika penggunaan data mencakup kejujuran, transparansi metode, privasi, kerahasiaan, keamanan data, penggunaan sesuai tujuan, dan pelaporan keterbatasan. Data yang valid, reliabel, dan etis akan memperkuat bukti teknis dalam *problem solving* teknik terapan.

BAB 5

ANALISIS AKAR MASALAH DALAM KASUS KETEKNIKAN

Analisis akar masalah merupakan tahap penting setelah masalah dirumuskan dan data lapangan dikumpulkan. Pada tahap ini, mahasiswa tidak hanya menjawab pertanyaan “apa yang terjadi”, tetapi juga menelusuri “mengapa hal itu terjadi” dan “apa penyebab utama yang harus diperbaiki agar masalah tidak berulang.” Dalam pekerjaan teknik, kemampuan menemukan akar masalah sangat penting karena solusi yang hanya menangani gejala biasanya bersifat sementara.

Masalah teknik sering muncul dalam bentuk gejala yang mudah terlihat. Beton retak, mesin bergetar, panel listrik trip, hasil uji laboratorium tidak konsisten, proyek terlambat, biaya meningkat, dan produktivitas menurun merupakan contoh gejala. Gejala tersebut penting sebagai tanda awal. Namun, gejala belum tentu menunjukkan penyebab utama. Jika gejala langsung dijadikan dasar solusi, tindakan perbaikan dapat tidak tepat.

Sebagai contoh, genangan di area parkir dapat diatasi sementara dengan menyapu air menuju saluran. Tindakan ini dapat menghilangkan gejala untuk sementara waktu. Namun, jika akar masalahnya adalah saluran tersumbat sedimentasi, kemiringan saluran tidak cukup, atau kapasitas saluran lebih kecil dari debit limpasan, maka genangan akan muncul kembali. Contoh ini menunjukkan bahwa analisis akar masalah diperlukan agar tindakan perbaikan tidak hanya bersifat reaktif.

Dalam pekerjaan teknik, akar masalah dapat berasal dari banyak faktor. Akar masalah dapat berkaitan dengan manusia, alat, bahan, metode, lingkungan, desain, data, standar, komunikasi, pengawasan, atau sistem manajemen. Karena itu, analisis akar masalah tidak boleh dilakukan secara tergesa-gesa. Mahasiswa perlu mengumpulkan bukti, menguji asumsi, membandingkan data dengan standar, dan membedakan antara gejala, penyebab sementara, dan akar masalah.

ISO 9001:2015 menekankan pentingnya perbaikan, termasuk tindakan terhadap ketidaksesuaian dan tindakan korektif dalam sistem manajemen mutu (International Organization for Standardization, 2015).

Prinsip ini relevan dengan analisis akar masalah karena tindakan korektif yang baik harus diarahkan pada penyebab ketidaksesuaian, bukan hanya pada hasil yang tampak. Jika penyebab utama tidak ditangani, ketidaksesuaian dapat terjadi kembali.

ISO 31000:2018 menjelaskan bahwa risiko perlu dikelola melalui proses identifikasi, analisis, evaluasi, perlakuan, pemantauan, dan komunikasi (International Organization for Standardization, 2018). Dalam analisis akar masalah, pendekatan ini membantu mahasiswa memahami bahwa masalah teknik sering mengandung risiko yang harus dinilai. Penyebab yang berkaitan dengan keselamatan, mutu kritis, atau fungsi utama perlu mendapat perhatian lebih tinggi.

ISO 45001:2018 menekankan pentingnya identifikasi bahaya dan pengendalian risiko keselamatan dan kesehatan kerja (International Organization for Standardization, 2018). Hal ini penting karena beberapa masalah teknik dapat berdampak langsung pada keselamatan manusia. Jika gejala masalah menunjukkan potensi bahaya, analisis akar masalah harus dilakukan dengan tetap mengutamakan tindakan pengamanan awal.

Bab ini membahas analisis akar masalah dalam kasus keteknikan. Subbab A menjelaskan cara membedakan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah. Subbab berikutnya akan membahas penggunaan pertanyaan mengapa secara bertahap, diagram sebab akibat, pendekatan 5M dan 1E, validasi akar masalah dengan data, serta penyusunan rekomendasi tindakan korektif. Dengan alur ini, mahasiswa diharapkan mampu menganalisis masalah teknik secara lebih sistematis dan tidak langsung melompat ke solusi. Setelah mempelajari Bab 5, pembaca diharapkan mampu:

1. Menjelaskan pengertian gejala, penyebab sementara, dan akar masalah dalam kasus keteknikan.
2. Membedakan tanda awal masalah dan penyebab utama yang perlu diperbaiki.
3. Menggunakan data lapangan untuk menguji dugaan penyebab masalah.
4. Menelusuri hubungan sebab akibat secara sistematis.

5. Menggunakan alat analisis akar masalah, seperti pertanyaan mengapa, diagram sebab akibat, dan pendekatan faktor kerja.
6. Memvalidasi akar masalah berdasarkan bukti teknis.
7. Menyusun tindakan korektif yang sesuai dengan akar masalah.

Bab ini membahas proses analisis akar masalah dalam pekerjaan teknik terapan. Ruang lingkupnya mencakup pembedaan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah; penggunaan pertanyaan mengapa secara bertahap; penyusunan diagram sebab akibat; penggunaan pendekatan manusia, alat, bahan, metode, dan lingkungan; validasi akar masalah dengan data; serta penyusunan rekomendasi tindakan korektif. Pembahasan diarahkan agar mahasiswa mampu menganalisis masalah secara berbasis bukti dan menyusun solusi yang tidak hanya menutup gejala, tetapi mengurangi peluang masalah berulang.

A. Membedakan Gejala, Penyebab Sementara, dan Akar Masalah

Membedakan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah merupakan kemampuan dasar dalam analisis akar masalah. Ketiga istilah ini sering digunakan secara bergantian, padahal maknanya berbeda. Jika mahasiswa tidak mampu membedakannya, proses *problem solving* dapat berhenti terlalu cepat. Akibatnya, solusi yang dipilih hanya mengatasi tampilan luar masalah, bukan memperbaiki penyebab utamanya.

Gejala adalah tanda awal bahwa suatu kondisi tidak berjalan sesuai harapan. Gejala dapat terlihat, terdengar, terukur, atau tercatat dalam dokumen. Gejala biasanya menjadi alasan awal mengapa suatu masalah diperhatikan. Dalam pekerjaan teknik, gejala dapat berupa retak, bocor, panas berlebih, getaran, suara tidak normal, keterlambatan, biaya meningkat, hasil uji menyimpang, produk cacat, alat sering berhenti, atau area kerja tidak aman.

Gejala memiliki fungsi penting karena menjadi pintu masuk analisis. Tanpa gejala, masalah sering tidak disadari. Namun, gejala tidak boleh langsung dianggap sebagai akar masalah. Gejala hanya memberi sinyal bahwa ada sesuatu yang perlu diperiksa. Misalnya, mesin yang panas adalah gejala. Penyebabnya dapat berupa beban

berlebih, ventilasi buruk, pelumasan kurang, bearing aus, lingkungan terlalu panas, atau metode operasi yang tidak sesuai. Akar masalah baru dapat ditetapkan setelah data diperiksa.

Penyebab sementara adalah dugaan awal tentang faktor yang mungkin menyebabkan gejala. Penyebab sementara disusun berdasarkan observasi awal, pengalaman teknis, data awal, wawancara, atau perbandingan dengan kasus serupa. Penyebab sementara belum tentu benar. Oleh karena itu, penyebab sementara harus diuji melalui data. Dalam Bab 3, penyebab sementara telah dibahas sebagai asumsi teknis yang dapat diuji. Dalam Bab 5, asumsi tersebut mulai dianalisis untuk menemukan penyebab yang paling mendasar.

Penyebab sementara dapat lebih dari satu. Pada kasus panel listrik yang sering trip, penyebab sementara dapat berupa beban lebih, sambungan longgar, MCB tidak sesuai kapasitas, kabel panas, kelembapan ruang, atau penambahan peralatan tanpa perhitungan ulang. Semua dugaan ini perlu diuji. Jika mahasiswa hanya memilih satu dugaan tanpa data, analisis menjadi lemah.

Akar masalah adalah penyebab utama yang jika diperbaiki akan mengurangi kemungkinan masalah berulang. Akar masalah biasanya berada lebih dalam daripada gejala. Akar masalah dapat berupa kelemahan prosedur, desain yang tidak sesuai, pengawasan yang kurang, alat yang tidak layak, material tidak sesuai spesifikasi, data awal keliru, pelatihan yang tidak memadai, atau sistem perawatan yang tidak berjalan. Akar masalah tidak selalu tunggal. Dalam kasus kompleks, satu masalah dapat memiliki beberapa akar masalah yang saling berhubungan.

Perbedaan antara gejala, penyebab sementara, dan akar masalah dapat dipahami melalui contoh sederhana. Keluhan pengguna adalah “lantai ruang praktik licin.” Gejalanya adalah terdapat genangan kecil di dekat pintu masuk dan permukaan lantai terasa basah. Penyebab sementara dapat berupa kebocoran pipa, air hujan masuk dari pintu, saluran pembuangan tersumbat, atau prosedur pembersihan yang tidak tepat. Setelah diperiksa, ditemukan bahwa talang atap bocor dan air hujan menetes ke area pintu setiap kali hujan. Dalam kasus ini,

akar masalahnya bukan lantai licin, melainkan kebocoran talang yang tidak diperbaiki.

Contoh lain dapat dilihat pada hasil uji kuat tekan beton yang rendah. Gejalanya adalah nilai kuat tekan sampel berada di bawah mutu rencana. Penyebab sementara dapat berupa kesalahan campuran, mutu bahan buruk, air terlalu banyak, pemadatan kurang, curing tidak sesuai, atau prosedur pengujian tidak benar. Setelah data diperiksa, ditemukan bahwa beberapa benda uji tidak dirawat dalam kondisi lembap sesuai prosedur. Jika bukti cukup mendukung, akar masalah dapat dirumuskan sebagai ketidaksesuaian prosedur curing benda uji. Solusinya bukan hanya mengulang pengujian, tetapi memperbaiki prosedur perawatan dan pengendalian sampel.

Dalam konteks mutu, akar masalah sering berkaitan dengan ketidaksesuaian proses. ISO 9001:2015 menempatkan perbaikan sebagai bagian penting dari sistem manajemen mutu, termasuk tindakan korektif terhadap ketidaksesuaian (International Organization for Standardization, 2015). Prinsip ini menunjukkan bahwa organisasi tidak cukup hanya memperbaiki produk yang gagal. Organisasi perlu menelusuri mengapa kegagalan terjadi dan mencegah kegagalan berulang.

Dalam konteks keselamatan, akar masalah sering tidak berhenti pada perilaku pekerja. Misalnya, pekerja tidak menggunakan alat pelindung diri dapat dianggap sebagai penyebab sementara. Namun, akar masalah dapat lebih dalam, seperti APD tidak tersedia, briefing keselamatan tidak dilakukan, pengawasan lemah, budaya keselamatan rendah, atau prosedur kerja tidak ditegakkan. ISO 45001:2018 menekankan pentingnya pengelolaan risiko keselamatan dan kesehatan kerja secara sistematis (International Organization for Standardization, 2018). Karena itu, analisis keselamatan perlu melihat sistem kerja, bukan hanya tindakan individu.

Analisis akar masalah juga perlu memperhatikan hubungan sebab akibat. Satu gejala dapat memiliki banyak penyebab sementara. Satu penyebab sementara dapat dipengaruhi oleh faktor yang lebih dalam. Misalnya, keterlambatan pekerjaan dapat disebabkan oleh material terlambat. Material terlambat dapat disebabkan oleh pemesanan yang

terlambat. Pemesanan terlambat dapat disebabkan oleh gambar revisi belum disetujui. Gambar revisi belum disetujui dapat disebabkan oleh koordinasi desain yang lemah. Dalam rantai ini, akar masalah mungkin bukan sekadar “material terlambat”, melainkan lemahnya koordinasi dan pengendalian perubahan desain. Tabel 28 menyajikan perbedaan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah dalam kasus keteknikan.

Tabel 28. Perbedaan Gejala, Penyebab Sementara, dan Akar Masalah dalam Kasus Keteknikan

Unsur Analisis	Pengertian	Ciri Utama	Contoh dalam Kasus Teknik	Tindakan yang Tepat
Gejala	Tanda awal bahwa kondisi tidak sesuai harapan	Terlihat, terdengar, terukur, atau tercatat; belum menjelaskan penyebab utama	Mesin panas, beton retak, panel trip, hasil uji menyimpang, pekerjaan terlambat	Mencatat kondisi, mengamankan area jika berisiko, dan mengumpulkan data awal
Penyebab sementara	Dugaan awal tentang faktor yang mungkin menimbulkan gejala	Bersifat sementara, perlu diuji, dapat lebih dari satu	Mesin panas diduga karena ventilasi buruk, beban berlebih, atau pelumasan kurang	Menguji dugaan melalui pengukuran, inspeksi, dokumen, dan wawancara teknis
Akar masalah	Penyebab utama yang jika diperbaiki dapat mencegah masalah berulang	Berbasis bukti, berada lebih dalam dari gejala, dapat berkaitan dengan sistem kerja	Jadwal perawatan tidak berjalan sehingga pelumasan tidak dilakukan sesuai interval	Menyusun tindakan korektif, memperbaiki sistem, dan memantau hasil perbaikan

Tabel 28 menunjukkan bahwa setiap tingkat analisis memiliki fungsi berbeda. Gejala digunakan untuk mengenali masalah. Penyebab sementara digunakan untuk menyusun arah pemeriksaan. Akar masalah digunakan sebagai dasar tindakan korektif. Jika mahasiswa berhenti pada gejala, solusi cenderung hanya bersifat sementara. Jika mahasiswa berhenti pada penyebab sementara tanpa pengujian, solusi dapat salah sasaran. Jika mahasiswa menemukan

akar masalah berbasis data, solusi menjadi lebih kuat dan dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 11. Hubungan Gejala, Penyebab Sementara, dan Akar Masalah

Gambar 10 menjelaskan bahwa analisis akar masalah dilakukan secara bertahap. Gejala menjadi tanda awal. Penyebab sementara menjadi dugaan yang harus diuji. Akar masalah menjadi penyebab

utama yang ditetapkan berdasarkan bukti. Tindakan korektif kemudian diarahkan pada akar masalah, bukan hanya pada gejala. Alur ini membantu mahasiswa memahami bahwa penyelesaian masalah teknik harus bergerak dari pengamatan menuju bukti dan tindakan yang tepat.

Dalam praktik lapangan, mahasiswa sering tergoda untuk langsung menyelesaikan gejala. Misalnya, jika lantai tergenang, mahasiswa langsung membersihkan genangan. Jika panel trip, mahasiswa langsung menaikkan kembali MCB. Jika mesin panas, mahasiswa langsung mematikan mesin sebentar. Tindakan awal seperti ini tidak selalu salah, terutama jika diperlukan untuk keselamatan atau kelancaran sementara. Namun, tindakan tersebut belum cukup sebagai *problem solving*. Setelah kondisi aman, mahasiswa tetap harus menelusuri penyebab dan akar masalah.

Tindakan terhadap gejala disebut tindakan koreksi. Tindakan koreksi bertujuan menghilangkan ketidaksesuaian yang terlihat. Contohnya adalah membersihkan tumpahan, mengganti komponen rusak, mengulang pengujian, atau memperbaiki bagian yang salah. Tindakan koreksi penting, tetapi tidak selalu mencegah masalah berulang. Tindakan terhadap akar masalah disebut tindakan korektif. Tindakan korektif bertujuan menghilangkan penyebab utama agar masalah tidak terjadi lagi.

Perbedaan tindakan koreksi dan tindakan korektif perlu dipahami mahasiswa. Pada kasus baut longgar, mengencangkan baut adalah tindakan koreksi. Namun, jika baut sering longgar karena getaran mesin tinggi dan tidak ada prosedur inspeksi berkala, maka tindakan korektif dapat berupa pengecekan alignment, pemasangan pengunci baut yang sesuai, dan penjadwalan inspeksi. Pada kasus hasil uji tidak konsisten, mengulang uji adalah tindakan koreksi. Jika akar masalahnya adalah alat belum dikalibrasi, maka tindakan korektifnya adalah kalibrasi alat dan pengendalian jadwal kalibrasi.

Dalam kasus keselamatan, tindakan koreksi dapat berupa memasang tanda bahaya pada kabel yang melintang. Namun, tindakan korektif perlu menelusuri mengapa kabel sementara dipasang di jalur pekerja. Mungkin tidak ada prosedur pemasangan

sementara, tidak ada jalur kabel yang disediakan, pekerjaan tergesa-gesa, atau pengawasan tidak dilakukan. Jika akar masalah tidak diperbaiki, kondisi serupa dapat muncul kembali.

Untuk membedakan gejala dan akar masalah, mahasiswa dapat menggunakan pertanyaan berurutan. Pertanyaan pertama adalah “apa tanda yang terlihat.” Pertanyaan kedua adalah “apa dampaknya.” Pertanyaan ketiga adalah “apa dugaan penyebabnya.” Pertanyaan keempat adalah “data apa yang mendukung dugaan tersebut.” Pertanyaan kelima adalah “mengapa penyebab itu terjadi.” Pertanyaan keenam adalah “apakah penyebab ini jika diperbaiki dapat mencegah masalah berulang.” Jika jawaban terakhir belum meyakinkan, analisis perlu dilanjutkan.

Mahasiswa juga perlu memeriksa apakah dugaan penyebab memiliki bukti. Dugaan tanpa bukti tidak boleh langsung dijadikan akar masalah. Misalnya, mengatakan “operator lalai” tanpa memeriksa instruksi kerja, pelatihan, beban kerja, kondisi alat, dan pengawasan merupakan kesimpulan yang lemah. Dugaan seperti itu juga dapat merusak komunikasi tim. Analisis yang baik harus menggunakan bukti, bukan menyalahkan pihak tertentu.

Dalam pekerjaan teknik, akar masalah dapat berada pada beberapa tingkat. Tingkat pertama adalah tingkat teknis langsung, seperti komponen aus, baut longgar, saluran tersumbat, atau alat ukur rusak. Tingkat kedua adalah tingkat proses, seperti prosedur perawatan tidak dijalankan, inspeksi tidak dilakukan, atau metode kerja tidak konsisten. Tingkat ketiga adalah tingkat sistem, seperti pengendalian dokumen lemah, pelatihan tidak terencana, koordinasi antarpihak kurang, atau budaya keselamatan belum kuat. Akar masalah yang sebenarnya sering berada pada tingkat proses atau sistem.

Sebagai contoh, panel listrik sering trip. Gejalanya adalah MCB turun saat beberapa peralatan menyala. Penyebab sementara adalah beban berlebih. Setelah diukur, arus memang melebihi kapasitas pada salah satu fasa. Namun, analisis belum berhenti. Pertanyaan berikutnya adalah mengapa beban berlebih terjadi. Setelah diperiksa, ditemukan bahwa beberapa peralatan tambahan dipasang tanpa pembaruan perhitungan beban. Pertanyaan berikutnya adalah

mengapa penambahan beban tidak diperiksa. Setelah ditelusuri, tidak ada prosedur persetujuan teknis untuk penambahan peralatan listrik. Dalam kasus ini, akar masalah dapat berada pada lemahnya pengendalian perubahan beban listrik.

Contoh lain adalah keterlambatan pekerjaan praktik di bengkel. Gejalanya adalah mahasiswa tidak menyelesaikan benda kerja sesuai waktu. Penyebab sementara adalah waktu praktik kurang. Namun, setelah diamati, banyak waktu terbuang untuk mencari alat, menunggu mesin, dan memperbaiki kesalahan ukuran. Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa alat tidak disusun berdasarkan alur kerja, jadwal penggunaan mesin tidak diatur, dan instruksi kerja tidak cukup jelas. Akar masalahnya tidak semata-mata durasi praktik, tetapi tata kelola alat, penjadwalan mesin, dan kejelasan instruksi.

Dalam kasus laboratorium, gejala dapat berupa hasil uji yang bervariasi. Penyebab sementara dapat berupa alat tidak stabil, sampel tidak seragam, prosedur tidak sama, atau operator berbeda. Untuk menemukan akar masalah, mahasiswa perlu memeriksa sertifikat kalibrasi, SOP, kondisi sampel, cara pencatatan, dan pelaksanaan uji. Jika ditemukan bahwa setiap kelompok menggunakan cara persiapan sampel yang berbeda karena SOP tidak cukup rinci, maka akar masalah berkaitan dengan prosedur, bukan hanya keterampilan mahasiswa.

Akar masalah juga dapat berkaitan dengan data yang tidak lengkap. Pada tahap awal, masalah mungkin dirumuskan berdasarkan observasi terbatas. Setelah data ditambah, penyebab awal dapat berubah. Mahasiswa perlu terbuka terhadap revisi analisis. Analisis akar masalah bukan proses menegaskan dugaan awal, tetapi proses mencari penjelasan yang paling didukung bukti.

Dalam menganalisis akar masalah, mahasiswa perlu menghindari beberapa kesalahan. Kesalahan pertama adalah berhenti terlalu cepat pada gejala. Kesalahan kedua adalah memilih penyebab yang paling mudah dilihat. Kesalahan ketiga adalah menyalahkan manusia tanpa memeriksa sistem kerja. Kesalahan keempat adalah mengabaikan data yang tidak sesuai dengan dugaan awal. Kesalahan kelima adalah menganggap hanya ada satu akar masalah pada kasus yang kompleks.

Kesalahan keenam adalah menyusun solusi sebelum akar masalah divalidasi.

Root cause analysis pada dasarnya bertujuan membantu tim menemukan penyebab mendasar dari kegagalan proses, produk, atau sistem agar tindakan perbaikan dapat lebih tepat. Andersen dan Fagerhaug (2006) menekankan bahwa analisis akar masalah perlu dilakukan secara sistematis agar organisasi tidak hanya mengatasi kejadian permukaan. Ishikawa (1986) juga menekankan pentingnya melihat hubungan sebab akibat dalam pengendalian mutu. Prinsip-prinsip ini sangat relevan dengan pekerjaan teknik terapan karena masalah lapangan jarang berdiri sendiri.

Dalam pendidikan vokasi, dosen dapat melatih mahasiswa membedakan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah melalui studi kasus. Setiap kelompok diberi kasus sederhana, seperti “pompa air tidak bekerja optimal,” “saluran sering meluap,” “hasil las tidak rapi,” atau “lampu ruang praktik sering padam.” Mahasiswa diminta membuat tiga kolom: gejala, penyebab sementara, dan data untuk menguji penyebab. Setelah data dibahas, mahasiswa mencoba menentukan akar masalah sementara. Latihan ini membantu mahasiswa berpikir lebih disiplin.

Mahasiswa juga dapat menggunakan warna atau kode dalam catatan analisis. Gejala diberi kode G, penyebab sementara diberi kode PS, dan akar masalah diberi kode AM. Misalnya, G1 adalah “mesin panas setelah 30 menit.” PS1 adalah “ventilasi buruk.” PS2 adalah “beban kerja berlebih.” PS3 adalah “pelumasan kurang.” Setelah pengujian data, AM1 dapat ditetapkan sebagai “jadwal pelumasan tidak dilaksanakan karena tidak ada checklist perawatan harian.” Kode ini membantu analisis lebih rapi.

Pada laporan teknik, pembedaan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah perlu ditulis secara eksplisit. Mahasiswa dapat menyajikannya dalam tabel atau narasi. Pembaca harus dapat melihat bagaimana gejala ditemukan, dugaan penyebab disusun, data dikumpulkan, dan akar masalah ditetapkan. Jika alur ini jelas, laporan menjadi lebih kuat dan dapat diperiksa.

Akar masalah yang baik memiliki beberapa ciri. Pertama, akar masalah didukung oleh data. Kedua, akar masalah menjelaskan mengapa gejala terjadi. Ketiga, akar masalah dapat ditindaklanjuti. Keempat, akar masalah jika diperbaiki dapat mengurangi peluang masalah berulang. Kelima, akar masalah tidak berhenti pada menyalahkan individu. Keenam, akar masalah sesuai dengan batas masalah dan ruang lingkup pekerjaan.

Contoh akar masalah yang kurang baik adalah “operator kurang hati-hati.” Pernyataan ini terlalu umum dan cenderung menyalahkan individu. Pernyataan yang lebih baik adalah “operator tidak menggunakan urutan pemeriksaan awal karena checklist start-up mesin belum tersedia di area kerja.” Pernyataan kedua lebih spesifik, dapat diuji, dan dapat ditindaklanjuti. Tindakan korektifnya dapat berupa penyusunan checklist, pelatihan penggunaan checklist, dan supervisi pada awal penggunaan.

Contoh lain adalah “material buruk.” Pernyataan ini belum cukup sebagai akar masalah. Pernyataan yang lebih baik adalah “material yang digunakan tidak sesuai spesifikasi karena tidak ada pemeriksaan penerimaan material sebelum digunakan.” Pernyataan ini menunjukkan hubungan antara ketidaksesuaian material dan kelemahan proses pengendalian. Tindakan korektifnya dapat berupa prosedur penerimaan material, pemeriksaan spesifikasi, dan pencatatan pemasok.

Akar masalah juga harus dibedakan dari faktor kontribusi. Faktor kontribusi adalah faktor yang memperparah masalah, tetapi bukan penyebab utama. Misalnya, hujan dapat memperparah genangan, tetapi akar masalah dapat berupa saluran tersumbat dan kemiringan tidak memadai. Operator baru dapat memperbesar peluang kesalahan, tetapi akar masalah dapat berupa pelatihan yang tidak cukup dan instruksi kerja yang tidak jelas. Membedakan akar masalah dan faktor kontribusi membantu solusi lebih tepat.

Dalam kasus kompleks, terdapat beberapa akar masalah yang saling berhubungan. Misalnya, proyek terlambat dapat memiliki akar masalah pada perubahan desain yang tidak terkendali, material terlambat, perencanaan jadwal tidak realistis, dan koordinasi lemah.

Dalam kondisi seperti ini, mahasiswa perlu menentukan akar masalah mana yang paling dominan dan paling perlu ditangani terlebih dahulu. Prioritas dapat ditentukan berdasarkan dampak, risiko, dan kemampuan pengendalian.

Analisis akar masalah harus selalu kembali pada data. Data dapat berupa hasil ukur, hasil uji, foto, video, log digital, formulir inspeksi, laporan harian, dokumen revisi, catatan perawatan, atau wawancara teknis. Setiap akar masalah yang diajukan harus memiliki bukti pendukung. Jika data belum cukup, akar masalah harus ditulis sebagai dugaan yang memerlukan verifikasi lanjutan.

Dalam *problem solving* teknik terapan, perbedaan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah menjadi dasar untuk alat analisis berikutnya. Subbab berikutnya akan membahas penggunaan pertanyaan mengapa secara bertahap. Teknik tersebut membantu mahasiswa menelusuri penyebab dari tingkat permukaan menuju tingkat yang lebih mendasar. Namun, sebelum menggunakan teknik tersebut, mahasiswa harus memahami bahwa gejala bukan penyebab, penyebab sementara bukan kesimpulan, dan akar masalah harus dibuktikan.

Pada akhirnya, kemampuan membedakan gejala, penyebab sementara, dan akar masalah membantu mahasiswa bekerja lebih profesional. Mahasiswa tidak mudah menyalahkan orang, tidak terburu-buru memilih solusi, dan tidak berhenti pada gejala. Mahasiswa belajar menggunakan data untuk menelusuri penyebab. Dengan kemampuan ini, solusi yang disusun akan lebih tepat, aman, dan berpeluang mencegah masalah berulang.

Gejala adalah tanda awal bahwa suatu kondisi tidak sesuai harapan. Penyebab sementara adalah dugaan awal tentang faktor yang mungkin menimbulkan gejala. Akar masalah adalah penyebab utama yang jika diperbaiki dapat mengurangi kemungkinan masalah berulang. Dalam pekerjaan teknik, gejala harus dicatat, penyebab sementara harus diuji, dan akar masalah harus ditetapkan berdasarkan bukti. Solusi yang hanya mengatasi gejala biasanya bersifat sementara, sedangkan tindakan korektif harus diarahkan pada akar masalah.

B. Analisis Pola dari Data Hasil Pengamatan

Analisis pola dari data hasil pengamatan merupakan tahap penting dalam analisis akar masalah. Setelah gejala dicatat dan data lapangan dikumpulkan, mahasiswa perlu membaca apakah data tersebut menunjukkan pola tertentu. Pola dapat membantu menjelaskan kapan masalah terjadi, di mana masalah muncul, seberapa sering masalah berulang, faktor apa yang berkaitan, dan kondisi apa yang memperkuat gejala. Tanpa analisis pola, data hanya menjadi kumpulan catatan yang belum memberi arah penyelesaian.

Data hasil pengamatan dapat berasal dari foto, video, formulir inspeksi, hasil ukur, log digital, catatan operator, laporan harian, wawancara teknis, atau dokumen perawatan. Data tersebut perlu disusun agar mudah dibaca. Data yang masih acak sulit digunakan untuk mencari akar masalah. Oleh karena itu, langkah awal dalam analisis pola adalah mengelompokkan data berdasarkan waktu, lokasi, jenis gejala, tingkat keparahan, alat, bahan, metode, lingkungan, atau pihak yang terlibat.

Analisis pola berbeda dari menebak penyebab. Dalam analisis pola, mahasiswa tidak langsung menyatakan bahwa suatu faktor adalah akar masalah. Mahasiswa lebih dahulu mencari keteraturan dalam data. Misalnya, apakah mesin selalu panas setelah 30 menit operasi. Apakah panel listrik trip hanya saat beban puncak. Apakah genangan muncul pada titik yang sama setelah hujan. Apakah hasil uji tidak konsisten hanya pada kelompok sampel tertentu. Pertanyaan seperti ini membantu mahasiswa membaca hubungan antara gejala dan kondisi lapangan.

NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods menjelaskan bahwa exploratory data *analysis* digunakan untuk memperoleh pemahaman terhadap data, menemukan struktur dasar, mendeteksi anomali, memeriksa asumsi, dan mengembangkan model sederhana (NIST/SEMATECH, 2022). Prinsip ini relevan dalam *problem solving* teknik terapan karena mahasiswa sering memulai analisis dari data lapangan yang belum rapi. Analisis pola membantu mahasiswa mengenali informasi penting sebelum menyusun kesimpulan.

Dalam pekerjaan teknik, pola data dapat muncul dalam beberapa bentuk. Pola pertama adalah pola waktu. Pola ini menunjukkan hubungan antara masalah dan waktu kejadian. Contohnya adalah mesin panas setiap akhir sesi praktik, panel trip setiap sore saat banyak peralatan menyala, atau produktivitas menurun setelah jam kerja tertentu. Pola waktu membantu mahasiswa melihat apakah masalah bersifat sesaat, berulang, musiman, atau meningkat dari waktu ke waktu.

Pola kedua adalah pola lokasi. Pola ini menunjukkan bahwa masalah terkonsentrasi pada titik, area, zona, atau segmen tertentu. Contohnya adalah genangan hanya terjadi pada inlet tertentu, retak beton muncul pada area dekat bukaan, kebisingan tertinggi berada di sisi mesin tertentu, atau kerusakan jalan banyak muncul pada segmen dengan drainase buruk. Pola lokasi membantu mahasiswa menghubungkan masalah dengan kondisi fisik di lapangan.

Pola ketiga adalah pola frekuensi. Pola ini menunjukkan seberapa sering suatu gejala muncul. Frekuensi dapat dihitung berdasarkan jumlah kejadian per hari, minggu, bulan, atau siklus kerja. Misalnya, mesin berhenti lima kali dalam satu minggu, panel trip tiga kali dalam satu hari, atau hasil uji menyimpang pada empat dari sepuluh sampel. Pola frekuensi membantu menentukan tingkat keseriusan masalah dan prioritas tindakan.

Pola keempat adalah pola tingkat keparahan. Pola ini menunjukkan berat ringannya gejala. Misalnya, retak dapat dikategorikan ringan, sedang, atau berat. Kebocoran dapat dikategorikan rembes, menetes, atau mengalir. Kerusakan jalan dapat dikategorikan retak halus, retak buaya, lubang kecil, atau lubang besar. Pola keparahan membantu mahasiswa membedakan masalah yang perlu tindakan segera dan masalah yang cukup dipantau.

Pola kelima adalah pola hubungan antarvariabel. Pola ini menunjukkan adanya hubungan antara dua atau lebih data. Misalnya, suhu mesin meningkat seiring beban kerja bertambah. Getaran meningkat ketika putaran mesin dinaikkan. Genangan bertambah ketika inlet tertutup sedimentasi. Jumlah produk cacat meningkat

ketika alat potong mulai aus. Pola hubungan ini membantu mahasiswa menyusun dugaan penyebab yang lebih kuat.

Pola keenam adalah pola penyimpangan atau anomali. Anomali adalah data yang berbeda dari kondisi umum. Dalam pekerjaan teknik, anomali tidak boleh langsung dihapus. Anomali dapat menunjukkan kesalahan pencatatan, kerusakan alat ukur, kondisi lapangan khusus, atau gejala penting yang jarang terjadi tetapi berisiko tinggi. Misalnya, satu lonjakan suhu yang sangat tinggi pada motor dapat menunjukkan kondisi beban berlebih sesaat atau gangguan ventilasi. Data seperti ini perlu diperiksa, bukan diabaikan.

Pola ketujuh adalah pola tren. Tren menunjukkan kecenderungan naik, turun, atau tetap dari waktu ke waktu. Contohnya adalah suhu mesin yang naik perlahan dari minggu ke minggu, biaya perawatan yang meningkat setiap bulan, hasil uji yang semakin menurun, atau jumlah kerusakan yang bertambah setelah alat digunakan lebih lama. Pola tren penting karena dapat menunjukkan masalah yang berkembang secara bertahap.

Pola kedelapan adalah pola perbandingan sebelum dan sesudah. Pola ini digunakan untuk melihat perubahan kondisi setelah tindakan tertentu. Misalnya, apakah jumlah genangan berkurang setelah inlet dibersihkan. Apakah suhu mesin menurun setelah ventilasi diperbaiki. Apakah hasil uji menjadi lebih konsisten setelah alat dikalibrasi. Pola ini membantu menilai efektivitas tindakan koreksi atau tindakan korektif.

Dalam pengendalian mutu, control chart digunakan untuk memahami variasi proses dan membantu melihat apakah proses berada dalam kondisi terkendali. ISO 7870-1:2019 memberikan pedoman umum tentang prinsip dan konsep control chart (International Organization for Standardization, 2019). Mahasiswa vokasi tidak selalu harus menyusun control chart yang kompleks. Namun, mereka perlu memahami prinsip dasarnya, yaitu data proses harus diamati dari waktu ke waktu agar pola penyimpangan dapat dikenali.

ISO 9001:2015 juga relevan karena menekankan pentingnya pengendalian proses dan perbaikan berkelanjutan dalam sistem manajemen mutu (International Organization for Standardization, 2015). Dalam konteks analisis pola, pengendalian proses berarti data tidak hanya dikumpulkan pada akhir pekerjaan, tetapi juga dipantau selama proses berlangsung. Dengan pemantauan tersebut, penyimpangan dapat ditemukan lebih awal. Tabel 29 menyajikan jenis pola data hasil pengamatan, contoh dalam pekerjaan teknik, dan makna awal yang dapat ditelusuri.

Tabel 29. Jenis Pola Data Hasil Pengamatan dalam Analisis Akar Masalah

Jenis Pola	Ciri Utama	Contoh dalam Pekerjaan Teknik	Makna Awal yang Perlu Ditelusuri
Pola waktu	Gejala muncul pada waktu tertentu atau berulang menurut periode tertentu	Panel listrik trip setiap sore saat beban puncak	Masalah mungkin berkaitan dengan beban operasi, jadwal penggunaan, atau kapasitas sistem
Pola lokasi	Gejala terkonsentrasi pada titik, area, zona, atau segmen tertentu	Genangan selalu terjadi pada inlet saluran sisi utara	Masalah mungkin berkaitan dengan kemiringan, sedimentasi, kapasitas saluran, atau hambatan aliran
Pola frekuensi	Gejala sering muncul dalam jumlah kejadian tertentu	Mesin berhenti lima kali dalam satu minggu	Masalah bersifat berulang dan perlu diprioritaskan untuk dianalisis
Pola keparahan	Gejala memiliki tingkat ringan, sedang, atau berat	Retak beton lebih besar pada area dekat sambungan	Masalah mungkin berkaitan dengan konsentrasi tegangan, metode pelaksanaan, atau perawatan
Pola hubungan antarvariabel	Perubahan satu data diikuti perubahan data lain	Suhu mesin naik ketika beban kerja meningkat	Masalah mungkin berkaitan dengan kapasitas, pendinginan, pelumasan, atau kondisi komponen
Pola anomali	Ada data yang sangat berbeda dari kondisi umum	Satu titik pengukuran arus jauh lebih tinggi daripada titik lain	Perlu pemeriksaan ulang alat, titik ukur, kondisi beban, atau

Jenis Pola	Ciri Utama	Contoh dalam Pekerjaan Teknik	Makna Awal yang Perlu Ditelusuri
			kemungkinan gangguan lokal
Pola tren	Data menunjukkan kecenderungan naik, turun, atau tetap dari waktu ke waktu	Getaran mesin meningkat selama tiga minggu terakhir	Masalah mungkin berkembang bertahap karena keausan, pelumasan, atau ketidakseimbangan
Pola sebelum dan sesudah	Data dibandingkan sebelum dan setelah tindakan	Genangan berkurang setelah pembersihan sedimentasi	Tindakan mungkin efektif, tetapi perlu dipastikan apakah akar masalah sudah tertangani

Tabel 29 menunjukkan bahwa pola data dapat memberi petunjuk awal tentang kemungkinan penyebab. Namun, pola belum otomatis menjadi bukti akhir. Pola harus diuji dengan data tambahan, perbandingan standar, pemeriksaan lapangan, atau diskusi teknis. Mahasiswa perlu menghindari kesimpulan cepat hanya karena melihat hubungan yang tampak kuat. Hubungan dalam data perlu dibedakan dari sebab akibat.

Langkah pertama dalam analisis pola adalah merapikan data. Data perlu disusun dalam tabel dengan kolom yang jelas, seperti tanggal, waktu, lokasi, objek, parameter, satuan, hasil, kondisi operasi, alat ukur, dan catatan khusus. Data foto atau video perlu diberi kode agar dapat dihubungkan dengan tabel pengamatan. Data log digital perlu diperiksa format waktunya agar tidak terjadi kesalahan urutan.

Langkah kedua adalah mengelompokkan data. Pengelompokan dapat dilakukan berdasarkan lokasi, waktu, jenis gejala, tingkat keparahan, alat, material, operator, metode, atau kondisi lingkungan. Misalnya, data kerusakan jalan dapat dikelompokkan berdasarkan segmen. Data hasil uji dapat dikelompokkan berdasarkan batch sampel. Data downtime mesin dapat dikelompokkan berdasarkan jenis gangguan. Pengelompokan membantu pola lebih mudah terlihat.

Langkah ketiga adalah membuat ringkasan data. Ringkasan dapat berupa jumlah kejadian, nilai rata-rata, nilai tertinggi, nilai terendah,

rentang, persentase, atau kategori. Misalnya, dari 20 titik inspeksi, 12 titik mengalami retak ringan, 5 titik retak sedang, dan 3 titik retak berat. Ringkasan seperti ini membantu mahasiswa melihat proporsi masalah. Untuk data kualitatif, ringkasan dapat berupa tema atau kategori temuan.

Langkah keempat adalah membuat visualisasi sederhana. Visualisasi dapat berupa tabel, grafik garis, grafik batang, diagram Pareto, peta titik, atau foto beranotasi. Visualisasi membantu mahasiswa melihat pola yang sulit ditemukan dari angka mentah. Misalnya, grafik garis dapat menunjukkan tren suhu mesin. Grafik batang dapat menunjukkan jumlah gangguan per jenis. Peta titik dapat menunjukkan lokasi genangan. Foto beranotasi dapat menunjukkan pola retak.

Langkah kelima adalah membandingkan data dengan acuan. Acuan dapat berupa standar, spesifikasi, gambar, SOP, batas operasi alat, kriteria kinerja, atau kondisi sebelumnya. Data tanpa acuan sering sulit ditafsirkan. Misalnya, suhu 80 derajat Celsius dapat dianggap tinggi atau normal bergantung pada jenis mesin dan batas operasinya. Arus listrik 25 ampere dapat aman atau berisiko bergantung pada kapasitas kabel dan proteksi. Karena itu, pola harus dibaca bersama acuan teknis.

Langkah keenam adalah menulis interpretasi awal. Interpretasi awal harus menggunakan bahasa hati-hati. Contohnya adalah “data menunjukkan kecenderungan suhu meningkat setelah 30 menit operasi,” bukan “mesin rusak karena pelumasan buruk.” Pernyataan pertama berbasis pola. Pernyataan kedua adalah dugaan penyebab yang masih perlu diuji. Bahasa yang hati-hati membantu mahasiswa menjaga objektivitas.

Langkah ketujuh adalah menentukan data tambahan yang diperlukan. Analisis pola sering menunjukkan bahwa data awal belum cukup. Misalnya, pola suhu mesin meningkat dapat memerlukan data getaran, beban, pelumasan, dan kondisi ventilasi. Pola genangan pada titik tertentu dapat memerlukan data elevasi, dimensi saluran, sedimentasi, dan kondisi outlet. Pola hasil uji yang bervariasi dapat

memerlukan data kalibrasi alat, operator, prosedur, dan kondisi sampel.

Analisis pola dapat diterapkan pada berbagai kasus. Pada kasus drainase, mahasiswa dapat mencatat titik genangan setelah hujan, waktu surut, kedalaman genangan, kondisi inlet, dan arah aliran. Setelah data dikelompokkan, mungkin terlihat bahwa genangan hanya terjadi pada titik dengan inlet tertutup sampah. Pola ini menjadi dasar untuk menguji asumsi bahwa hambatan inlet berperan dalam masalah.

Pada kasus mesin, mahasiswa dapat mencatat suhu, getaran, suara, waktu operasi, beban, dan kondisi pelumasan. Jika suhu selalu meningkat setelah beban dinaikkan, pola tersebut menunjukkan bahwa masalah mungkin berkaitan dengan kapasitas pendinginan, beban kerja, atau kondisi komponen. Jika getaran meningkat secara bertahap dari minggu ke minggu, pola tersebut dapat mengarah pada pemeriksaan keausan, alignment, atau ketidakseimbangan.

Pada kasus panel listrik, mahasiswa dapat mencatat waktu trip, beban yang menyala, arus tiap fasa, suhu panel, kondisi sambungan, dan riwayat gangguan. Jika trip hanya terjadi saat alat tertentu menyala, pola tersebut mengarahkan pemeriksaan pada beban alat tersebut, pembagian beban, atau proteksi. Jika suhu tinggi hanya muncul pada satu terminal, pola tersebut mengarah pada pemeriksaan sambungan atau tahanan kontak.

Pada kasus laboratorium, mahasiswa dapat mencatat hasil uji, nomor sampel, operator, alat, waktu pengujian, prosedur, dan kondisi sampel. Jika variasi hasil hanya terjadi pada operator tertentu, bukan berarti operator langsung disalahkan. Pola tersebut perlu ditelusuri lebih lanjut. Mungkin operator belum mendapat pelatihan, instruksi kerja tidak jelas, atau alat yang digunakan berbeda. Analisis pola harus mengarahkan pemeriksaan, bukan menyalahkan individu.

Data kualitatif juga dapat dianalisis polanya. Misalnya, hasil wawancara teknis dapat menunjukkan bahwa beberapa operator menyebutkan alat sering sulit ditemukan, instruksi kerja berbeda antar shift, atau material sering datang terlambat. Pola pernyataan berulang dari beberapa sumber dapat menjadi petunjuk adanya masalah sistem

kerja. Miles, Huberman, dan Saldaña (2020) menekankan pentingnya kondensasi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan dalam analisis data kualitatif. Dalam konteks teknik, prinsip ini membantu mahasiswa menyusun temuan lapangan secara lebih teratur.

Analisis pola juga perlu memperhatikan data pencilan. Data pencilan adalah data yang jauh berbeda dari data lain. Data pencilan dapat berasal dari kesalahan pengukuran, kesalahan pencatatan, kondisi khusus, atau kejadian penting. Mahasiswa tidak boleh langsung membuang data pencilan. Data tersebut harus diperiksa. Pertanyaan yang perlu diajukan adalah apakah alat ukur bekerja benar, apakah satuan sudah tepat, apakah kondisi operasi berbeda, apakah titik pengukuran benar, dan apakah kejadian tersebut memiliki dampak risiko.

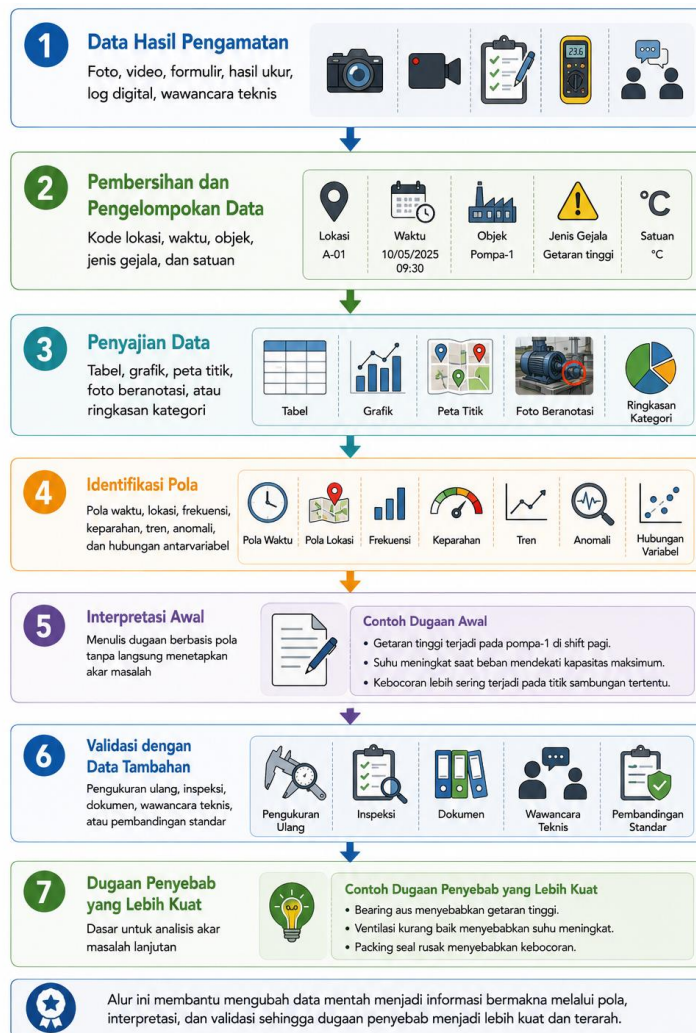
Dalam beberapa kasus, data pencilan justru menjadi petunjuk utama. Misalnya, satu titik arus yang sangat tinggi pada panel dapat menunjukkan beban tidak seimbang. Satu titik genangan paling dalam dapat menunjukkan outlet tersumbat. Satu nilai kuat tekan yang sangat rendah dapat menunjukkan kesalahan perawatan sampel atau cacat material. Karena itu, data pencilan harus diperlakukan sebagai sinyal yang perlu diverifikasi.

Analisis pola juga perlu membedakan korelasi dan sebab akibat. Dua data dapat bergerak bersama, tetapi belum tentu salah satunya menyebabkan yang lain. Misalnya, produktivitas menurun saat cuaca panas. Pola ini menunjukkan hubungan yang perlu diperiksa. Namun, penyebab langsung produktivitas rendah dapat berupa kelelahan pekerja, alat sering berhenti, suplai material terganggu, atau metode kerja tidak efisien. Oleh karena itu, pola hubungan harus diuji melalui data tambahan.

Dalam pekerjaan teknik, pola data sering membantu menentukan prioritas akar masalah. Jika satu jenis gangguan menyumbang sebagian besar waktu henti mesin, maka gangguan tersebut perlu diprioritaskan. Jika sebagian besar kerusakan jalan berada pada area dengan drainase buruk, maka drainase perlu diperiksa lebih serius. Jika sebagian besar hasil uji menyimpang berasal dari satu alat tertentu, maka alat tersebut perlu diuji kelayakannya.

Salah satu alat sederhana untuk membaca prioritas pola adalah diagram Pareto. Diagram Pareto membantu menunjukkan kategori penyebab atau gejala yang paling sering muncul. Prinsip ini sering digunakan dalam pengendalian mutu untuk memusatkan perhatian pada masalah yang paling dominan. Dalam pendidikan vokasi, mahasiswa dapat membuat tabel sederhana yang mengurutkan jumlah kejadian dari yang paling besar ke yang paling kecil. Dari sana, mahasiswa dapat menentukan area pemeriksaan awal.

Selain Pareto, grafik garis dapat digunakan untuk melihat tren. Grafik batang dapat digunakan untuk membandingkan kategori. Peta titik dapat digunakan untuk melihat pola lokasi. Tabel silang dapat digunakan untuk melihat hubungan antara dua kategori. Foto beranotasi dapat digunakan untuk menunjukkan pola visual. Pemilihan bentuk penyajian harus mengikuti jenis data dan tujuan analisis.



Gambar 12. Alur Analisis Pola dari Data Hasil Pengamatan

Gambar 11 menjelaskan bahwa analisis pola dimulai dari data hasil pengamatan yang masih beragam. Data tersebut perlu dibersihkan, dikelompokkan, dan disajikan agar pola dapat terlihat. Pola yang ditemukan kemudian ditafsirkan secara hati-hati dan divalidasi dengan data tambahan. Alur ini membantu mahasiswa membedakan antara pola awal dan akar masalah yang sudah terbukti.

Dalam penulisan laporan, hasil analisis pola harus dijelaskan secara runtut. Mahasiswa dapat menulis jenis data yang digunakan,

cara data dikelompokkan, pola yang ditemukan, bukti pendukung, interpretasi awal, dan data tambahan yang diperlukan. Penjelasan ini membuat pembaca memahami dasar analisis. Laporan tidak cukup hanya menyatakan “berdasarkan data, penyebabnya adalah...” tanpa menunjukkan pola dan bukti yang mendukung.

Analisis pola juga harus menjaga etika data. Mahasiswa tidak boleh hanya memilih data yang mendukung dugaan awal. Data yang berbeda atau tidak sesuai dugaan tetap perlu ditampilkan atau dijelaskan. Jika ada data yang tidak digunakan, alasan penghapusannya harus jelas. Jika data terbatas, keterbatasannya harus ditulis. Kejujuran dalam analisis pola penting karena kesimpulan teknis dapat berdampak pada keselamatan, mutu, biaya, dan keputusan organisasi.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat memberikan latihan analisis pola dari data sederhana. Misalnya, mahasiswa diberi tabel suhu mesin selama satu jam, catatan trip panel selama satu minggu, foto kerusakan jalan pada beberapa titik, atau laporan downtime mesin selama satu bulan. Mahasiswa diminta mengelompokkan data, membuat ringkasan, menemukan pola, menulis interpretasi awal, dan menentukan data tambahan yang diperlukan. Latihan ini melatih mahasiswa berpikir berbasis bukti.

Pada akhirnya, analisis pola dari data hasil pengamatan membantu mahasiswa bergerak dari data mentah menuju pemahaman teknis. Pola membantu menunjukkan arah penyebab, tetapi pola tidak boleh langsung dianggap sebagai akar masalah. Pola harus divalidasi melalui data tambahan, perbandingan standar, dan analisis sebab akibat. Dengan kemampuan membaca pola, mahasiswa akan lebih siap menggunakan teknik analisis akar masalah pada subbab berikutnya.

Analisis pola dari data hasil pengamatan bertujuan menemukan keteraturan dalam data lapangan. Pola dapat berupa pola waktu, lokasi, frekuensi, keparahan, hubungan antarvariabel, anomali, tren, dan perbandingan sebelum-sesudah. Analisis pola dilakukan dengan merapikan data, mengelompokkan data, membuat ringkasan, menyajikan data, membandingkan dengan acuan, menulis interpretasi

awal, dan menentukan data tambahan. Pola membantu mengarahkan analisis akar masalah, tetapi tidak boleh langsung dianggap sebagai bukti akhir tanpa validasi.

C. Diagram Sebab Akibat untuk Kasus Teknik

Diagram sebab akibat merupakan alat analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan penyebab dari suatu masalah. Diagram ini juga dikenal sebagai diagram Ishikawa atau *fishbone diagram* karena bentuknya menyerupai tulang ikan. Pada bagian kepala diagram ditulis masalah utama atau efek yang ingin dianalisis, sedangkan pada bagian tulang utama ditulis kelompok-kelompok penyebab yang mungkin berkontribusi terhadap masalah tersebut.

Dalam analisis akar masalah, diagram sebab akibat membantu mahasiswa menyusun dugaan penyebab secara lebih teratur. Tanpa alat bantu seperti ini, diskusi penyebab sering menjadi acak. Mahasiswa dapat langsung menyebut satu penyebab yang paling mudah terlihat, misalnya “operator lalai,” “alat rusak,” atau “bahan kurang bagus.” Padahal, masalah teknik biasanya muncul karena kombinasi beberapa faktor. Diagram sebab akibat membantu mahasiswa melihat faktor manusia, alat, bahan, metode, pengukuran, dan lingkungan secara lebih seimbang.

Ishikawa (1986) memperkenalkan diagram sebab akibat sebagai bagian dari pengendalian mutu untuk menelusuri hubungan antara masalah dan kemungkinan penyebabnya. American Society for Quality menjelaskan bahwa *fishbone diagram* membantu mengidentifikasi banyak kemungkinan penyebab masalah dengan mengelompokkannya ke dalam kategori yang berguna (American Society for Quality, n.d.). Dalam pekerjaan teknik terapan, alat ini bermanfaat karena masalah lapangan sering tidak memiliki satu penyebab tunggal.

Diagram sebab akibat tidak langsung menetapkan akar masalah. Diagram ini berfungsi untuk menyusun peta dugaan penyebab. Setelah dugaan penyebab ditulis, mahasiswa tetap harus menguji penyebab tersebut melalui data lapangan, dokumen, hasil pengukuran, hasil inspeksi, wawancara teknis, atau standar

pembandingan. Dengan demikian, diagram sebab akibat merupakan alat bantu berpikir, bukan bukti akhir.

Dalam konteks sistem manajemen mutu, ISO 9001:2015 menekankan pentingnya tindakan terhadap ketidaksesuaian dan tindakan korektif untuk mencegah masalah berulang (International Organization for Standardization, 2015). Prinsip ini sejalan dengan penggunaan diagram sebab akibat karena tindakan korektif harus diarahkan pada penyebab yang benar, bukan hanya pada gejala. Jika penyebab hanya ditebak tanpa analisis, tindakan korektif dapat tidak efektif.

Dalam manajemen risiko, ISO 31000:2018 menekankan bahwa risiko perlu diidentifikasi, dianalisis, dievaluasi, dan ditangani secara sistematis (International Organization for Standardization, 2018). Diagram sebab akibat dapat membantu tahap identifikasi dan analisis karena mahasiswa dapat melihat faktor-faktor yang mungkin menimbulkan risiko. Pada kasus keselamatan, diagram ini juga membantu mencegah analisis yang terlalu sempit, misalnya hanya menyalahkan pekerja tanpa melihat kondisi alat, prosedur, pengawasan, dan lingkungan kerja.

Diagram sebab akibat biasanya dimulai dengan menuliskan masalah utama secara jelas. Masalah utama harus berupa gejala atau kondisi yang ingin dianalisis. Contohnya adalah “panel listrik sering trip saat beban puncak,” “hasil uji kuat tekan beton tidak konsisten,” “mesin produksi mengalami getaran berlebih,” “genangan terjadi pada area parkir setelah hujan,” atau “pekerjaan praktik tidak selesai sesuai waktu.” Pernyataan masalah harus spesifik agar penyebab yang ditulis juga terarah.

Setelah masalah utama ditentukan, mahasiswa memilih kategori penyebab. Dalam kasus teknik, kategori yang sering digunakan adalah manusia, alat atau mesin, bahan, metode, pengukuran, dan lingkungan. Kategori ini sering dikenal sebagai pendekatan 6M, yaitu man, machine, material, method, *measurement*, dan mother nature atau environment. Dalam buku ini, kategori tersebut dapat diterjemahkan menjadi manusia, alat, bahan, metode, pengukuran, dan lingkungan kerja.

Kategori manusia mencakup kompetensi, pengalaman, pelatihan, kelelahan, komunikasi, kepatuhan terhadap prosedur, pembagian tugas, dan pengawasan. Dalam kasus teknik, faktor manusia perlu dianalisis secara objektif. Mahasiswa tidak boleh langsung menulis “pekerja lalai” tanpa bukti. Pernyataan yang lebih baik adalah “operator belum menerima pelatihan prosedur start-up,” “instruksi kerja tidak dipahami,” atau “pembagian tugas tidak jelas.”

Kategori alat mencakup kondisi mesin, kapasitas alat, keausan, perawatan, kalibrasi, ketersediaan, kerusakan, dan kesesuaian alat dengan pekerjaan. Pada pekerjaan teknik, alat dapat menjadi sumber masalah jika tidak sesuai kapasitas, tidak terawat, tidak stabil, atau digunakan dengan cara yang salah. Misalnya, mesin yang bergetar dapat berkaitan dengan bearing aus, alignment tidak tepat, fondasi tidak stabil, atau baut pengikat longgar.

Kategori bahan mencakup mutu material, spesifikasi, penyimpanan, umur pakai, kondisi fisik, pemasok, dan kesesuaian bahan terhadap fungsi. Pada pekerjaan teknik sipil, bahan dapat berupa semen, agregat, baja, aspal, tanah, air, atau bahan tambah. Pada teknik mesin, bahan dapat berupa komponen, pelumas, logam, dan suku cadang. Pada teknik elektro, bahan dapat berupa kabel, terminal, MCB, isolator, atau komponen panel. Bahan yang tidak sesuai dapat menurunkan mutu dan meningkatkan risiko kegagalan.

Kategori metode mencakup prosedur kerja, urutan pekerjaan, SOP, instruksi kerja, pengawasan, metode pengujian, metode instalasi, dan pengendalian mutu. Metode yang tidak jelas dapat membuat hasil kerja berbeda antar orang atau antar waktu. Misalnya, hasil uji laboratorium yang tidak konsisten dapat terjadi karena prosedur persiapan sampel tidak seragam, waktu pengujian berbeda, atau langkah pencatatan tidak baku.

Kategori pengukuran mencakup alat ukur, kalibrasi, satuan, cara membaca, titik ukur, jumlah sampel, waktu pengukuran, dan pencatatan data. Dalam beberapa kasus, masalah bukan berasal dari objek yang diuji, tetapi dari cara mengukur. Misalnya, hasil pengujian yang menyimpang dapat terjadi karena alat ukur belum dikalibrasi,

operator salah membaca skala, atau titik pengukuran tidak konsisten. Karena itu, kategori pengukuran penting dalam analisis teknik.

Kategori lingkungan kerja mencakup suhu, kelembapan, debu, getaran, pencahayaan, kebisingan, ruang gerak, cuaca, akses kerja, kondisi tanah, genangan, dan budaya kerja. Lingkungan dapat memengaruhi manusia, alat, bahan, dan metode. Misalnya, kelembapan tinggi dapat memengaruhi panel listrik, suhu tinggi dapat memengaruhi kerja mesin, dan area kerja sempit dapat mengganggu produktivitas serta keselamatan.

Langkah pertama menyusun diagram sebab akibat adalah menentukan masalah utama. Masalah harus ditulis dalam bentuk yang jelas, singkat, dan spesifik. Contoh yang lemah adalah “mutu buruk.” Contoh yang lebih baik adalah “hasil kuat tekan beton pada tiga sampel awal berada di bawah mutu rencana.” Pernyataan kedua lebih kuat karena menunjukkan objek, jenis masalah, dan data awal.

Langkah kedua adalah menentukan kategori penyebab. Kategori dapat menggunakan 6M atau disesuaikan dengan kasus. Untuk kasus jasa atau manajemen proyek, kategori dapat mencakup manusia, proses, dokumen, komunikasi, alat, dan lingkungan. Untuk kasus laboratorium, kategori dapat mencakup sampel, alat, operator, metode uji, lingkungan, dan pencatatan. Pemilihan kategori harus membantu analisis, bukan sekadar mengikuti format.

Langkah ketiga adalah mengisi kemungkinan penyebab pada setiap kategori. Mahasiswa dapat menggunakan data observasi, wawancara teknis, laporan harian, pengalaman praktikum, dokumen, dan standar sebagai dasar. Setiap penyebab sebaiknya ditulis secara spesifik. Hindari kata umum seperti “buruk,” “tidak benar,” atau “kurang baik” tanpa penjelasan. Misalnya, tulis “alat belum dikalibrasi,” bukan “alat jelek.”

Langkah keempat adalah mengembangkan penyebab turunan. Setiap penyebab utama dapat memiliki penyebab lebih kecil. Misalnya, pada kategori metode tertulis “SOP tidak diikuti.” Penyebab turunannya dapat berupa “SOP tidak tersedia di area kerja,” “SOP menggunakan istilah sulit,” “tidak ada briefing sebelum

pekerjaan,” atau “tidak ada pemeriksaan antara.” Penyebab turunan membantu mahasiswa bergerak lebih dekat ke akar masalah.

Langkah kelima adalah menandai penyebab yang paling mungkin berdasarkan bukti awal. Tidak semua penyebab dalam diagram memiliki bobot yang sama. Beberapa penyebab mungkin hanya dugaan lemah. Beberapa penyebab lain didukung oleh data awal. Mahasiswa dapat memberi tanda bintang, warna, atau kode pada penyebab yang perlu diuji lebih dahulu. Penentuan ini membantu mengatur prioritas pengumpulan data.

Langkah keenam adalah memvalidasi penyebab dengan data. Validasi dapat dilakukan melalui pengukuran ulang, inspeksi, pengujian, perbandingan dokumen, wawancara teknis, atau analisis pola data. Diagram sebab akibat tanpa validasi hanya menghasilkan daftar kemungkinan penyebab. Agar menjadi dasar tindakan korektif, penyebab harus didukung bukti. Tabel 30 menyajikan panduan kategori penyebab dalam diagram sebab akibat untuk kasus teknik.

Tabel 30. Kategori Penyebab dalam Diagram Sebab Akibat untuk Kasus Teknik

Kategori Penyebab	Fokus Pemeriksaan	Contoh Pertanyaan Panduan	Contoh Kemungkinan Penyebab
Manusia	Kompetensi, komunikasi, pelatihan, kelelahan, pengawasan, dan kepatuhan prosedur	Apakah pelaksana memahami prosedur? Apakah pembagian tugas jelas?	Operator belum dilatih, instruksi kerja tidak jelas, atau pengawasan tidak dilakukan
Alat atau mesin	Kondisi alat, kapasitas, perawatan, kerusakan, ketersediaan, dan kalibrasi	Apakah alat sesuai kapasitas? Apakah alat terawat?	Bearing aus, alat ukur belum dikalibrasi, mesin tidak stabil, atau alat tidak tersedia
Bahan	Mutu, spesifikasi, penyimpanan, umur pakai, pemasok, dan kesesuaian fungsi	Apakah bahan sesuai spesifikasi? Apakah penyimpanan benar?	Material lembap, komponen tidak sesuai spesifikasi, pelumas salah jenis, atau bahan kedaluwarsa

Kategori Penyebab	Fokus Pemeriksaan	Contoh Pertanyaan Panduan	Contoh Kemungkinan Penyebab
Metode	SOP, urutan kerja, instruksi, pengawasan, metode uji, dan pengendalian mutu	Apakah metode kerja baku? Apakah urutan kerja benar?	SOP tidak rinci, prosedur tidak diikuti, metode pengujian berbeda antar operator
Pengukuran	Alat ukur, titik ukur, satuan, waktu pengukuran, <i>sampling</i> , dan pencatatan	Apakah data diukur dengan alat dan metode yang sesuai?	Titik ukur tidak konsisten, salah satuan, alat tidak terkalibrasi, atau data tidak lengkap
Lingkungan kerja	Cuaca, suhu, kelembapan, pencahayaan, debu, getaran, akses, dan tata letak	Apakah lingkungan memengaruhi proses atau hasil?	Area kerja sempit, kelembapan tinggi, pencahayaan kurang, debu tinggi, atau akses material terhambat

Tabel 30 menunjukkan bahwa diagram sebab akibat membantu mahasiswa memeriksa masalah secara menyeluruh. Setiap kategori berfungsi sebagai pengingat agar analisis tidak hanya fokus pada satu faktor. Namun, kategori tersebut tidak harus selalu sama. Untuk kasus tertentu, kategori dapat disesuaikan agar lebih relevan dengan konteks masalah.



Gambar 13. Contoh Diagram Sebab Akibat untuk Kasus Panel Listrik Sering Trip

Gambar 12 menunjukkan contoh penggunaan diagram sebab akibat pada kasus panel listrik yang sering trip saat beban puncak.

Diagram tersebut tidak langsung menetapkan akar masalah, tetapi memetakan kemungkinan penyebab dari enam kategori. Setelah diagram dibuat, setiap kemungkinan penyebab perlu diuji melalui data arus, tegangan, suhu panel, kondisi sambungan, kapasitas proteksi, riwayat gangguan, dan dokumen perubahan instalasi.

Diagram sebab akibat dapat digunakan pada berbagai kasus teknik. Pada kasus beton retak, masalah utama dapat ditulis sebagai “retak rambut pada permukaan beton lantai kerja.” Kategori manusia dapat mencakup keterampilan pekerja dan pengawasan. Kategori alat dapat mencakup alat pemadat dan cetakan. Kategori bahan dapat mencakup kadar air, semen, agregat, dan bahan tambah. Kategori metode dapat mencakup pencampuran, pengecoran, pemadatan, dan curing. Kategori pengukuran dapat mencakup pengambilan sampel dan hasil uji. Kategori lingkungan dapat mencakup suhu, angin, kelembapan, dan waktu pengerjaan.

Pada kasus mesin bergetar, masalah utama dapat ditulis sebagai “getaran mesin meningkat saat operasi normal.” Kategori manusia dapat mencakup kesalahan operasi atau inspeksi yang tidak dilakukan. Kategori alat dapat mencakup bearing aus, poros tidak sejajar, atau baut longgar. Kategori bahan dapat mencakup pelumas tidak sesuai atau komponen pengganti tidak standar. Kategori metode dapat mencakup jadwal perawatan yang tidak berjalan. Kategori pengukuran dapat mencakup titik ukur getaran yang tidak konsisten. Kategori lingkungan dapat mencakup fondasi tidak stabil atau debu tinggi.

Pada kasus hasil uji laboratorium tidak konsisten, masalah utama dapat ditulis sebagai “hasil uji antar sampel memiliki variasi yang besar.” Kategori manusia dapat mencakup operator berbeda atau kurang pelatihan. Kategori alat dapat mencakup alat uji tidak stabil atau belum dikalibrasi. Kategori bahan dapat mencakup sampel tidak homogen. Kategori metode dapat mencakup prosedur persiapan sampel yang tidak seragam. Kategori pengukuran dapat mencakup kesalahan pembacaan atau pencatatan. Kategori lingkungan dapat mencakup suhu dan kelembapan ruang uji.

Kekuatan diagram sebab akibat terletak pada kemampuannya membuat penyebab terlihat secara sistematis. Dengan diagram, tim dapat berdiskusi menggunakan struktur yang sama. Diagram juga memudahkan mahasiswa melihat bahwa penyebab dapat berasal dari beberapa sisi. Hal ini penting dalam pendidikan vokasi karena mahasiswa perlu belajar berpikir lintas faktor, bukan hanya berpikir pada satu komponen.

Namun, diagram sebab akibat juga memiliki keterbatasan. Pertama, diagram dapat menjadi terlalu penuh jika semua dugaan dimasukkan tanpa seleksi. Kedua, diagram dapat berisi dugaan yang tidak didukung data. Ketiga, diagram tidak menunjukkan prioritas secara otomatis. Keempat, diagram tidak membuktikan hubungan sebab akibat. Oleh karena itu, diagram harus digunakan bersama data lapangan, analisis pola, dan validasi teknis.

Agar diagram efektif, mahasiswa perlu menulis penyebab secara spesifik. Misalnya, tulis “data arus beban puncak belum tersedia,” bukan “data kurang.” Tulis “SOP pemeriksaan tidak tersedia di area kerja,” bukan “metode buruk.” Tulis “terminal panel longgar pada fasa R,” bukan “alat rusak.” Semakin spesifik penyebab yang ditulis, semakin mudah menentukan data untuk mengujinya.

Diagram sebab akibat juga perlu dibatasi sesuai ruang lingkup masalah. Jika ruang lingkup masalah adalah panel distribusi laboratorium, maka diagram tidak perlu membahas seluruh jaringan listrik kampus. Jika ruang lingkup masalah adalah satu mesin produksi, diagram tidak perlu membahas seluruh lini produksi kecuali ada hubungan langsung. Batas ruang lingkup membantu diagram tetap fokus.

Dalam diskusi kelompok, penyusunan diagram sebab akibat dapat dilakukan melalui beberapa tahap. Pertama, kelompok menyepakati masalah utama. Kedua, kelompok menentukan kategori penyebab. Ketiga, setiap anggota mengusulkan kemungkinan penyebab berdasarkan data awal. Keempat, kelompok menghapus penyebab yang tidak relevan. Kelima, kelompok menandai penyebab yang perlu diuji. Keenam, kelompok menyusun rencana pengumpulan data lanjutan.

Pada tahap validasi, mahasiswa dapat memberi status pada setiap dugaan penyebab. Status pertama adalah “didukung data.” Status kedua adalah “tidak didukung data.” Status ketiga adalah “perlu data tambahan.” Status ini membantu mahasiswa membedakan dugaan yang kuat dan dugaan yang lemah. Dengan cara ini, diagram sebab akibat tidak berhenti sebagai hasil *brainstorming*, tetapi menjadi alat kerja untuk mengarahkan analisis.

Contoh penerapan dapat dilihat pada kasus genangan di area parkir. Setelah diagram disusun, mahasiswa menemukan beberapa dugaan, seperti inlet tertutup sedimentasi, kemiringan saluran tidak cukup, kapasitas saluran kecil, outlet tersumbat, dan pembersihan tidak rutin. Dugaan tersebut kemudian diuji melalui foto, pengukuran dimensi, pengamatan aliran, data hujan, dan wawancara petugas. Jika data menunjukkan bahwa genangan selalu terjadi pada titik inlet yang tertutup sedimentasi dan berkurang setelah pembersihan, maka dugaan tersebut menjadi lebih kuat. Namun, mahasiswa tetap perlu memeriksa apakah kapasitas dan kemiringan saluran juga berkontribusi.

Contoh lain terdapat pada kasus hasil uji tidak konsisten. Diagram menunjukkan dugaan bahwa alat belum dikalibrasi, prosedur tidak seragam, sampel tidak homogen, operator berbeda, dan kondisi ruang berubah. Setelah data diperiksa, ditemukan bahwa sertifikat kalibrasi masih berlaku, tetapi prosedur persiapan sampel berbeda antar kelompok. Dalam kasus ini, dugaan “alat belum dikalibrasi” tidak didukung data, sedangkan dugaan “prosedur tidak seragam” menjadi lebih kuat. Analisis kemudian diarahkan pada pembakuan prosedur dan pelatihan penggunaan SOP.

Diagram sebab akibat juga dapat digunakan untuk menghubungkan hasil analisis pola dengan kemungkinan penyebab. Jika Subbab B menemukan pola bahwa panel trip hanya terjadi saat beban puncak, maka pada diagram sebab akibat kategori metode dan alat dapat difokuskan pada pembagian beban, kapasitas proteksi, dan penambahan peralatan. Jika pola menunjukkan genangan hanya terjadi pada satu zona, maka kategori lingkungan dan metode pemeliharaan dapat diperiksa lebih dalam.

Dalam laporan teknik, diagram sebab akibat sebaiknya disajikan setelah data gejala dan pola awal dijelaskan. Urutan ini penting agar diagram tidak terlihat sebagai dugaan tanpa dasar. Laporan dapat menjelaskan bahwa berdasarkan data awal, masalah utama ditetapkan, kemudian kemungkinan penyebab dipetakan melalui diagram sebab akibat. Setelah itu, penyebab yang paling relevan diuji dengan data tambahan.

Mahasiswa perlu menghindari penggunaan diagram sebab akibat sebagai hiasan laporan. Diagram harus berfungsi dalam analisis. Setiap cabang penyebab yang penting perlu dibahas. Jika diagram mencantumkan “alat belum dikalibrasi,” maka laporan perlu menjelaskan apakah status kalibrasi diperiksa. Jika diagram mencantumkan “pembagian beban tidak seimbang,” maka laporan perlu menjelaskan apakah data arus tiap fasa dikumpulkan. Dengan demikian, diagram terhubung dengan bukti teknis.

Diagram sebab akibat juga dapat dikombinasikan dengan teknik lain. Setelah diagram disusun, mahasiswa dapat menggunakan pertanyaan “mengapa” secara bertahap pada penyebab yang paling mungkin. Mahasiswa juga dapat menggunakan tabel validasi penyebab untuk memeriksa data pendukung. Untuk menentukan prioritas, mahasiswa dapat menggunakan matriks dampak dan urgensi. Kombinasi ini membuat analisis lebih kuat.

Pada akhirnya, diagram sebab akibat membantu mahasiswa menyusun kemungkinan penyebab secara sistematis. Diagram ini mengajarkan bahwa masalah teknik tidak boleh dilihat dari satu sisi saja. Manusia, alat, bahan, metode, pengukuran, dan lingkungan dapat saling memengaruhi. Namun, diagram hanya menjadi langkah awal. Akar masalah tetap harus divalidasi dengan data. Dengan penggunaan yang tepat, diagram sebab akibat menjadi alat penting untuk menghubungkan gejala, pola data, dugaan penyebab, dan tindakan korektif.

Diagram sebab akibat merupakan alat analisis yang digunakan untuk memetakan kemungkinan penyebab dari suatu masalah. Diagram ini membantu mahasiswa mengelompokkan penyebab berdasarkan kategori seperti manusia, alat, bahan, metode,

pengukuran, dan lingkungan kerja. Diagram sebab akibat tidak langsung membuktikan akar masalah, tetapi membantu menyusun dugaan penyebab secara sistematis. Setiap dugaan penyebab harus divalidasi dengan data lapangan, dokumen, pengukuran, inspeksi, atau wawancara teknis sebelum digunakan sebagai dasar tindakan korektif.

D. Metode Lima Mengapa dalam Analisis Lapangan

Metode Lima Mengapa merupakan teknik analisis akar masalah yang dilakukan dengan mengajukan pertanyaan “mengapa” secara berulang terhadap suatu gejala atau masalah. Tujuannya adalah menelusuri hubungan sebab akibat dari kondisi yang tampak di permukaan menuju penyebab yang lebih mendasar. Dalam pekerjaan teknik terapan, metode ini berguna karena mudah digunakan, tidak memerlukan perangkat lunak khusus, dan dapat diterapkan langsung pada diskusi lapangan.

Metode Lima Mengapa sering dikaitkan dengan praktik perbaikan berkelanjutan dalam sistem produksi Toyota. Ohno (1988) menjelaskan bahwa dengan mengulangi pertanyaan “mengapa” beberapa kali, seseorang dapat menemukan sifat dasar suatu masalah. Dalam konteks vokasi keteknikan, metode ini dapat membantu mahasiswa tidak berhenti pada jawaban pertama. Jawaban pertama sering kali masih berada pada tingkat gejala atau penyebab sementara, bukan akar masalah.

Meskipun disebut Lima Mengapa, jumlah pertanyaan tidak selalu harus tepat lima. Pada beberapa kasus sederhana, akar masalah dapat ditemukan setelah tiga pertanyaan. Pada kasus yang lebih kompleks, pertanyaan dapat melebihi lima. Angka lima lebih tepat dipahami sebagai pengingat agar analisis tidak berhenti terlalu cepat. Yang lebih penting bukan jumlah pertanyaannya, tetapi kedalaman penelusuran, keterhubungan logis antarjawaban, dan bukti yang mendukung setiap jawaban.

Metode Lima Mengapa dimulai dari gejala atau pernyataan masalah yang jelas. Jika masalah awal tidak jelas, pertanyaan “mengapa” akan menghasilkan jawaban yang tidak terarah. Contoh

masalah yang masih terlalu umum adalah “pekerjaan buruk.” Pernyataan yang lebih baik adalah “hasil pengukuran dimensi benda kerja pada lima sampel tidak sesuai toleransi gambar.” Pernyataan kedua lebih sesuai untuk dianalisis karena memiliki objek, gejala, dan acuan teknis.

Dalam analisis lapangan, setiap jawaban “mengapa” harus didukung oleh data atau bukti. Jawaban tidak boleh hanya berdasarkan dugaan, kebiasaan, atau pendapat pribadi. Jika jawaban belum memiliki bukti, maka jawaban tersebut harus ditulis sebagai dugaan sementara yang memerlukan verifikasi. Prinsip ini penting karena Metode Lima Mengapa dapat menghasilkan kesimpulan yang salah jika dilakukan hanya dengan asumsi.

ISO 9001:2015 menekankan pentingnya tindakan terhadap ketidaksesuaian dan tindakan korektif dalam sistem manajemen mutu (International Organization for Standardization, 2015). Dalam konteks ini, Metode Lima Mengapa membantu tim menelusuri penyebab ketidaksesuaian sebelum menentukan tindakan korektif. Tindakan korektif harus diarahkan pada penyebab yang benar agar ketidaksesuaian tidak terjadi kembali.

Metode Lima Mengapa juga berkaitan dengan manajemen risiko. ISO 31000:2018 menjelaskan bahwa risiko perlu diidentifikasi, dianalisis, dievaluasi, dan ditangani secara sistematis (International Organization for Standardization, 2018). Ketika metode ini digunakan pada masalah yang memiliki dampak keselamatan, mutu kritis, biaya besar, atau gangguan fungsi utama, setiap jawaban perlu diperiksa secara lebih hati-hati. Jika ada risiko langsung terhadap manusia, tindakan pengamanan awal harus dilakukan sebelum analisis dilanjutkan.

Langkah pertama dalam menggunakan Metode Lima Mengapa adalah merumuskan masalah utama secara spesifik. Masalah perlu ditulis dalam bentuk kondisi yang dapat diamati atau diukur. Misalnya, “panel distribusi laboratorium trip tiga kali dalam satu hari saat beban puncak,” “mesin bubut mengalami getaran berlebih pada putaran 1.200 rpm,” atau “saluran drainase parkir utara menimbulkan

genangan setelah hujan sedang.” Pernyataan seperti ini memudahkan penelusuran penyebab.

Langkah kedua adalah mengajukan pertanyaan “mengapa” pertama. Pertanyaan ini diarahkan untuk menemukan penyebab langsung dari gejala. Misalnya, “mengapa panel trip saat beban puncak.” Jawaban sementara dapat berupa “karena arus pada salah satu fasa melebihi kapasitas proteksi.” Jawaban ini belum tentu akar masalah. Jawaban ini masih perlu diuji melalui data arus, kapasitas MCB, dan kondisi pembagian beban.

Langkah ketiga adalah mengajukan pertanyaan “mengapa” berikutnya terhadap jawaban sebelumnya. Jika jawaban pertama adalah “arus pada salah satu fasa melebihi kapasitas proteksi,” maka pertanyaan berikutnya adalah “mengapa arus pada salah satu fasa melebihi kapasitas proteksi.” Jawabannya dapat berupa “karena beberapa peralatan tambahan terhubung pada fasa yang sama.” Jawaban ini mulai mengarah pada penyebab yang lebih dalam, tetapi masih perlu ditelusuri.

Langkah keempat adalah melanjutkan pertanyaan sampai ditemukan penyebab yang dapat ditindaklanjuti secara sistemik. Misalnya, pertanyaan berikutnya adalah “mengapa beberapa peralatan tambahan terhubung pada fasa yang sama.” Jawabannya dapat berupa “karena penambahan beban dilakukan tanpa pemeriksaan pembagian beban.” Pertanyaan berikutnya adalah “mengapa penambahan beban dilakukan tanpa pemeriksaan.” Jawabannya dapat berupa “karena belum ada prosedur persetujuan teknis untuk penambahan peralatan listrik.” Pada titik ini, akar masalah mulai terlihat pada kelemahan prosedur pengendalian perubahan beban.

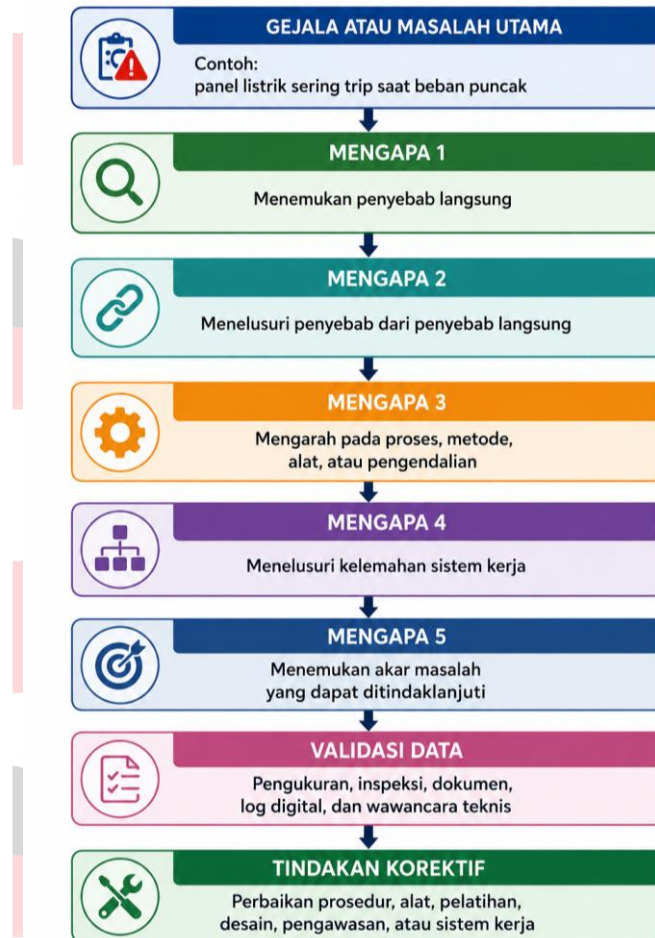
Langkah kelima adalah memvalidasi rantai sebab akibat dengan data. Setiap jawaban perlu diperiksa. Apakah benar arus melebihi kapasitas. Apakah benar beban tidak seimbang. Apakah benar ada penambahan peralatan. Apakah benar tidak ada prosedur persetujuan teknis. Jika salah satu jawaban tidak didukung data, rantai analisis harus diperbaiki. Metode Lima Mengapa bukan latihan membuat cerita sebab akibat, melainkan penelusuran yang harus didukung

bukti. Tabel 31 menyajikan contoh penerapan Metode Lima Mengapa pada beberapa kasus teknik.

Tabel 31. Contoh Penerapan Metode Lima Mengapa dalam Kasus Teknik Terapan

Kasus	Pertanyaan Mengapa	Jawaban Sementara	Data yang Perlu Diperiksa
Panel listrik sering trip	Mengapa panel trip saat beban puncak?	Arus pada salah satu fasa melebihi kapasitas proteksi	Data arus tiap fasa, kapasitas MCB, waktu kejadian
Panel listrik sering trip	Mengapa arus pada salah satu fasa melebihi kapasitas?	Beberapa peralatan tambahan terhubung pada fasa yang sama	Daftar beban, layout instalasi, riwayat penambahan alat
Panel listrik sering trip	Mengapa peralatan tambahan terhubung pada fasa yang sama?	Penambahan beban dilakukan tanpa pemeriksaan pembagian beban	Dokumen perubahan instalasi, wawancara teknis, catatan pekerjaan
Panel listrik sering trip	Mengapa tidak ada pemeriksaan pembagian beban?	Belum ada prosedur persetujuan teknis untuk penambahan beban	SOP, instruksi kerja, alur persetujuan, tanggung jawab teknis
Panel listrik sering trip	Mengapa prosedur persetujuan teknis belum tersedia?	Pengendalian perubahan instalasi belum ditetapkan dalam sistem kerja	Dokumen manajemen fasilitas, kebijakan pemeliharaan, catatan audit internal
Mesin bergetar	Mengapa mesin bergetar saat operasi normal?	Poros tidak sejajar atau bearing mulai aus	Data getaran, inspeksi bearing, hasil alignment
Mesin bergetar	Mengapa alignment tidak sesuai?	Pemeriksaan alignment tidak dilakukan setelah penggantian komponen	Catatan perawatan, laporan penggantian komponen, checklist pekerjaan
Mesin bergetar	Mengapa pemeriksaan alignment tidak dilakukan?	Checklist perawatan tidak memuat pemeriksaan alignment setelah pembongkaran	Checklist perawatan, SOP <i>maintenance</i> , wawancara teknis
Drainase tergenang	Mengapa air menggenang setelah hujan?	Aliran menuju outlet terhambat	Foto aliran, kondisi inlet, outlet, dan sedimentasi
Drainase tergenang	Mengapa aliran terhambat?	Inlet tertutup sedimentasi dan sampah	Dokumentasi foto, kedalaman sedimentasi, riwayat pembersihan
Drainase tergenang	Mengapa inlet tertutup sedimentasi dan sampah?	Pembersihan rutin tidak dilakukan sesuai kebutuhan musim hujan	Jadwal perawatan, laporan kebersihan, wawancara petugas

Tabel 31 menunjukkan bahwa Metode Lima Mengapa dapat digunakan pada berbagai kasus teknik. Tabel tersebut juga memperlihatkan bahwa setiap jawaban harus dikaitkan dengan data yang perlu diperiksa. Dengan cara ini, mahasiswa tidak hanya menyusun rantai pertanyaan, tetapi juga belajar menguji setiap dugaan melalui bukti teknis.



Gambar 14. Alur Metode Lima Mengapa dalam Analisis Lapangan

Gambar 13 menjelaskan bahwa Metode Lima Mengapa dimulai dari gejala atau masalah utama, kemudian menelusuri penyebab secara bertahap melalui pertanyaan “mengapa.” Setiap jawaban harus diperiksa dengan data. Setelah akar masalah ditemukan dan

divalidasi, tindakan korektif dapat dirancang. Alur ini membantu mahasiswa memahami bahwa pertanyaan “mengapa” bukan sekadar diskusi, tetapi bagian dari analisis berbasis bukti.

Kekuatan Metode Lima Mengapa terletak pada kesederhanaannya. Mahasiswa dapat menggunakan metode ini dalam diskusi kelompok, observasi lapangan, praktikum, kegiatan magang, atau evaluasi proyek kecil. Metode ini mendorong mahasiswa untuk tidak berhenti pada jawaban pertama. Dalam banyak kasus, jawaban pertama hanya menjelaskan penyebab langsung, sedangkan akar masalah berada pada prosedur, sistem perawatan, pengendalian dokumen, pelatihan, atau pengawasan.

Namun, metode ini juga memiliki keterbatasan. Keterbatasan pertama adalah risiko jawaban subjektif. Jika tim tidak menggunakan data, jawaban dapat mengikuti pendapat orang yang paling dominan. Keterbatasan kedua adalah kecenderungan menghasilkan satu jalur penyebab. Padahal, masalah teknik sering memiliki beberapa penyebab yang saling berhubungan. Keterbatasan ketiga adalah kemungkinan berhenti terlalu cepat pada penyebab yang mudah diterima. Keterbatasan keempat adalah kurang tepat untuk masalah sangat kompleks jika digunakan tanpa alat bantu lain.

Untuk mengurangi keterbatasan tersebut, Metode Lima Mengapa perlu digunakan bersama data lapangan. Mahasiswa dapat menggabungkannya dengan diagram sebab akibat, analisis pola data, inspeksi, pengukuran, dan wawancara teknis. Diagram sebab akibat membantu memetakan banyak kemungkinan penyebab. Metode Lima Mengapa membantu menelusuri satu penyebab yang diprioritaskan secara lebih dalam. Kombinasi keduanya membuat analisis lebih kuat.

Metode Lima Mengapa juga perlu digunakan dalam suasana diskusi yang objektif. Tujuan metode ini bukan mencari pihak yang dapat disalahkan, melainkan menemukan penyebab yang dapat diperbaiki. Jika pertanyaan “mengapa” diarahkan untuk menyalahkan seseorang, responden dapat menjadi defensif. Akibatnya, informasi penting tidak muncul. Oleh karena itu, pertanyaan perlu diarahkan pada proses, kondisi, data, prosedur, dan sistem kerja.

Contoh pertanyaan yang kurang baik adalah “mengapa operator tidak hati-hati.” Pertanyaan ini cenderung menyalahkan individu. Pertanyaan yang lebih baik adalah “mengapa operator tidak mengikuti urutan pemeriksaan awal.” Pertanyaan berikutnya dapat berupa “mengapa urutan pemeriksaan awal tidak digunakan” atau “mengapa checklist tidak tersedia di area kerja.” Pertanyaan seperti ini lebih membantu menemukan kelemahan sistem kerja.

Dalam kasus keselamatan, penggunaan Metode Lima Mengapa harus dilakukan dengan hati-hati. Jika terdapat bahaya langsung, tindakan pengamanan awal harus dilakukan terlebih dahulu. Misalnya, jika ditemukan kabel terbuka, area harus diamankan sebelum analisis dilakukan. Setelah bahaya dikendalikan, pertanyaan “mengapa” dapat digunakan untuk menelusuri penyebab. Mengapa kabel terbuka. Mengapa inspeksi tidak menemukan kondisi tersebut lebih awal. Mengapa kabel tidak dilindungi. Mengapa prosedur pemeriksaan tidak mencakup titik tersebut. Dengan cara ini, analisis keselamatan tidak berhenti pada tindakan darurat.

Metode Lima Mengapa juga dapat digunakan pada masalah mutu. Misalnya, hasil uji kuat tekan beton lebih rendah dari mutu rencana. Mengapa hasil uji rendah. Karena beberapa benda uji menunjukkan kekuatan di bawah target. Mengapa benda uji tersebut memiliki kekuatan rendah. Karena benda uji tidak dirawat dalam kondisi lembap sesuai prosedur. Mengapa perawatan tidak dilakukan sesuai prosedur. Karena area penyimpanan sampel tidak memiliki jadwal penyiraman dan pencatatan. Mengapa tidak ada jadwal dan pencatatan. Karena prosedur perawatan sampel belum dijadikan checklist laboratorium. Akar masalah dapat mengarah pada kelemahan prosedur dan dokumentasi perawatan sampel.

Metode ini juga dapat digunakan pada masalah produktivitas. Misalnya, pekerjaan praktik tidak selesai sesuai waktu. Mengapa pekerjaan tidak selesai. Karena mahasiswa banyak menunggu penggunaan mesin. Mengapa banyak menunggu. Karena jadwal penggunaan mesin tidak dibagi berdasarkan kelompok. Mengapa jadwal tidak dibagi. Karena rencana praktik hanya memuat target produk, bukan alur penggunaan alat. Mengapa alur penggunaan alat

tidak direncanakan. Karena format rencana praktik belum memasukkan analisis kapasitas mesin dan waktu setup. Akar masalah dapat berkaitan dengan perencanaan praktik, bukan hanya kecepatan mahasiswa.

Dalam menulis hasil analisis Lima Mengapa, mahasiswa perlu menggunakan tabel yang rapi. Tabel dapat memuat nomor pertanyaan, jawaban, bukti pendukung, status validasi, dan rencana tindakan. Status validasi dapat berupa “terbukti,” “tidak terbukti,” atau “perlu data tambahan.” Format ini membantu pembaca melihat bahwa analisis dilakukan secara sistematis. Tabel juga membantu dosen menilai apakah setiap jawaban didukung data.

Hasil akhir dari Metode Lima Mengapa harus berupa akar masalah yang dapat ditindaklanjuti. Akar masalah yang baik tidak berhenti pada pernyataan umum. Contoh akar masalah yang lemah adalah “kurang pengawasan.” Pernyataan yang lebih kuat adalah “tidak ada checklist pemeriksaan akhir yang harus ditandatangani sebelum panel dioperasikan.” Pernyataan kedua lebih jelas, dapat diperbaiki, dan dapat diverifikasi. Tindakan korektifnya dapat berupa penyusunan checklist, penetapan penanggung jawab, pelatihan, dan pemeriksaan berkala.

Mahasiswa juga perlu membedakan antara akar masalah dan tindakan korektif. Akar masalah menjawab mengapa masalah terjadi. Tindakan korektif menjawab apa yang harus dilakukan agar masalah tidak berulang. Misalnya, akar masalahnya adalah “jadwal perawatan tidak memuat pemeriksaan alignment setelah penggantian komponen.” Tindakan korektifnya adalah “merevisi jadwal perawatan, menambahkan checklist alignment, melatih teknisi, dan memeriksa hasil penerapan pada periode berikutnya.”

Metode Lima Mengapa dapat diterapkan secara individu, tetapi lebih baik dilakukan dalam tim. Tim memungkinkan beberapa sudut pandang muncul. Operator memahami perilaku alat saat digunakan. Teknisi memahami perawatan. *Supervisor* memahami jadwal dan sumber daya. Pengguna memahami dampak masalah. Mahasiswa memahami data observasi. Diskusi tim membantu memperkaya

jawaban, tetapi tetap harus dikendalikan dengan data agar tidak menjadi debat opini.

Dalam kegiatan pembelajaran, dosen dapat memberi tugas analisis Lima Mengapa berdasarkan kasus nyata. Mahasiswa diminta memilih satu gejala, menyusun rantai pertanyaan, menuliskan bukti yang mendukung setiap jawaban, dan menentukan akar masalah sementara. Setelah itu, mahasiswa mempresentasikan hasilnya. Kelompok lain dapat menguji apakah jawaban sudah logis, apakah bukti cukup, dan apakah tindakan korektif sesuai dengan akar masalah.

Pada laporan akhir, Metode Lima Mengapa sebaiknya tidak berdiri sendiri. Hasilnya perlu dihubungkan dengan data pengamatan, diagram sebab akibat, dan validasi akar masalah. Misalnya, diagram sebab akibat menunjukkan beberapa dugaan penyebab. Analisis pola menunjukkan masalah paling sering terjadi pada kondisi tertentu. Metode Lima Mengapa kemudian digunakan untuk menelusuri penyebab yang paling mungkin. Setelah itu, data tambahan digunakan untuk memvalidasi akar masalah.

Metode Lima Mengapa sangat berguna untuk kasus yang memiliki rantai sebab akibat relatif jelas. Namun, untuk kasus yang sangat kompleks, metode ini perlu didukung teknik lain. Masalah seperti keterlambatan proyek besar, kegagalan sistem otomatis, atau kecelakaan kerja dapat memiliki banyak jalur penyebab. Dalam kasus seperti itu, Metode Lima Mengapa dapat digunakan pada setiap cabang penyebab, lalu hasilnya digabungkan dengan diagram sebab akibat atau matriks prioritas.

Pada akhirnya, Metode Lima Mengapa membantu mahasiswa berpikir lebih mendalam. Mahasiswa belajar bahwa jawaban pertama belum tentu akar masalah. Mahasiswa juga belajar bahwa pertanyaan sederhana dapat menghasilkan analisis yang kuat jika didukung data. Dalam *problem solving* teknik terapan, metode ini menjadi alat penting untuk menghubungkan gejala, penyebab sementara, akar masalah, dan tindakan korektif yang dapat diterapkan di lapangan.

Metode Lima Mengapa adalah teknik analisis akar masalah dengan mengajukan pertanyaan “mengapa” secara berulang terhadap gejala

atau masalah utama. Tujuannya adalah menelusuri penyebab langsung menuju penyebab yang lebih mendasar. Jumlah pertanyaan tidak harus selalu tepat lima, tetapi analisis tidak boleh berhenti terlalu cepat. Setiap jawaban harus didukung oleh data lapangan, dokumen, hasil pengukuran, inspeksi, atau wawancara teknis. Metode ini sederhana dan efektif, tetapi perlu digunakan bersama data serta alat analisis lain agar tidak menghasilkan kesimpulan subjektif.

E. Analisis Pareto untuk Menentukan Penyebab Dominan

Analisis Pareto merupakan teknik yang digunakan untuk menentukan penyebab dominan dari suatu masalah. Teknik ini membantu mahasiswa melihat penyebab mana yang memberi kontribusi paling besar terhadap gejala, kerugian, keterlambatan, cacat, gangguan, atau biaya. Dalam *problem solving* teknik terapan, Analisis Pareto sangat berguna karena tidak semua penyebab memiliki pengaruh yang sama. Beberapa penyebab kecil dapat sering muncul, tetapi dampaknya rendah. Sebaliknya, satu penyebab dapat muncul tidak terlalu sering, tetapi menimbulkan biaya atau risiko besar.

Analisis Pareto didasarkan pada prinsip bahwa sebagian kecil penyebab sering memberikan kontribusi besar terhadap sebagian besar masalah. Prinsip ini sering dikenal sebagai prinsip 80/20. Artinya, dalam banyak kasus, sekitar 80 persen dampak dapat berasal dari sekitar 20 persen penyebab. Angka tersebut tidak harus selalu tepat. Dalam praktik lapangan, perbandingannya bisa 70/30, 60/40, atau bentuk lain. Yang penting adalah gagasan bahwa penyebab perlu diurutkan berdasarkan kontribusinya agar tindakan perbaikan dapat diprioritaskan.

Dalam pekerjaan teknik, Analisis Pareto dapat digunakan pada berbagai kasus. Pada pekerjaan konstruksi, Pareto dapat digunakan untuk melihat jenis cacat pekerjaan yang paling sering muncul. Pada pekerjaan bengkel, Pareto dapat digunakan untuk melihat jenis kesalahan produksi yang paling banyak terjadi. Pada perawatan mesin, Pareto dapat digunakan untuk melihat jenis kerusakan yang paling banyak menyebabkan downtime. Pada laboratorium, Pareto dapat digunakan untuk melihat sumber ketidaksesuaian hasil uji. Pada

proyek, Pareto dapat digunakan untuk melihat penyebab keterlambatan yang paling dominan.

Pareto chart biasanya berbentuk grafik batang. Batang menunjukkan kategori penyebab atau jenis masalah. Batang disusun dari nilai terbesar ke nilai terkecil. Pada grafik yang sama, dapat ditambahkan garis persentase kumulatif untuk menunjukkan kontribusi total dari beberapa kategori teratas. American Society for Quality menjelaskan bahwa Pareto chart mengurutkan batang dari yang terpanjang di kiri ke yang terpendek di kanan, dengan ukuran dapat berupa frekuensi, biaya, waktu, atau uang (American Society for Quality, n.d.). Dalam konteks teknik, ukuran tersebut dapat disesuaikan dengan tujuan analisis.

Analisis Pareto berbeda dari sekadar menghitung jumlah kejadian. Jumlah kejadian memang penting, tetapi tidak selalu cukup. Jika semua masalah memiliki tingkat dampak yang sama, frekuensi dapat digunakan sebagai dasar. Namun, jika tingkat dampak berbeda, mahasiswa perlu mempertimbangkan bobot. Misalnya, kerusakan ringan dapat terjadi sering, tetapi hanya membutuhkan perbaikan kecil. Kerusakan berat mungkin jarang terjadi, tetapi menyebabkan mesin berhenti lama. Dalam kasus seperti ini, Pareto berbasis waktu downtime atau biaya dapat lebih tepat daripada Pareto berbasis frekuensi.

Langkah pertama dalam Analisis Pareto adalah menentukan masalah yang akan dianalisis. Masalah harus spesifik dan memiliki data yang dapat dikelompokkan. Contohnya adalah “jenis cacat pada benda kerja praktik selama satu bulan,” “penyebab downtime mesin produksi selama tiga bulan,” “penyebab keterlambatan pekerjaan lapangan selama empat minggu,” atau “jenis ketidaksesuaian hasil inspeksi panel listrik.” Masalah yang terlalu umum akan menghasilkan kategori yang tidak jelas.

Langkah kedua adalah menentukan kategori penyebab atau kategori kejadian. Kategori dapat berasal dari hasil observasi, laporan inspeksi, diagram sebab akibat, log digital, laporan harian, atau diskusi teknis. Kategori harus disusun secara jelas dan tidak tumpang tindih. Misalnya, pada kasus keterlambatan proyek, kategori dapat

berupa keterlambatan material, alat tidak tersedia, tenaga kerja kurang, perubahan desain, cuaca, akses lokasi, dan pekerjaan ulang. Jika kategori tumpang tindih, hasil Pareto dapat menyedatkan.

Langkah ketiga adalah menentukan ukuran kontribusi. Ukuran kontribusi dapat berupa frekuensi kejadian, durasi keterlambatan, biaya kerugian, jumlah cacat, waktu henti mesin, volume pekerjaan ulang, atau tingkat risiko. Pemilihan ukuran harus disesuaikan dengan tujuan analisis. Jika tujuan adalah mengurangi jumlah cacat, frekuensi cacat dapat digunakan. Jika tujuan adalah mengurangi downtime, durasi downtime lebih tepat. Jika tujuan adalah mengurangi biaya, nilai biaya kerugian lebih relevan.

Langkah keempat adalah mengumpulkan data. Data harus berasal dari periode, lokasi, atau objek yang jelas. Misalnya, data cacat dikumpulkan selama empat minggu pada satu bengkel praktik. Data downtime dikumpulkan selama tiga bulan pada satu mesin. Data keterlambatan dikumpulkan dari laporan harian proyek. Setiap data harus memiliki sumber yang dapat ditelusuri. Jika data tidak lengkap, keterbatasan tersebut perlu dicatat.

Langkah kelima adalah menjumlahkan kontribusi setiap kategori. Misalnya, jumlahkan berapa kali setiap jenis cacat terjadi, berapa jam downtime disebabkan oleh setiap jenis gangguan, atau berapa rupiah biaya pekerjaan ulang yang disebabkan oleh setiap kategori. Hasil penjumlahan ini menjadi dasar pengurutan.

Langkah keenam adalah mengurutkan kategori dari nilai terbesar ke nilai terkecil. Urutan ini merupakan ciri utama Analisis Pareto. Kategori dengan nilai terbesar ditempatkan di paling atas pada tabel atau paling kiri pada grafik. Dengan cara ini, penyebab dominan langsung terlihat. Kategori kecil dapat tetap ditampilkan, tetapi tidak menjadi fokus utama tindakan awal.

Langkah ketujuh adalah menghitung persentase dan persentase kumulatif. Persentase menunjukkan kontribusi setiap kategori terhadap total. Persentase kumulatif menunjukkan jumlah kontribusi dari kategori terbesar sampai kategori tertentu. Persentase kumulatif membantu menentukan beberapa kategori teratas yang perlu

diprioritaskan. Misalnya, tiga kategori pertama dapat menyumbang 75 persen dari total downtime. Artinya, tindakan perbaikan sebaiknya difokuskan pada tiga kategori tersebut terlebih dahulu.

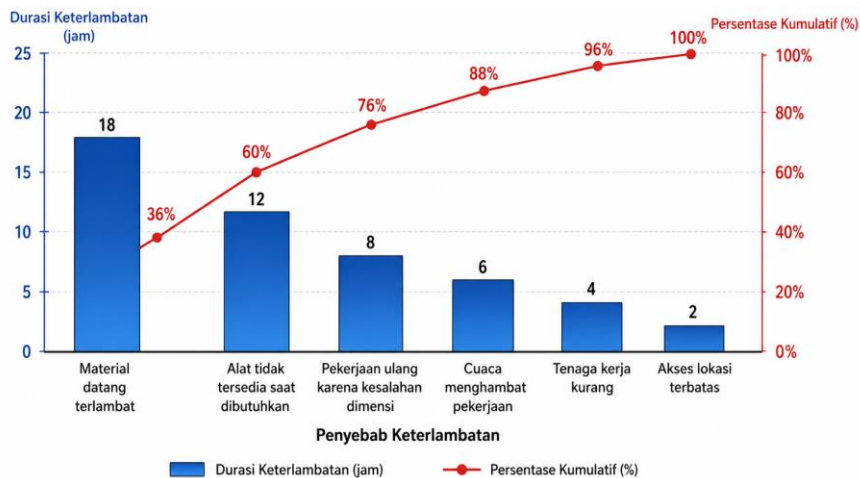
Langkah kedelapan adalah menyusun interpretasi. Interpretasi harus menjelaskan kategori dominan, besaran kontribusi, dampaknya terhadap masalah, dan tindakan analisis lanjutan. Interpretasi tidak boleh berhenti pada pernyataan “penyebab terbesar adalah material terlambat.” Mahasiswa perlu menelusuri mengapa material terlambat, bagaimana dampaknya, data apa yang mendukung, dan tindakan korektif apa yang perlu dipertimbangkan. Dengan demikian, Analisis Pareto menjadi pintu masuk ke analisis akar masalah yang lebih mendalam. Tabel 32 menyajikan contoh Analisis Pareto pada kasus keterlambatan pekerjaan lapangan.

Tabel 32. Contoh Analisis Pareto Penyebab Keterlambatan Pekerjaan Lapangan

No.	Penyebab Keterlambatan	Durasi Keterlambatan	Persentase	Persentase Kumulatif	Prioritas Analisis
1	Material datang terlambat	18 Jam	36%	36%	Prioritas 1
2	Alat tidak tersedia saat dibutuhkan	12 Jam	24%	60%	Prioritas 2
3	Pekerjaan ulang karena kesalahan dimensi	8 Jam	16%	76%	Prioritas 3
4	Cuaca menghambat pekerjaan	6 Jam	12%	88%	Dipantau dan disiapkan mitigasi
5	Tenaga kerja kurang	4 Jam	8%	96%	Dipantau
6	Akses lokasi terbatas	2 Jam	4%	100%	Dipantau
Total		50 Jam	100%		

Tabel 32 menunjukkan bahwa tiga penyebab teratas menyumbang 76 persen dari total keterlambatan. Berdasarkan data tersebut, analisis lanjutan dapat difokuskan pada keterlambatan material, ketersediaan alat, dan pekerjaan ulang karena kesalahan dimensi. Hal ini tidak

berarti penyebab lain diabaikan. Cuaca, tenaga kerja, dan akses lokasi tetap perlu dipantau. Namun, sumber daya awal sebaiknya diarahkan pada penyebab yang kontribusinya paling besar.



Gambar 14. Diagram Pareto Penyebab Keterlambatan Pekerjaan Lapangan

Gambar 14 menunjukkan penyebab keterlambatan pekerjaan lapangan yang diurutkan berdasarkan durasi kontribusinya. Batang tertinggi menunjukkan penyebab dengan dampak terbesar, sedangkan garis kumulatif menunjukkan kontribusi total dari beberapa penyebab teratas. Diagram ini membantu mahasiswa menentukan penyebab dominan yang perlu dianalisis lebih dahulu.

Dalam penggunaan Analisis Pareto, mahasiswa perlu memperhatikan kualitas data. Data yang tidak lengkap, tidak konsisten, atau tidak mewakili kondisi sebenarnya dapat menghasilkan prioritas yang keliru. Misalnya, jika laporan keterlambatan tidak mencatat cuaca secara lengkap, kontribusi faktor cuaca dapat terlihat lebih kecil dari kondisi sebenarnya. Jika downtime mesin tidak dicatat per jenis gangguan, penyebab dominan sulit ditentukan. Oleh karena itu, data Pareto perlu berasal dari pencatatan yang terstruktur.

Analisis Pareto juga harus memperhatikan periode data. Periode yang terlalu pendek dapat menghasilkan gambaran yang tidak stabil. Misalnya, data satu hari mungkin menunjukkan bahwa penyebab

terbesar adalah cuaca. Namun, data satu bulan mungkin menunjukkan bahwa keterlambatan material lebih dominan. Periode pengamatan harus sesuai dengan karakter masalah. Untuk masalah harian, data beberapa hari dapat cukup sebagai analisis awal. Untuk masalah yang berulang mingguan atau bulanan, periode data harus lebih panjang.

Mahasiswa juga perlu memperhatikan kategori “lain-lain.” Kategori ini sering muncul ketika data tidak dikelompokkan dengan baik. Jika kategori “lain-lain” terlalu besar, Analisis Pareto menjadi kurang berguna. Kategori besar seperti “lain-lain” perlu dipecah menjadi kategori yang lebih jelas. Misalnya, “gangguan teknis” dapat dipecah menjadi “bearing aus,” “motor panas,” “sensor error,” dan “belt longgar.” Semakin jelas kategori, semakin mudah menentukan tindakan lanjutan.

Dalam beberapa kasus, Pareto berbasis frekuensi dan Pareto berbasis dampak dapat menghasilkan prioritas berbeda. Misalnya, cacat permukaan dapat terjadi 30 kali, sedangkan retak struktural terjadi 3 kali. Jika menggunakan frekuensi, cacat permukaan tampak dominan. Namun, jika menggunakan tingkat risiko atau biaya perbaikan, retak struktural dapat menjadi prioritas lebih tinggi. Oleh karena itu, mahasiswa perlu memilih ukuran kontribusi yang sesuai dengan tujuan *problem solving*.

Analisis Pareto tidak menggantikan penilaian risiko. Untuk masalah yang berkaitan dengan keselamatan, penyebab yang jarang terjadi tetap dapat menjadi prioritas jika dampaknya sangat besar. Misalnya, kejadian hampir tersengat listrik mungkin hanya terjadi satu kali, tetapi harus ditangani segera karena risikonya tinggi. Dalam hal ini, Pareto membantu melihat dominasi data, sedangkan penilaian risiko membantu menentukan prioritas keselamatan. ISO 31000:2018 menekankan bahwa risiko perlu dianalisis dan dievaluasi untuk mendukung pengambilan keputusan (International Organization for Standardization, 2018).

Dalam pengendalian proses, Analisis Pareto dapat dikombinasikan dengan control chart. Pareto membantu menentukan kategori penyebab dominan, sedangkan control chart membantu melihat stabilitas proses dari waktu ke waktu. ISO 7870-1:2019 memberikan

pedoman umum mengenai prinsip dan konsep control chart, serta versi tersebut telah ditinjau dan dikonfirmasi tetap berlaku pada 2025 (International Organization for Standardization, 2019). Dalam pendidikan vokasi, mahasiswa cukup memahami bahwa grafik pengendalian dan Pareto sama-sama membantu membaca data proses, tetapi fungsi keduanya berbeda.

Analisis Pareto juga dapat digunakan bersama diagram sebab akibat. Diagram sebab akibat membantu mengidentifikasi banyak kemungkinan penyebab. Pareto membantu memilih penyebab mana yang paling dominan berdasarkan data. Setelah penyebab dominan dipilih, Metode Lima Mengapa dapat digunakan untuk menelusuri akar masalahnya. Dengan demikian, ketiga alat ini saling melengkapi. Diagram sebab akibat memetakan kemungkinan penyebab. Pareto memilih prioritas berdasarkan kontribusi. Lima Mengapa menelusuri penyebab dominan secara lebih mendalam.

Contoh hubungan tersebut dapat dilihat pada kasus keterlambatan pekerjaan. Diagram sebab akibat menunjukkan penyebab potensial, seperti material, alat, tenaga kerja, metode, cuaca, dan akses. Data Pareto menunjukkan bahwa material terlambat dan alat tidak tersedia merupakan dua penyebab terbesar. Setelah itu, Metode Lima Mengapa digunakan untuk menelusuri mengapa material terlambat dan mengapa alat tidak tersedia. Hasil akhirnya dapat berupa akar masalah pada perencanaan pengadaan, jadwal distribusi, atau koordinasi tim.

Analisis Pareto dapat pula diterapkan pada data cacat produk. Misalnya, dari 100 produk praktik, ditemukan cacat ukuran, permukaan kasar, lubang tidak tepat, sambungan lemah, dan goresan. Jika cacat ukuran menyumbang 45 persen dari total cacat, maka analisis awal dapat difokuskan pada penyebab cacat ukuran. Penyebab tersebut dapat berkaitan dengan alat ukur, gambar kerja, setting mesin, keterampilan operator, atau metode pemeriksaan. Dengan Pareto, mahasiswa tidak langsung mencoba memperbaiki semua cacat sekaligus.

Pada kasus perawatan mesin, Pareto dapat menggunakan data downtime. Misalnya, mesin berhenti karena belt longgar, sensor error,

bearing aus, motor panas, dan suplai listrik tidak stabil. Jika bearing aus menyumbang downtime terbesar, maka analisis perlu difokuskan pada sistem pelumasan, alignment, jadwal inspeksi, kualitas komponen, dan beban kerja. Frekuensi kerusakan saja mungkin tidak cukup. Downtime memberi gambaran dampak terhadap operasi.

Pada kasus laboratorium, Pareto dapat digunakan untuk mengelompokkan sumber ketidaksesuaian data. Misalnya, ketidaksesuaian berasal dari sampel tidak homogen, alat belum dikalibrasi, prosedur tidak seragam, pencatatan tidak lengkap, dan kondisi ruang berubah. Jika prosedur tidak seragam menjadi kategori terbesar, tindakan lanjutan dapat difokuskan pada pembakuan SOP, pelatihan, dan checklist pengujian. Namun, jika alat belum dikalibrasi memiliki dampak tinggi terhadap validitas data, faktor tersebut tetap harus ditangani meskipun frekuensinya tidak paling besar.

Mahasiswa perlu memahami bahwa Analisis Pareto bersifat deskriptif. Artinya, Pareto menjelaskan data yang sudah dikumpulkan. Pareto tidak otomatis membuktikan hubungan sebab akibat. Jika kategori “material terlambat” menjadi penyumbang terbesar keterlambatan, itu menunjukkan bahwa material terlambat adalah faktor dominan dalam data. Namun, akar masalahnya bisa berada pada perencanaan kebutuhan, proses pembelian, persetujuan administrasi, pemasok, transportasi, atau perubahan desain. Karena itu, Pareto harus diikuti analisis sebab akibat.

Dalam menyajikan Pareto pada laporan, mahasiswa perlu mencantumkan sumber data, periode data, kategori yang digunakan, ukuran kontribusi, total data, dan interpretasi. Laporan tidak boleh hanya menampilkan grafik tanpa penjelasan. Pembaca perlu mengetahui apakah data berasal dari observasi, laporan harian, log digital, formulir inspeksi, atau hasil pengujian. Periode data juga penting agar pembaca memahami cakupan analisis.

Mahasiswa juga perlu menyampaikan keterbatasan Analisis Pareto. Keterbatasan dapat berupa data yang belum lengkap, kategori yang masih umum, periode pengamatan pendek, jumlah sampel kecil, atau perbedaan tingkat risiko antar kategori. Keterbatasan tidak melemahkan laporan jika dijelaskan dengan jujur. Sebaliknya,

laporan menjadi lebih ilmiah karena pembaca dapat memahami batas kesimpulan.

Kesalahan umum dalam Analisis Pareto perlu dihindari. Kesalahan pertama adalah memakai data yang tidak valid. Kesalahan kedua adalah membuat kategori yang tumpang tindih. Kesalahan ketiga adalah mengurutkan kategori tanpa menghitung persentase. Kesalahan keempat adalah memilih ukuran kontribusi yang tidak sesuai. Kesalahan kelima adalah menganggap penyebab paling sering selalu paling penting. Kesalahan keenam adalah berhenti pada diagram tanpa menelusuri akar masalah.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat memberikan latihan menggunakan data sederhana. Mahasiswa diminta mencatat jenis cacat hasil praktik selama satu minggu, menghitung jumlah setiap cacat, mengurutkan dari terbesar ke terkecil, menghitung persentase, menghitung persentase kumulatif, lalu menulis interpretasi. Latihan dapat dilanjutkan dengan pertanyaan: kategori mana yang harus diprioritaskan, data apa yang perlu dikumpulkan lagi, dan tindakan korektif apa yang mungkin dilakukan.

Analisis Pareto juga dapat dilakukan secara manual. Mahasiswa tidak harus menggunakan perangkat lunak statistik. Tabel sederhana sudah cukup untuk tahap awal. Jika tersedia, *spreadsheet* dapat digunakan untuk menghitung persentase dan membuat grafik. Yang paling penting adalah mahasiswa memahami logika Pareto: mengurutkan kontribusi, menghitung persentase, membaca penyebab dominan, dan menindaklanjutinya dengan analisis akar masalah.

Pada akhirnya, Analisis Pareto membantu mahasiswa menentukan fokus. Dalam pekerjaan teknik, waktu dan sumber daya terbatas. Tidak semua penyebab dapat ditangani sekaligus. Dengan Pareto, mahasiswa dapat memilih penyebab dominan berdasarkan data, bukan berdasarkan dugaan. Namun, Pareto harus digunakan secara hati-hati. Penyebab dominan berdasarkan frekuensi atau biaya tetap perlu diperiksa bersama risiko, keselamatan, mutu, dan konteks lapangan. Dengan demikian, Analisis Pareto menjadi alat penting untuk menghubungkan data pengamatan, prioritas analisis, dan tindakan korektif.

Analisis Pareto digunakan untuk menentukan penyebab dominan berdasarkan kontribusi terbesar terhadap masalah. Kontribusi dapat berupa frekuensi kejadian, waktu keterlambatan, biaya, downtime, jumlah cacat, atau dampak lain yang relevan. Langkah Analisis Pareto meliputi penentuan masalah, penentuan kategori, pemilihan ukuran kontribusi, pengumpulan data, penjumlahan kontribusi, pengurutan kategori, perhitungan persentase dan kumulatif, serta interpretasi. Pareto membantu menentukan prioritas, tetapi tidak langsung membuktikan akar masalah. Hasil Pareto perlu dilanjutkan dengan analisis sebab akibat dan validasi data.

F. Verifikasi Akar Masalah Melalui Bukti Teknis

Verifikasi akar masalah merupakan tahap untuk memastikan bahwa akar masalah yang ditemukan benar-benar didukung oleh bukti teknis. Setelah mahasiswa menggunakan analisis pola, diagram sebab akibat, Metode Lima Mengapa, atau Analisis Pareto, hasil yang diperoleh masih perlu diperiksa. Akar masalah tidak boleh ditetapkan hanya karena terlihat logis, sering disebut oleh banyak orang, atau sesuai dengan dugaan awal. Akar masalah harus diuji melalui data, dokumen, pengukuran, inspeksi, pengujian, atau bukti lain yang dapat ditelusuri.

Dalam *problem solving* teknik terapan, verifikasi akar masalah penting karena keputusan teknis memiliki konsekuensi nyata. Jika akar masalah salah, solusi yang dipilih juga dapat salah. Kesalahan tersebut dapat menyebabkan pekerjaan ulang, biaya tambahan, keterlambatan, kerusakan alat, risiko keselamatan, atau masalah yang terus berulang. Oleh karena itu, akar masalah harus diperiksa sebelum tindakan korektif ditetapkan.

Verifikasi berbeda dari dugaan. Dugaan adalah kemungkinan penyebab yang belum dibuktikan. Verifikasi adalah proses memeriksa apakah dugaan tersebut benar berdasarkan bukti. Misalnya, pada kasus panel listrik yang sering trip, dugaan awal dapat berupa beban berlebih. Dugaan tersebut baru dapat diverifikasi jika terdapat data arus, kapasitas proteksi, waktu kejadian, pembagian beban, dan kondisi instalasi yang mendukung. Tanpa data tersebut, beban berlebih masih merupakan penyebab sementara.

Verifikasi juga berbeda dari membenaran. membenaran sering dilakukan ketika seseorang mencari data hanya untuk mendukung dugaan awal. Verifikasi yang benar justru harus terbuka terhadap kemungkinan bahwa dugaan awal salah. Mahasiswa perlu mencari bukti yang mendukung dan bukti yang dapat melemahkan dugaan. Jika data tidak mendukung dugaan, maka dugaan tersebut harus direvisi atau ditolak.

Dalam sistem manajemen mutu, ISO 9001:2015 menekankan pentingnya tindakan terhadap ketidaksesuaian dan tindakan korektif agar masalah tidak berulang (International Organization for Standardization, 2015). Prinsip ini menunjukkan bahwa tindakan korektif harus memiliki dasar penyebab yang benar. Jika akar masalah tidak diverifikasi, tindakan korektif dapat hanya menjadi tindakan sementara yang tidak menyelesaikan ketidaksesuaian.

Dalam kegiatan pengujian dan kalibrasi, ISO/IEC 17025:2017 menekankan kompetensi, ketidakberpihakan, dan konsistensi operasi laboratorium agar hasil pengujian dan kalibrasi dapat dipercaya (International Organization for Standardization, 2017). Prinsip ini relevan dalam verifikasi akar masalah karena banyak keputusan teknik bergantung pada hasil ukur dan hasil uji. Jika data pengujian tidak valid, maka verifikasi akar masalah juga menjadi lemah.

Verifikasi akar masalah membutuhkan bukti teknis. Bukti teknis adalah informasi yang relevan, dapat dipercaya, dan dapat digunakan untuk mendukung atau menolak suatu dugaan penyebab. Bukti teknis dapat berupa hasil pengukuran, hasil pengujian laboratorium, foto, video, log digital, formulir inspeksi, catatan perawatan, gambar kerja, spesifikasi, SOP, laporan harian, data sensor, berita acara, atau wawancara teknis yang terkonfirmasi.

Tidak semua data otomatis menjadi bukti teknis. Data menjadi bukti jika berhubungan langsung dengan akar masalah yang diuji. Misalnya, foto panel listrik berguna sebagai bukti jika menunjukkan kondisi sambungan, ventilasi, kabel, atau komponen yang berkaitan dengan dugaan penyebab. Namun, foto ruang panel secara umum belum tentu cukup untuk membuktikan penyebab trip. Data harus relevan dengan pertanyaan verifikasi.

Bukti teknis yang kuat memiliki beberapa ciri. Pertama, bukti harus relevan dengan akar masalah yang diuji. Kedua, bukti harus valid, yaitu benar-benar mengukur atau menunjukkan hal yang ingin diketahui. Ketiga, bukti harus reliabel, yaitu konsisten jika diperiksa ulang dalam kondisi serupa. Keempat, bukti harus dapat ditelusuri melalui lokasi, waktu, alat, metode, dan pencatat. Kelima, bukti harus cukup, tidak hanya satu data lemah yang dipaksakan menjadi kesimpulan.

1. Langkah pertama dalam verifikasi akar masalah adalah menuliskan dugaan akar masalah secara spesifik. Dugaan yang terlalu umum sulit diverifikasi. Contoh dugaan yang lemah adalah “perawatan kurang baik.” Dugaan yang lebih kuat adalah “jadwal perawatan mesin tidak memuat pemeriksaan pelumasan bearing setiap minggu.” Dugaan kedua lebih spesifik dan dapat diperiksa melalui dokumen jadwal perawatan, catatan pelumasan, kondisi bearing, dan wawancara teknis.
2. Langkah kedua adalah menentukan indikator bukti yang diharapkan. Mahasiswa perlu bertanya, “Jika dugaan ini benar, bukti apa yang seharusnya ditemukan.” Misalnya, jika dugaan akar masalah adalah “beban panel tidak seimbang,” maka bukti yang diharapkan adalah arus tiap fasa berbeda secara signifikan, riwayat trip terjadi saat beban puncak, dan pembagian beban pada dokumen instalasi menunjukkan ketidakseimbangan. Indikator bukti membantu pengumpulan data lebih terarah.
3. Langkah ketiga adalah mengumpulkan bukti yang relevan. Bukti dapat berasal dari data yang sudah tersedia atau pengumpulan data tambahan. Pengumpulan data harus mengikuti prinsip validitas, reliabilitas, keselamatan, dan etika. Jika pengumpulan data berisiko, mahasiswa harus melibatkan pihak berwenang. Misalnya, pemeriksaan panel aktif tidak boleh dilakukan tanpa teknisi kompeten dan prosedur keselamatan yang sesuai.
4. Langkah keempat adalah membandingkan bukti dengan acuan. Acuan dapat berupa standar, spesifikasi, gambar kerja, SOP, batas operasi alat, kriteria kinerja, atau data kondisi normal. Tanpa acuan, bukti sulit ditafsirkan. Misalnya, suhu motor 85 derajat Celsius tidak dapat langsung dinyatakan berbahaya jika belum dibandingkan dengan spesifikasi motor dan kondisi operasinya.

Arus 30 ampere juga perlu dibandingkan dengan kapasitas kabel, proteksi, dan beban rencana.

5. Langkah kelima adalah memeriksa konsistensi bukti. Bukti yang kuat biasanya saling mendukung. Misalnya, pada dugaan pelumasan bearing tidak memadai, bukti dapat berupa getaran meningkat, suhu bearing naik, catatan pelumasan tidak lengkap, dan inspeksi menunjukkan pelumas kering atau terkontaminasi. Jika hanya satu bukti yang mendukung sedangkan bukti lain tidak sesuai, mahasiswa perlu berhati-hati sebelum menyimpulkan.
6. Langkah keenam adalah menguji kemungkinan penyebab lain. Verifikasi tidak cukup hanya membuktikan satu dugaan. Mahasiswa juga perlu memeriksa apakah ada dugaan lain yang lebih kuat. Misalnya, mesin panas dapat disebabkan oleh pelumasan kurang, ventilasi buruk, beban berlebih, atau kerusakan komponen. Jika data menunjukkan ventilasi normal dan beban sesuai, tetapi catatan pelumasan kosong serta bearing panas, maka dugaan pelumasan menjadi lebih kuat. Pemeriksaan alternatif membantu mencegah kesimpulan prematur.
7. Langkah ketujuh adalah menentukan status verifikasi. Status dapat berupa terverifikasi, tidak terverifikasi, tertolak, atau perlu data tambahan. Akar masalah terverifikasi jika bukti cukup mendukung hubungan sebab akibat. Akar masalah tidak terverifikasi jika bukti belum cukup. Akar masalah tertolak jika bukti menunjukkan bahwa dugaan tersebut tidak sesuai. Status perlu data tambahan digunakan jika data masih terbatas atau bertentangan.
8. Langkah kedelapan adalah menyusun kesimpulan verifikasi. Kesimpulan harus menjelaskan akar masalah, bukti pendukung, batas data, dan kemungkinan faktor kontribusi. Kesimpulan tidak boleh terlalu luas. Jika data hanya berasal dari satu mesin, kesimpulan tidak boleh digeneralisasi ke seluruh mesin tanpa bukti tambahan. Jika data hanya berasal dari pengamatan satu hari, keterbatasan periode harus ditulis. Tabel 33 menyajikan format verifikasi akar masalah melalui bukti teknis.

Tabel 33. Format Verifikasi Akar Masalah Melalui Bukti Teknis

Komponen Verifikasi	Pertanyaan Panduan	Contoh pada Kasus Panel Listrik Sering Trip
Dugaan akar masalah	Apa akar masalah yang akan diuji?	Pembagian beban antar fasa tidak seimbang akibat penambahan peralatan tanpa pemeriksaan teknis
Indikator bukti yang diharapkan	Jika dugaan benar, bukti apa yang seharusnya ditemukan?	Arus salah satu fasa lebih tinggi, trip terjadi saat beban puncak, dan ada penambahan alat pada fasa tersebut
Data yang dikumpulkan	Data apa yang perlu diperiksa?	Data arus tiap fasa, kapasitas MCB, daftar beban, riwayat trip, dokumen perubahan instalasi
Sumber bukti	Dari mana data diperoleh?	Pengukuran clamp meter oleh teknisi, catatan gangguan, gambar instalasi, wawancara petugas laboratorium
Acuan pembanding	Data dibandingkan dengan standar atau batas apa?	Kapasitas proteksi, kapasitas kabel, pembagian beban rencana, dan batas operasi panel
Konsistensi bukti	Apakah bukti saling mendukung?	Arus fasa R paling tinggi, trip terjadi saat alat tambahan menyala, dan dokumen perubahan beban tidak tersedia
Penyebab alternatif	Apakah ada dugaan lain yang perlu diuji?	MCB rusak, sambungan longgar, suhu panel tinggi, atau kelembapan ruang panel
Status verifikasi	Apakah akar masalah terverifikasi, tertolak, atau perlu data tambahan?	Terverifikasi sementara, tetapi perlu pemeriksaan sambungan dan suhu panel untuk memastikan faktor kontribusi
Kesimpulan verifikasi	Apa kesimpulan berdasarkan bukti?	Gangguan trip paling kuat berkaitan dengan ketidakseimbangan beban akibat penambahan peralatan tanpa pengendalian perubahan
Tindakan lanjutan	Apa tindakan berikutnya?	Menyeimbangkan beban, menyusun prosedur persetujuan penambahan alat, dan melakukan <i>monitoring</i> arus setelah perbaikan

Tabel 33 menunjukkan bahwa verifikasi akar masalah harus dilakukan secara sistematis. Dugaan akar masalah perlu dikaitkan dengan bukti yang diharapkan, data yang dikumpulkan, sumber bukti, acuan pembanding, dan status verifikasi. Dengan format ini, mahasiswa dapat menunjukkan bahwa kesimpulan tidak dibuat berdasarkan dugaan semata.



Gambar 15. Alur Verifikasi Akar Masalah Melalui Bukti Teknis

Gambar 15 menjelaskan bahwa verifikasi akar masalah dimulai dari dugaan yang dihasilkan oleh alat analisis, seperti diagram sebab akibat, Metode Lima Mengapa, atau Analisis Pareto. Dugaan tersebut kemudian diuji melalui bukti teknis. Bukti dibandingkan dengan acuan, diperiksa konsistensinya, dan dibandingkan dengan penyebab alternatif. Hasil akhirnya adalah status verifikasi yang menjadi dasar penyusunan tindakan korektif.

Dalam praktik lapangan, verifikasi sering membutuhkan lebih dari satu jenis bukti. Satu data tunggal dapat memberi petunjuk, tetapi belum tentu cukup. Misalnya, data suhu mesin yang tinggi menunjukkan gejala panas, tetapi belum cukup untuk membuktikan

akar masalah. Mahasiswa perlu melihat data beban, ventilasi, pelumasan, getaran, kondisi bearing, dan catatan perawatan. Gabungan bukti ini disebut triangulasi. Triangulasi membantu memperkuat kesimpulan karena satu dugaan diuji dari beberapa sumber data.

1. Contoh pertama dapat dilihat pada kasus mesin bergetar. Dugaan akar masalah adalah alignment poros tidak sesuai setelah penggantian komponen. Bukti yang diharapkan adalah nilai getaran meningkat pada arah tertentu, catatan penggantian komponen tersedia, tidak ada catatan pemeriksaan alignment setelah pekerjaan, dan inspeksi menunjukkan ketidaksejajaran. Jika semua bukti ini saling mendukung, dugaan tersebut dapat diverifikasi. Tindakan korektifnya bukan hanya mengencangkan baut, tetapi memperbaiki prosedur perawatan setelah pembongkaran.
2. Contoh kedua adalah kasus hasil uji laboratorium tidak konsisten. Dugaan akar masalah adalah prosedur persiapan sampel tidak seragam antar kelompok. Bukti yang diharapkan adalah variasi hasil uji tinggi, catatan prosedur menunjukkan perbedaan langkah persiapan, pengamatan menunjukkan cara persiapan berbeda, dan SOP tidak menjelaskan langkah kritis secara rinci. Jika bukti mendukung, tindakan korektif dapat berupa revisi SOP, pelatihan operator, checklist persiapan sampel, dan uji ulang terbatas.
3. Contoh ketiga adalah kasus genangan pada area parkir. Dugaan akar masalah adalah inlet saluran tertutup sedimentasi karena jadwal pembersihan tidak disesuaikan dengan musim hujan. Bukti yang diharapkan adalah foto inlet tertutup sedimentasi, genangan terjadi pada titik yang sama setelah hujan, catatan pembersihan tidak rutin, dan aliran membaik setelah sedimentasi dibersihkan. Jika bukti mendukung, tindakan korektif dapat berupa pembersihan terjadwal, inspeksi sebelum musim hujan, dan penambahan checklist pemeliharaan drainase.
4. Contoh keempat adalah kasus panel listrik sering trip. Dugaan akar masalah adalah ketidakseimbangan beban akibat penambahan peralatan tanpa pemeriksaan teknis. Bukti yang diharapkan adalah arus salah satu fasa lebih tinggi, trip terjadi saat alat tambahan digunakan, dokumen perubahan beban tidak tersedia, dan tidak ada

prosedur persetujuan penambahan alat. Jika bukti mendukung, tindakan korektif dapat berupa penataan ulang beban, prosedur persetujuan perubahan instalasi, dan *monitoring* arus pada periode beban puncak.

Verifikasi juga perlu memperhatikan faktor kontribusi. Faktor kontribusi adalah faktor yang memperbesar masalah, tetapi bukan penyebab utama. Misalnya, kelembapan ruang panel dapat memperburuk risiko gangguan listrik, tetapi akar masalah trip mungkin tetap berada pada beban tidak seimbang. Dalam laporan, mahasiswa perlu membedakan akar masalah utama dan faktor kontribusi. Pembedaan ini penting agar tindakan korektif tidak salah prioritas.

Bukti teknis juga harus dilihat dalam konteks waktu. Beberapa masalah hanya muncul pada kondisi tertentu. Panel listrik mungkin hanya trip saat beban puncak. Mesin mungkin hanya panas setelah operasi lama. Saluran mungkin hanya meluap saat hujan deras. Jika verifikasi dilakukan pada kondisi yang tidak sesuai, hasilnya dapat menyesatkan. Karena itu, waktu pengumpulan bukti harus disesuaikan dengan pola masalah.

Selain waktu, lokasi pengambilan bukti juga penting. Pada masalah drainase, data harus diambil pada titik genangan, inlet, outlet, dan segmen yang relevan. Pada masalah struktur, data harus diambil pada elemen yang mengalami gejala dan area pembanding. Pada masalah mesin, data harus diambil pada komponen yang diduga bermasalah dan titik referensi. Lokasi yang tidak tepat dapat menghasilkan bukti yang tidak valid.

Dalam verifikasi akar masalah, mahasiswa perlu menggunakan acuan teknis. Acuan dapat berupa standar nasional, standar internasional, spesifikasi pabrikan, gambar kerja, metode uji, SOP, atau kriteria kinerja yang telah ditetapkan. Acuan membantu menentukan apakah suatu kondisi benar-benar menyimpang. Tanpa acuan, analisis mudah berubah menjadi pendapat subjektif.

Mahasiswa juga perlu memahami bahwa bukti teknis dapat memiliki keterbatasan. Alat ukur mungkin memiliki ketelitian

terbatas. Data log mungkin tidak lengkap. Foto mungkin tidak menunjukkan skala. Wawancara dapat dipengaruhi ingatan narasumber. Dokumen dapat belum diperbarui. Keterbatasan ini tidak boleh disembunyikan. Keterbatasan perlu dicatat agar kesimpulan verifikasi tidak melebihi kekuatan data.

Verifikasi akar masalah dapat menghasilkan beberapa kemungkinan status. Status pertama adalah terverifikasi. Artinya, bukti cukup kuat mendukung dugaan akar masalah. Status kedua adalah tertolak. Artinya, bukti menunjukkan bahwa dugaan tidak sesuai dengan kondisi nyata. Status ketiga adalah belum terverifikasi. Artinya, bukti belum cukup untuk membuat keputusan. Status keempat adalah faktor kontribusi. Artinya, faktor tersebut berpengaruh, tetapi bukan penyebab utama. Status ini membantu mahasiswa menyusun analisis yang lebih hati-hati.

Dalam laporan teknik, status verifikasi harus ditulis secara eksplisit. Contohnya, “Dugaan bahwa MCB rusak tidak terverifikasi karena hasil inspeksi menunjukkan MCB masih berfungsi sesuai pengujian, sedangkan data arus menunjukkan beban salah satu fasa melebihi kapasitas saat beban puncak.” Kalimat seperti ini menunjukkan bahwa mahasiswa tidak hanya memilih dugaan, tetapi juga menolak dugaan lain berdasarkan bukti.

Verifikasi akar masalah juga dapat dilakukan melalui uji coba terbatas. Uji coba terbatas dilakukan untuk melihat apakah tindakan pada dugaan penyebab menghasilkan perubahan pada gejala. Misalnya, jika dugaan penyebab genangan adalah inlet tertutup sedimentasi, maka pembersihan inlet dapat dilakukan. Jika setelah pembersihan aliran membaik dan genangan berkurang pada hujan berikutnya, bukti terhadap dugaan menjadi lebih kuat. Namun, mahasiswa tetap perlu memeriksa apakah faktor lain seperti kapasitas saluran dan kemiringan juga berpengaruh.

Pada masalah mesin, uji coba terbatas dapat berupa pelumasan ulang, pemeriksaan alignment, atau penggantian komponen dengan pengawasan. Jika getaran menurun setelah alignment diperbaiki, dugaan alignment menjadi lebih kuat. Namun, jika getaran tetap

tinggi, mahasiswa perlu memeriksa penyebab lain seperti bearing, fondasi, ketidakseimbangan massa, atau beban operasi.

Pada masalah laboratorium, uji coba terbatas dapat berupa pembakuan prosedur dan uji ulang pada beberapa sampel. Jika variasi hasil menurun setelah prosedur diseragamkan, dugaan bahwa prosedur tidak seragam menjadi lebih kuat. Namun, jika variasi tetap tinggi, dugaan lain seperti alat ukur, karakter sampel, atau kondisi lingkungan perlu diperiksa.

Uji coba terbatas harus dilakukan dengan hati-hati. Tindakan uji tidak boleh menimbulkan risiko keselamatan atau merusak objek. Jika uji melibatkan listrik, mesin, bahan kimia, struktur, atau sistem berisiko, kegiatan harus dilakukan oleh pihak berwenang. Mahasiswa dapat berperan dalam dokumentasi, pencatatan data, dan analisis, tetapi tidak boleh melakukan pekerjaan berbahaya tanpa kompetensi dan izin.

Verifikasi juga perlu memperhatikan keberulangan masalah. Akar masalah yang benar biasanya menjelaskan mengapa masalah berulang. Misalnya, jika panel trip berulang karena prosedur penambahan beban tidak ada, maka masalah dapat muncul lagi setiap kali peralatan baru ditambahkan. Jika mesin bergetar berulang karena checklist perawatan tidak memuat alignment, maka getaran dapat muncul lagi setelah perbaikan komponen berikutnya. Akar masalah yang baik mampu menjelaskan pola berulang tersebut.

Dalam pendidikan vokasi, dosen dapat melatih mahasiswa menggunakan matriks verifikasi. Mahasiswa diminta menuliskan dugaan akar masalah, bukti yang diharapkan, data yang tersedia, data yang belum tersedia, status verifikasi, dan tindakan lanjutan. Latihan ini membantu mahasiswa berpikir berbasis bukti dan tidak tergesa-gesa menyimpulkan. Matriks juga memudahkan dosen menilai kekuatan analisis mahasiswa.

Mahasiswa perlu menghindari beberapa kesalahan dalam verifikasi. Kesalahan pertama adalah menganggap dugaan paling logis sebagai akar masalah tanpa bukti. Kesalahan kedua adalah hanya mencari data yang mendukung dugaan awal. Kesalahan ketiga

adalah mengabaikan data yang bertentangan. Kesalahan keempat adalah menggunakan data yang tidak valid. Kesalahan kelima adalah menyimpulkan terlalu luas dari sampel yang terlalu sedikit. Kesalahan keenam adalah tidak membedakan akar masalah dan faktor kontribusi.

Verifikasi akar masalah juga berkaitan dengan komunikasi teknis. Hasil verifikasi harus dapat dijelaskan kepada pihak lain. Mahasiswa harus mampu menyampaikan bukti apa yang digunakan, mengapa bukti tersebut relevan, bagaimana bukti diperoleh, apa acuan pembandingnya, dan apa keterbatasannya. Komunikasi yang jelas membantu tim menerima hasil analisis dan mendukung tindakan korektif.

Dalam pekerjaan profesional, verifikasi akar masalah sering menjadi dasar laporan ketidaksesuaian, laporan insiden, laporan perawatan, atau laporan perbaikan. Laporan seperti ini perlu menunjukkan hubungan antara gejala, data, akar masalah, tindakan korektif, dan hasil pemantauan. Jika hubungan tersebut jelas, organisasi dapat belajar dari masalah dan mencegah pengulangan.

Pada akhirnya, verifikasi akar masalah melalui bukti teknis merupakan tahap yang menentukan kualitas *problem solving*. Diagram sebab akibat, Lima Mengapa, dan Pareto membantu menemukan dugaan penyebab. Namun, hanya bukti teknis yang dapat memperkuat atau menolak dugaan tersebut. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu membangun kebiasaan memverifikasi akar masalah sebelum menyusun solusi. Dengan cara ini, tindakan korektif menjadi lebih tepat, aman, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Verifikasi akar masalah adalah proses memastikan bahwa dugaan akar masalah didukung oleh bukti teknis. Bukti teknis dapat berupa hasil pengukuran, hasil uji, inspeksi, foto, video, log digital, dokumen, wawancara teknis, atau uji coba terbatas. Verifikasi dilakukan dengan menulis dugaan secara spesifik, menentukan indikator bukti, mengumpulkan data, membandingkan dengan acuan, memeriksa konsistensi, menguji penyebab alternatif, dan menetapkan status verifikasi. Akar masalah dapat dinyatakan terverifikasi, tertolak, belum terverifikasi, atau hanya sebagai faktor kontribusi.

Tindakan korektif harus diarahkan pada akar masalah yang sudah didukung bukti.



BAB 6

PEMANFAATAN TEKNOLOGI DIGITAL UNTUK *PROBLEM SOLVING* TEKNIK

Teknologi digital telah menjadi bagian penting dalam pekerjaan teknik modern. Pekerjaan teknik tidak lagi hanya bergantung pada pengamatan manual, alat ukur konvensional, gambar kertas, dan laporan tertulis. Saat ini, banyak pekerjaan teknik menggunakan sensor, perangkat lunak desain, *spreadsheet*, formulir digital, kamera, drone, *Building Information Modeling*, data logger, *dashboard*, simulasi, kecerdasan buatan, *Internet of Things*, cloud storage, dan sistem manajemen proyek digital. Perubahan ini memengaruhi cara masalah dikenali, data dikumpulkan, penyebab dianalisis, solusi dirancang, dan hasil dievaluasi.

Dalam *problem solving* teknik terapan, teknologi digital berfungsi sebagai alat bantu untuk memperkuat proses berpikir teknis. Teknologi digital membantu mahasiswa memperoleh data lebih cepat, mencatat kondisi lapangan secara lebih rapi, membandingkan data dengan standar, menemukan pola, membuat visualisasi, menyusun alternatif solusi, dan memantau hasil tindakan. Namun, teknologi digital tidak menggantikan kemampuan dasar teknik. Mahasiswa tetap harus memahami konsep, prosedur, standar, keselamatan, dan konteks lapangan.

Pemanfaatan teknologi digital perlu dilakukan secara kritis. Data digital dapat terlihat rapi, tetapi belum tentu benar. Sensor dapat rusak. Input data dapat salah. *Dashboard* dapat menampilkan angka yang tidak sesuai konteks. Perangkat lunak dapat menghasilkan model yang keliru jika data awal tidak tepat. Kecerdasan buatan dapat memberi rekomendasi yang tampak meyakinkan, tetapi tetap perlu diverifikasi dengan bukti lapangan. Oleh karena itu, teknologi digital harus dipakai bersama penalaran teknis dan validasi data.

UNESCO (2022) menegaskan bahwa pendidikan dan pelatihan teknis vokasional perlu merespons perubahan teknologi, termasuk digitalisasi, otomasi, 5G, kecerdasan buatan, dan Industri 4.0. Arah ini menunjukkan bahwa mahasiswa vokasi keteknikan perlu memiliki kompetensi digital

yang terhubung dengan keterampilan kerja nyata. Kompetensi digital bukan sekadar kemampuan menggunakan perangkat lunak, tetapi juga kemampuan memilih alat digital yang tepat, membaca data, memeriksa keandalan informasi, menjaga keamanan data, dan menggunakan teknologi secara etis.

World Economic Forum (2025) menjelaskan bahwa perubahan teknologi menjadi salah satu penggerak utama transformasi pasar kerja hingga 2030. Laporan tersebut juga menempatkan *technological literacy*, *AI and big data*, *networks and cybersecurity*, serta *analytical thinking* sebagai keterampilan penting dalam dunia kerja masa depan. Dalam konteks buku ini, temuan tersebut menunjukkan bahwa *problem solving* teknik tidak dapat dilepaskan dari literasi digital, literasi data, kemampuan analisis, dan kesadaran keamanan siber.

Teknologi digital dapat digunakan sejak tahap awal *problem solving*. Pada tahap identifikasi masalah, mahasiswa dapat menggunakan foto, video, formulir digital, data sensor, dan laporan berbasis aplikasi untuk mencatat gejala lapangan. Pada tahap pengumpulan data, mahasiswa dapat menggunakan alat ukur digital, data logger, GPS, drone, *spreadsheet*, atau sistem *monitoring*. Pada tahap analisis akar masalah, mahasiswa dapat menggunakan grafik, diagram Pareto, peta titik, tabel silang, dan *dashboard* sederhana. Pada tahap perancangan solusi, mahasiswa dapat menggunakan CAD, BIM, simulasi, prototipe digital, atau perangkat lunak perhitungan. Pada tahap evaluasi, mahasiswa dapat membandingkan data sebelum dan sesudah tindakan.

Dalam bidang teknik sipil, teknologi digital dapat membantu pemetaan lokasi, pengukuran, dokumentasi kerusakan, pemodelan bangunan, estimasi volume, penjadwalan proyek, dan pemantauan progres. *Building Information Modeling* dapat membantu koordinasi desain, deteksi konflik, dan pengelolaan informasi proyek. Drone dan foto udara dapat membantu dokumentasi kondisi lapangan. Aplikasi pemetaan dapat membantu mencatat lokasi kerusakan jalan, titik genangan, atau kondisi saluran.

Dalam bidang teknik mesin, teknologi digital dapat membantu pemantauan suhu, getaran, tekanan, putaran, dan waktu operasi. Data tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi abnormal dan

merencanakan perawatan. Perangkat lunak CAD dapat membantu perancangan komponen. Simulasi dapat membantu memahami gaya, gerak, aliran, atau perpindahan panas. Sistem digital juga dapat membantu mencatat riwayat perawatan, downtime, dan penggunaan suku cadang.

Dalam bidang teknik elektro, teknologi digital dapat digunakan untuk memantau arus, tegangan, daya, faktor daya, suhu panel, status proteksi, dan konsumsi energi. Sistem *monitoring* energi dapat membantu menemukan beban puncak, ketidakseimbangan beban, atau penggunaan energi yang tidak efisien. Perangkat lunak desain instalasi dapat membantu perencanaan jalur kabel, kapasitas proteksi, dan dokumentasi gambar. Namun, penggunaan data digital pada sistem kelistrikan tetap harus memperhatikan keselamatan dan kewenangan teknis.

Dalam bidang teknik lingkungan, teknologi digital dapat membantu pemantauan kualitas air, udara, emisi, debit, pH, suhu, kekeruhan, dan parameter lingkungan lain. Sensor dan data logger dapat memberi data berkala. Sistem informasi geografis dapat membantu pemetaan sumber pencemar, titik *sampling*, dan area terdampak. *Dashboard* lingkungan dapat membantu pemantauan kinerja sistem pengolahan. Namun, data sensor tetap perlu dikalibrasi dan dibandingkan dengan pengujian laboratorium jika diperlukan.

Teknologi digital juga membantu dokumentasi. Foto, video, formulir digital, dan log sistem dapat menjadi bukti teknis yang mudah disimpan dan ditelusuri. Dokumentasi digital dapat memuat tanggal, waktu, lokasi, kode objek, dan keterangan teknis. Jika dikelola dengan baik, dokumentasi digital memperkuat laporan *problem solving*. Namun, jika dikelola tanpa struktur, file digital mudah hilang, tertukar, atau salah digunakan.

Dalam pemanfaatan teknologi digital, keamanan siber menjadi aspek penting. Semakin banyak data dan alat teknik terhubung ke jaringan, semakin besar risiko akses tidak sah, kehilangan data, manipulasi data, atau gangguan sistem. NIST Cybersecurity *Framework* 2.0 memberikan panduan bagi organisasi untuk mengelola risiko keamanan siber melalui fungsi govern, identify, protect, detect, respond, dan recover (National Institute of Standards and Technology, 2024). Prinsip ini relevan bagi

mahasiswa vokasi karena data teknik, sistem *monitoring*, dan perangkat digital perlu digunakan secara aman.

Kecerdasan buatan juga mulai digunakan dalam pekerjaan teknik. AI dapat membantu membaca pola data, mendeteksi anomali, menyusun ringkasan, membantu diagnosis awal, mengklasifikasikan gambar, menyusun alternatif solusi, atau membantu simulasi keputusan. Namun, AI memiliki keterbatasan. AI dapat keliru jika data masukan salah, konteks tidak lengkap, model tidak sesuai, atau pengguna menerima hasil tanpa verifikasi. ISO/IEC 42001:2023 menetapkan persyaratan untuk sistem manajemen kecerdasan buatan agar organisasi dapat mengembangkan dan menggunakan AI secara bertanggung jawab (International Organization for Standardization, 2023).

Mahasiswa vokasi keteknikan perlu memahami bahwa AI bukan pengganti tanggung jawab teknis. Rekomendasi AI harus diperiksa dengan data lapangan, standar, pengalaman teknis, dan pertimbangan keselamatan. Misalnya, AI dapat membantu mengelompokkan foto retak beton, tetapi penilaian akhir tetap memerlukan pemeriksaan teknis. AI dapat membantu menganalisis pola getaran, tetapi teknisi tetap harus memeriksa kondisi mesin. AI dapat membantu merangkum log gangguan, tetapi data log harus divalidasi.

Pemanfaatan teknologi digital juga perlu memperhatikan etika. Data lapangan dapat memuat informasi sensitif, seperti lokasi fasilitas, kondisi instalasi, data produksi, identitas pekerja, atau kelemahan sistem. Mahasiswa tidak boleh menyebarkan foto, video, atau data teknis tanpa izin. Data tidak boleh dimanipulasi untuk mendukung kesimpulan tertentu. Hasil analisis digital harus disajikan secara jujur, termasuk keterbatasan data, alat, dan metode. Tabel 34 menyajikan bentuk pemanfaatan teknologi digital dalam *problem solving* teknik terapan.

Tabel 34. Pemanfaatan Teknologi Digital dalam Tahap *Problem Solving* Teknik Terapan

Tahap <i>Problem Solving</i>	Teknologi Digital yang Dapat Digunakan	Fungsi Utama	Risiko yang Perlu Dikendalikan
Identifikasi gejala	Foto digital, video, formulir	Mencatat kondisi awal, lokasi, waktu, dan gejala masalah	Foto tanpa keterangan, data tidak lengkap, atau

Tahap Problem Solving	Teknologi Digital yang Dapat Digunakan	Fungsi Utama	Risiko yang Perlu Dikendalikan
	digital, aplikasi catatan lapangan		dokumentasi tanpa izin
Pengumpulan data	Alat ukur digital, data logger, sensor, GPS, drone, <i>spreadsheet</i>	Menghasilkan data ukur, data lokasi, data waktu, dan bukti visual	Sensor tidak akurat, alat belum dikalibrasi, atau salah satuan
Pengelolaan data	<i>Spreadsheet</i> , cloud storage, struktur folder, basis data sederhana	Menyimpan, mengelompokkan, dan menelusuri data	File hilang, salah versi, akses tidak terkendali, atau data sensitif tersebar
Analisis pola	Grafik, <i>dashboard</i> , diagram Pareto, tabel silang, peta titik	Menemukan tren, anomali, frekuensi, dan penyebab dominan	Salah interpretasi, data tidak valid, atau kesimpulan melebihi bukti
Analisis akar masalah	Diagram digital, fishbone <i>software</i> , mind map, <i>spreadsheet</i>	Menyusun hubungan sebab akibat dan menguji dugaan penyebab	Diagram hanya menjadi dugaan tanpa verifikasi data
Perancangan solusi	CAD, BIM, simulasi, prototipe digital, perangkat lunak perhitungan	Membuat alternatif desain, model, dan prediksi kinerja	Model tidak sesuai kondisi lapangan atau asumsi tidak realistis
Implementasi solusi	Aplikasi manajemen tugas, jadwal digital, checklist digital	Mengatur tindakan, penanggung jawab, waktu, dan bukti pelaksanaan	Tugas tidak diperbarui, data pelaksanaan tidak lengkap, atau koordinasi lemah
Evaluasi hasil	Sensor <i>monitoring</i> , grafik sebelum-sesudah, laporan digital	Menilai efektivitas solusi berdasarkan data	Data pembandingan tidak setara atau periode evaluasi terlalu pendek
Komunikasi teknis	Presentasi digital, laporan elektronik, <i>dashboard</i> , video singkat	Menjelaskan masalah, bukti, solusi, dan hasil kepada pihak terkait	Informasi terlalu visual tetapi kurang analisis teknis
Keamanan dan etika data	Kontrol akses, backup, enkripsi sederhana, izin dokumentasi	Melindungi data, menjaga privasi, dan mencegah penyalahgunaan	Data bocor, manipulasi data, atau penggunaan data tanpa persetujuan

Tabel 34 menunjukkan bahwa teknologi digital dapat digunakan pada seluruh tahap *problem solving* teknik terapan. Teknologi tidak hanya digunakan untuk membuat laporan lebih menarik, tetapi juga untuk memperkuat bukti, mempercepat analisis, meningkatkan ketertelusuran data, dan membantu pengambilan keputusan. Namun, setiap teknologi memiliki risiko. Karena itu, mahasiswa harus menggunakannya secara terencana, aman, dan bertanggung jawab.



Gambar 16. Alur Pemanfaatan Teknologi Digital dalam *Problem Solving* Teknik

Gambar 16 menjelaskan bahwa teknologi digital mendukung seluruh alur *problem solving* teknik, mulai dari pencatatan gejala sampai evaluasi hasil. Alur tersebut menekankan bahwa data digital harus dikelola dan

divalidasi sebelum digunakan sebagai dasar solusi. Teknologi digital mempercepat proses, tetapi keputusan akhir tetap harus mempertimbangkan standar, keselamatan, data lapangan, dan tanggung jawab profesional.

Pemanfaatan teknologi digital dalam *problem solving* tidak harus selalu menggunakan perangkat mahal. Mahasiswa dapat memulai dari teknologi sederhana, seperti kamera ponsel, formulir digital, *spreadsheet*, folder terstruktur, grafik sederhana, dan aplikasi pemetaan. Teknologi sederhana dapat sangat efektif jika digunakan dengan prosedur yang jelas. Sebaliknya, teknologi canggih dapat tidak berguna jika data tidak valid dan pengguna tidak memahami konteks teknis.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat merancang tugas berbasis data digital. Mahasiswa dapat diminta mendokumentasikan masalah lapangan dengan foto beranotasi, mengisi formulir digital, membuat tabel data, menyusun grafik tren, membuat diagram Pareto, dan menyusun rekomendasi teknis. Tugas seperti ini melatih mahasiswa menghubungkan keterampilan digital dengan *problem solving* teknik.

Mahasiswa juga perlu dilatih membaca batas teknologi. Misalnya, peta digital dapat membantu menunjukkan lokasi, tetapi tidak menggantikan survei lapangan. Sensor suhu dapat memberi angka, tetapi perlu diperiksa titik ukur dan kalibrasinya. Simulasi dapat memberi prediksi, tetapi bergantung pada asumsi. AI dapat memberi saran, tetapi tidak memiliki tanggung jawab profesional. Dengan memahami batas tersebut, mahasiswa menjadi pengguna teknologi yang kritis.

Teknologi digital juga membantu kerja kolaboratif. File dapat dibagikan, data dapat diperbarui bersama, tugas dapat dipantau, dan laporan dapat direvisi secara terstruktur. Namun, kerja kolaboratif digital membutuhkan disiplin. Tim perlu menetapkan nama file, versi dokumen, penanggung jawab data, aturan akses, dan jadwal backup. Tanpa disiplin, kerja digital dapat menimbulkan kebingungan versi dan kehilangan data.

Dalam konteks keselamatan, teknologi digital dapat membantu identifikasi bahaya dan pelaporan kondisi tidak aman. Foto area berbahaya, formulir inspeksi K3, checklist digital, dan laporan near miss dapat mempercepat tindakan pengendalian. Namun, dokumentasi

keselamatan tidak boleh menggantikan tindakan langsung. Jika terdapat bahaya serius, area harus diamankan terlebih dahulu sebelum dokumentasi dan analisis lanjutan dilakukan.

Dalam konteks mutu, teknologi digital dapat membantu pencatatan hasil inspeksi, pengujian, dan ketidaksesuaian. Data digital memungkinkan mahasiswa melihat pola cacat, membandingkan hasil dengan spesifikasi, dan menyusun tindakan korektif. Namun, kualitas data tetap bergantung pada prosedur pengukuran, alat yang digunakan, dan ketelitian pencatatan.

Dalam konteks biaya dan produktivitas, teknologi digital dapat membantu mencatat penggunaan material, waktu kerja, downtime, *output*, dan pekerjaan ulang. Data tersebut dapat digunakan untuk menganalisis pemborosan, hambatan proses, dan efisiensi metode kerja. Mahasiswa dapat menggunakan *spreadsheet* sederhana untuk menghitung biaya, membuat grafik produktivitas, atau menyusun diagram Pareto penyebab pemborosan.

Dalam konteks komunikasi teknis, teknologi digital membantu menyajikan masalah secara lebih jelas. Foto, grafik, peta, dan *dashboard* dapat membuat laporan lebih mudah dipahami. Namun, visualisasi tidak boleh menggantikan penjelasan teknis. Setiap gambar, tabel, atau grafik harus diberi judul, sumber data, keterangan, dan interpretasi. Visualisasi yang menarik tetapi tidak akurat dapat menyesatkan pembaca.

Pada akhirnya, pemanfaatan teknologi digital dalam *problem solving* teknik harus diarahkan pada peningkatan mutu keputusan. Teknologi membantu mahasiswa melihat masalah lebih cepat, mencatat data lebih rapi, menganalisis pola lebih jelas, dan mengevaluasi solusi lebih terukur. Namun, teknologi harus digunakan bersama etika, keselamatan, validasi data, dan pengetahuan teknik. Dengan sikap tersebut, mahasiswa vokasi keteknikan dapat memanfaatkan teknologi digital sebagai alat untuk menghasilkan solusi yang lebih inovatif, aman, dan bertanggung jawab. Setelah mempelajari Bab 6, pembaca diharapkan mampu:

1. Menjelaskan peran teknologi digital dalam *problem solving* teknik terapan.

2. Mengidentifikasi teknologi digital yang dapat digunakan pada tahap identifikasi masalah, pengumpulan data, analisis, perancangan solusi, implementasi, dan evaluasi.
3. Menggunakan dokumentasi digital, formulir digital, *spreadsheet*, grafik, dan *dashboard* sederhana untuk mendukung analisis teknik.
4. Menjelaskan manfaat dan keterbatasan sensor, data logger, CAD, BIM, simulasi, dan kecerdasan buatan dalam pekerjaan teknik.
5. Menjelaskan pentingnya keamanan siber, validasi data, dan etika penggunaan data digital.
6. Menyusun alur pemanfaatan teknologi digital untuk satu kasus *problem solving* teknik.

Bab ini membahas pemanfaatan teknologi digital untuk *problem solving* teknik. Ruang lingkupnya mencakup literasi digital dalam pekerjaan teknik, penggunaan data digital dan sensor, pemanfaatan *spreadsheet* dan visualisasi data, penggunaan CAD, BIM, simulasi, *dashboard*, kecerdasan buatan, sistem kolaborasi digital, keamanan data, etika digital, serta validasi hasil digital dengan bukti teknis. Pembahasan diarahkan agar mahasiswa mampu menggunakan teknologi digital secara kritis, aman, dan sesuai kebutuhan lapangan.

A. Penggunaan *Spreadsheet* untuk Pemodelan Sederhana



Gambar 17. Contoh Pengelolaan Data Problem Solving Teknik Menggunakan Spreadsheet Digital

Spreadsheet merupakan salah satu teknologi digital yang paling mudah digunakan dalam *problem solving* teknik terapan. *Spreadsheet* dapat digunakan untuk mencatat data, menghitung nilai, membandingkan alternatif, membuat grafik, menyusun tabel, melakukan estimasi biaya, menghitung volume, membaca tren, dan membuat model sederhana. Dalam pendidikan vokasi keteknikan, *spreadsheet* penting karena dapat menjembatani data lapangan, perhitungan teknis, dan pengambilan keputusan.

Spreadsheet tidak hanya berfungsi sebagai tabel elektronik. *Spreadsheet* dapat menjadi alat pemodelan sederhana. Pemodelan sederhana berarti membuat representasi terstruktur dari suatu masalah teknik dengan menggunakan data masukan, rumus, asumsi, dan keluaran. Model tersebut tidak harus kompleks. Model sederhana sudah cukup jika dapat membantu mahasiswa memahami hubungan antarvariabel, menguji skenario, dan memilih alternatif tindakan secara rasional.

Dalam pekerjaan teknik, banyak keputusan membutuhkan perhitungan berulang. Misalnya, menghitung volume pekerjaan, kebutuhan material, estimasi biaya, produktivitas alat, kebutuhan daya, debit aliran, jadwal pekerjaan, jumlah sampel, atau perbandingan biaya perawatan. Jika perhitungan dilakukan manual, kesalahan mudah terjadi dan perubahan data membutuhkan waktu. *Spreadsheet* membantu mempercepat proses tersebut karena rumus dapat diperbarui secara otomatis ketika data masukan berubah.

Penggunaan *spreadsheet* dalam pemodelan sederhana harus dimulai dari pemahaman masalah. Mahasiswa perlu mengetahui apa yang ingin dihitung, data apa yang dibutuhkan, satuan apa yang digunakan, rumus apa yang sesuai, dan keluaran apa yang diperlukan. Tanpa pemahaman teknis, *spreadsheet* hanya menjadi kumpulan angka. Angka yang rapi belum tentu benar jika asumsi, rumus, dan data masukannya salah.

Microsoft menjelaskan bahwa formula dalam Excel dapat menggunakan referensi sel, sehingga nilai yang digunakan dalam rumus dapat diubah melalui sel masukan tanpa harus mengubah rumus secara langsung (Microsoft, n.d.). Prinsip ini penting dalam

pemodelan sederhana karena mahasiswa dapat memisahkan data masukan, proses perhitungan, dan hasil keluaran. Pemisahan ini membuat model lebih mudah diperiksa dan diperbaiki.

Dalam konteks engineering, *spreadsheet* dapat digunakan untuk memahami perilaku sistem pada beberapa kondisi. Sumber pembelajaran teknik Engineering LibreTexts menjelaskan bahwa *spreadsheet* dapat dipahami sebagai alat pemodelan teknik, bukan sekadar kalkulator, karena dapat menyusun masukan, persamaan model, keluaran, dan variasi parameter. Prinsip ini sesuai dengan kebutuhan *problem solving* teknik, yaitu menguji hubungan antara perubahan data dan perubahan hasil.

Struktur *spreadsheet* yang baik perlu dibangun sejak awal. Model *spreadsheet* sebaiknya terdiri atas tiga bagian utama, yaitu bagian masukan, bagian perhitungan, dan bagian keluaran. Bagian masukan berisi data awal, asumsi, satuan, dan parameter. Bagian perhitungan berisi rumus dan proses pengolahan data. Bagian keluaran berisi hasil akhir, grafik, ringkasan, dan interpretasi. Struktur ini membantu mahasiswa dan pembaca lain memahami alur model.

Bagian masukan harus jelas dan mudah diubah. Misalnya, pada model perhitungan volume beton, bagian masukan dapat berisi panjang, lebar, tebal, faktor kehilangan, dan harga satuan. Pada model perhitungan kebutuhan daya, bagian masukan dapat berisi jumlah alat, daya tiap alat, faktor penggunaan, dan waktu operasi. Pada model produktivitas, bagian masukan dapat berisi jumlah *output*, waktu kerja, jumlah pekerja, dan waktu tunggu.

Bagian perhitungan harus menggunakan rumus yang sesuai. Rumus perlu ditulis secara konsisten dan menggunakan referensi sel. Hindari memasukkan angka tetap langsung ke dalam rumus jika angka tersebut merupakan asumsi yang dapat berubah. Misalnya, lebih baik menulis faktor kehilangan material pada sel tersendiri daripada langsung menulis angka 5 persen di dalam rumus. Dengan cara ini, jika asumsi berubah, model dapat diperbarui dengan mudah.

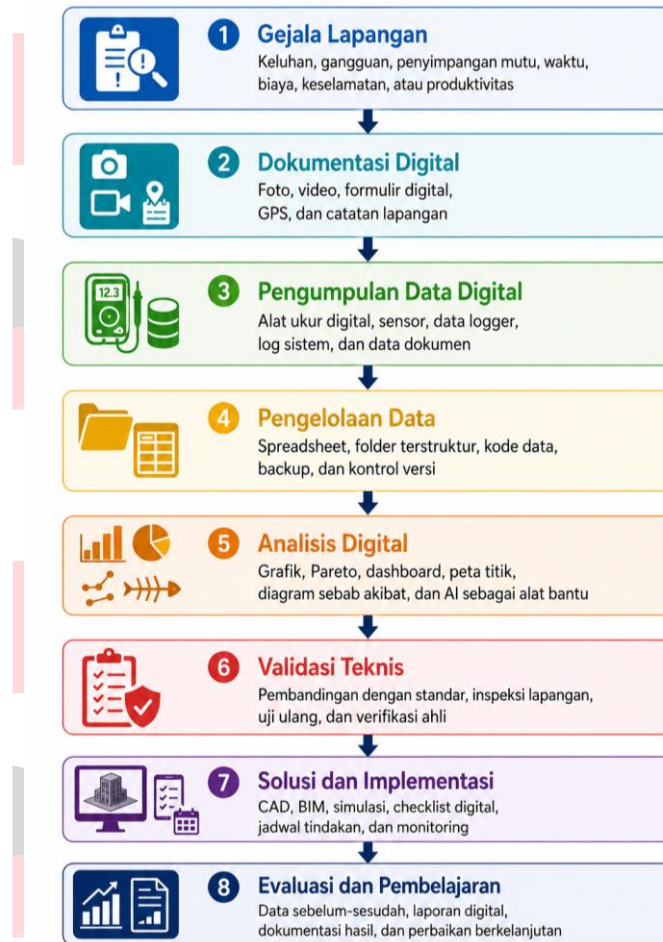
Bagian keluaran harus menampilkan hasil yang dibutuhkan untuk keputusan. Keluaran dapat berupa total volume, total biaya,

kebutuhan material, waktu pekerjaan, nilai produktivitas, persentase keterlambatan, nilai efisiensi, grafik tren, diagram Pareto, atau perbandingan alternatif. Keluaran sebaiknya tidak hanya berupa angka. Keluaran perlu diberi satuan, keterangan, dan interpretasi singkat agar dapat dipahami. Tabel 35 menyajikan struktur dasar *spreadsheet* untuk pemodelan sederhana dalam *problem solving* teknik terapan.

Tabel 35. Struktur *Spreadsheet* untuk Pemodelan Sederhana dalam *Problem Solving* Teknik

Bagian <i>Spreadsheet</i>	Isi Utama	Contoh Isi	Fungsi dalam <i>Problem Solving</i>
Identitas model	Judul, lokasi, tanggal, penyusun, dan tujuan model	Model estimasi kebutuhan beton untuk lantai kerja laboratorium	Menjelaskan konteks dan tujuan penggunaan <i>spreadsheet</i>
Data masukan	Data awal, parameter, asumsi, dan satuan	Panjang, lebar, tebal, harga satuan, faktor kehilangan	Menjadi dasar perhitungan dan dapat diubah untuk skenario
Data acuan	Standar, spesifikasi, gambar, batas operasi, atau nilai rencana	Tebal rencana, mutu material, kapasitas alat, target waktu	Menjadi pembanding hasil model
Perhitungan	Rumus, operasi matematika, dan pengolahan data	Volume = panjang $\times$ lebar $\times$ tebal; biaya = volume $\times$ harga satuan	Mengubah data masukan menjadi hasil teknis
Pemeriksaan kesalahan	Validasi satuan, rentang nilai, data kosong, dan rumus	Peringatan jika tebal bernilai nol atau harga satuan kosong	Mengurangi risiko kesalahan input dan kesalahan model
Keluaran	Hasil akhir, ringkasan, grafik, dan tabel keputusan	Total volume, total biaya, kebutuhan material, grafik perbandingan	Mendukung interpretasi dan keputusan teknis
Catatan asumsi	Penjelasan batas model dan asumsi penting	Faktor kehilangan 5 persen, harga berdasarkan survei lokal	Menjelaskan batas penggunaan model
Dokumentasi revisi	Tanggal perubahan, versi, dan alasan revisi	Versi 2 menyesuaikan harga material terbaru	Menjaga ketertelusuran perubahan model

Tabel 35 menunjukkan bahwa *spreadsheet* yang baik tidak hanya memuat angka dan rumus. *Spreadsheet* perlu memiliki identitas, data masukan, acuan, perhitungan, pemeriksaan kesalahan, keluaran, catatan asumsi, dan dokumentasi revisi. Struktur ini membantu model lebih mudah diperiksa, digunakan ulang, dan dipertanggungjawabkan.



Gambar 18. Struktur Pemodelan Sederhana Menggunakan *Spreadsheet*

Gambar 18 menjelaskan alur pemodelan sederhana menggunakan *spreadsheet*. Data masukan dimasukkan ke dalam model, kemudian diproses melalui rumus dan perhitungan. Model perlu diperiksa agar

kesalahan data, rumus, dan satuan dapat dikendalikan. Hasil model disajikan dalam bentuk tabel atau grafik, lalu ditafsirkan secara teknis. Alur ini menekankan bahwa *spreadsheet* hanya menjadi alat bantu, sedangkan keputusan tetap memerlukan interpretasi teknik.

Penggunaan *spreadsheet* untuk *problem solving* dapat dimulai dari kasus sederhana. Misalnya, mahasiswa ingin menganalisis kebutuhan material untuk pekerjaan lantai beton. Data masukan meliputi panjang, lebar, tebal, faktor kehilangan, dan harga satuan. Rumus digunakan untuk menghitung volume, kebutuhan material, dan biaya. Setelah itu, mahasiswa dapat mengubah tebal beton atau harga satuan untuk melihat perubahan biaya. Kegiatan ini disebut analisis skenario.

Analisis skenario merupakan salah satu manfaat utama *spreadsheet*. Dalam *problem solving*, mahasiswa sering perlu membandingkan beberapa alternatif. Misalnya, alternatif pertama menggunakan material A, alternatif kedua menggunakan material B, dan alternatif ketiga menggunakan metode kerja berbeda. *Spreadsheet* dapat membantu menghitung biaya, waktu, produktivitas, atau kebutuhan sumber daya untuk setiap alternatif. Hasilnya dapat disajikan dalam tabel perbandingan.

Contoh lain terdapat pada analisis produktivitas bengkel. Mahasiswa dapat mencatat jumlah benda kerja yang selesai, waktu kerja, jumlah operator, waktu tunggu, dan jumlah produk cacat. *Spreadsheet* dapat digunakan untuk menghitung *output* per jam, tingkat cacat, waktu produktif, dan waktu tidak produktif. Jika data dikelompokkan berdasarkan hari atau kelompok kerja, mahasiswa dapat membaca pola produktivitas.

Dalam teknik elektro, *spreadsheet* dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan daya sederhana. Data masukan dapat berupa daftar peralatan, daya tiap peralatan, jumlah unit, faktor penggunaan, dan waktu operasi. *Spreadsheet* dapat menghitung total daya, estimasi konsumsi energi, dan biaya energi. Jika data dibagi berdasarkan kelompok beban, *spreadsheet* juga dapat membantu membaca potensi ketidakseimbangan beban awal. Namun, keputusan teknis pada sistem listrik tetap harus mengikuti standar dan kewenangan tenaga kompeten.

Dalam teknik lingkungan, *spreadsheet* dapat digunakan untuk menyusun data kualitas air atau udara. Data masukan dapat berupa hasil *sampling*, lokasi, waktu, parameter, satuan, dan baku mutu. *Spreadsheet* dapat menghitung nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, persentase penyimpangan, dan grafik tren. Dengan cara ini, mahasiswa dapat melihat apakah suatu parameter melebihi acuan dan kapan penyimpangan terjadi.

Dalam teknik sipil, *spreadsheet* dapat digunakan untuk menghitung volume galian, timbunan, beton, pasangan, atau kebutuhan material. *Spreadsheet* juga dapat membantu estimasi biaya sederhana. Data masukan dapat diambil dari gambar, pengukuran lapangan, atau dokumen perencanaan. Jika terdapat perubahan dimensi, *spreadsheet* dapat menghitung ulang volume dan biaya dengan cepat. Namun, mahasiswa harus memastikan rumus dan satuan konsisten.

Spreadsheet juga dapat membantu menyusun diagram Pareto. Mahasiswa dapat memasukkan kategori penyebab, jumlah kejadian, durasi, atau biaya. *Spreadsheet* kemudian menghitung persentase dan persentase kumulatif. Hasil tersebut dapat divisualisasikan dalam grafik. Dengan demikian, *spreadsheet* mendukung analisis penyebab dominan yang telah dibahas pada Bab 5.

Selain Pareto, *spreadsheet* dapat digunakan untuk grafik garis, grafik batang, grafik sebar, tabel silang, dan ringkasan statistik sederhana. Grafik garis berguna untuk melihat tren waktu. Grafik batang berguna untuk membandingkan kategori. Grafik sebar berguna untuk melihat hubungan dua variabel. Tabel silang berguna untuk melihat hubungan antar kategori. Ringkasan statistik sederhana berguna untuk membaca nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum, dan rentang.

Namun, mahasiswa perlu memahami bahwa grafik dapat menyesatkan jika data tidak valid atau skala grafik tidak tepat. Grafik yang terlihat menarik belum tentu benar. Sumbu grafik harus jelas, satuan harus ditulis, sumber data perlu dicantumkan, dan interpretasi harus hati-hati. Grafik tidak boleh digunakan untuk menyembunyikan keterbatasan data.

Dalam pemodelan sederhana, asumsi perlu ditulis secara eksplisit. Asumsi adalah ketentuan awal yang digunakan dalam model. Contohnya adalah faktor kehilangan material 5 persen, harga satuan berdasarkan survei tanggal tertentu, waktu kerja efektif 7 jam per hari, atau kapasitas alat berdasarkan spesifikasi pabrikan. Jika asumsi tidak ditulis, pembaca sulit menilai hasil model. Asumsi juga membantu ketika model perlu direvisi.

Validasi model *spreadsheet* perlu dilakukan sebelum hasil digunakan. Validasi sederhana dapat dilakukan dengan memeriksa satuan, menguji rumus dengan contoh manual, memeriksa nilai ekstrem, membandingkan dengan perkiraan kasar, dan meminta orang lain memeriksa rumus. Misalnya, jika volume beton untuk lantai kecil menghasilkan angka yang sangat besar, mahasiswa perlu memeriksa apakah satuan meter dan sentimeter tercampur. Kesalahan satuan merupakan salah satu kesalahan umum dalam perhitungan teknik.

Risiko kesalahan *spreadsheet* perlu mendapat perhatian. Panko (1998) menunjukkan bahwa kesalahan dalam *spreadsheet* merupakan isu penting dalam penggunaan *spreadsheet* oleh pengguna akhir. Kesalahan dapat muncul pada data masukan, rumus, referensi sel, penyalinan formula, format angka, pembulatan, satuan, atau interpretasi hasil. Dalam konteks teknik, kesalahan kecil dapat berdampak besar jika model digunakan untuk keputusan biaya, mutu, atau keselamatan.

Kesalahan input terjadi ketika data yang dimasukkan salah. Misalnya, panjang 12 meter ditulis 120 meter, harga satuan salah angka nol, atau data suhu salah satuan. Kesalahan rumus terjadi ketika formula tidak sesuai dengan konsep teknis. Misalnya, volume dihitung dengan rumus luas yang salah atau faktor kehilangan diterapkan dua kali. Kesalahan referensi sel terjadi ketika rumus mengambil data dari sel yang tidak tepat. Kesalahan penyalinan terjadi ketika formula disalin tanpa memperhatikan referensi relatif dan absolut.

Untuk mengurangi kesalahan, *spreadsheet* perlu memiliki kontrol sederhana. Kontrol pertama adalah pemisahan warna atau area antara

sel input dan sel rumus. Sel input adalah tempat pengguna memasukkan data. Sel rumus sebaiknya tidak diubah. Kontrol kedua adalah penggunaan nama kolom dan satuan yang jelas. Kontrol ketiga adalah pemeriksaan rentang nilai. Misalnya, tebal pelat tidak boleh bernilai negatif. Kontrol keempat adalah perbandingan hasil dengan perhitungan manual sederhana. Kontrol kelima adalah dokumentasi versi.

Penggunaan referensi sel juga perlu dipahami. Referensi relatif berubah ketika rumus disalin ke sel lain. Referensi absolut tetap mengacu pada sel tertentu. Dalam analisis skenario, referensi absolut sering digunakan untuk mengunci nilai asumsi, seperti harga satuan atau faktor kehilangan. Jika mahasiswa tidak memahami perbedaan ini, hasil perhitungan dapat berubah secara tidak sengaja.

Selain rumus dasar, mahasiswa dapat menggunakan fungsi sederhana. Fungsi SUM dapat digunakan untuk menjumlahkan data. AVERAGE untuk menghitung rata-rata. MIN dan MAX untuk mencari nilai terendah dan tertinggi. COUNT dan COUNTA untuk menghitung jumlah data. IF untuk membuat logika sederhana. COUNTIF dan SUMIF untuk menghitung berdasarkan kriteria. Fungsi-fungsi ini cukup untuk banyak kebutuhan *problem solving* teknik tingkat dasar.

Meskipun *spreadsheet* menyediakan banyak fungsi, mahasiswa tidak perlu menggunakan fungsi kompleks jika tidak diperlukan. Model yang baik bukan model yang paling rumit, tetapi model yang sesuai tujuan, mudah diperiksa, dan dapat dipahami oleh pengguna lain. Dalam pekerjaan teknik, model yang sederhana tetapi transparan sering lebih berguna daripada model kompleks yang sulit diperiksa.

Dalam kerja kelompok, file *spreadsheet* perlu dikelola dengan disiplin. Satu file utama perlu ditetapkan. Perubahan perlu dicatat. Nama file perlu memuat versi dan tanggal. Misalnya, “Model_Biaya_Drainase_v03_2026-07-05.” Jika beberapa orang mengubah file tanpa kontrol, kesalahan versi mudah terjadi. Data dapat tertimpa atau rumus dapat berubah tanpa disadari.

Spreadsheet juga perlu dilindungi dari perubahan tidak sengaja. Jika memungkinkan, sel rumus dapat dikunci. Sheet khusus input dapat dipisahkan dari sheet perhitungan. Sheet keluaran dapat disiapkan untuk ringkasan dan grafik. Struktur ini membantu pengguna yang berbeda tetap memakai model dengan benar. Dalam tugas mahasiswa, dosen dapat meminta file *spreadsheet* disertai catatan asumsi dan petunjuk penggunaan.

Pemodelan sederhana menggunakan *spreadsheet* harus memperhatikan batas model. Model adalah penyederhanaan dari kondisi nyata. Tidak semua faktor lapangan dapat dimasukkan. Misalnya, model biaya sederhana mungkin belum memperhitungkan perubahan harga, kehilangan waktu, keterlambatan pengiriman, atau risiko cuaca. Model produktivitas mungkin belum memasukkan faktor kelelahan, gangguan alat, atau keterampilan pekerja. Karena itu, hasil *spreadsheet* harus dibaca sebagai alat bantu, bukan kebenaran mutlak.

Dalam laporan teknik, hasil *spreadsheet* perlu disajikan secara jelas. Mahasiswa dapat menampilkan tabel masukan, rumus utama, hasil perhitungan, grafik, dan interpretasi. Tidak semua isi *spreadsheet* perlu dimasukkan ke laporan utama. Data detail dapat ditempatkan pada lampiran. Namun, pembaca harus dapat memahami bagaimana hasil diperoleh. Jika laporan hanya menampilkan angka akhir tanpa alur perhitungan, hasilnya sulit diverifikasi.

Penggunaan *spreadsheet* juga mendukung pembelajaran reflektif. Mahasiswa dapat mengubah satu parameter dan melihat pengaruhnya terhadap hasil. Misalnya, ketika harga material naik 10 persen, total biaya berubah berapa persen. Ketika waktu kerja efektif turun satu jam, produktivitas berubah bagaimana. Ketika faktor kehilangan material meningkat, kebutuhan material dan biaya ikut berubah. Kegiatan ini membantu mahasiswa memahami sensitivitas model.

Analisis sensitivitas sederhana dapat dilakukan dengan membuat beberapa skenario. Skenario dasar menggunakan nilai normal. Skenario optimistis menggunakan kondisi yang lebih baik. Skenario pesimistis menggunakan kondisi yang lebih berat. Misalnya, pada estimasi biaya, skenario dasar memakai harga saat ini, skenario

optimistis memakai harga turun 5 persen, dan skenario pesimistis memakai harga naik 10 persen. Hasilnya membantu mahasiswa memahami risiko perubahan data masukan.

Dalam konteks *problem solving*, *spreadsheet* juga dapat membantu menguji alternatif solusi. Misalnya, pada masalah genangan, alternatif pertama adalah pembersihan saluran rutin, alternatif kedua adalah pelebaran saluran, dan alternatif ketiga adalah penambahan inlet. *Spreadsheet* dapat membantu membandingkan biaya, waktu pelaksanaan, kebutuhan tenaga kerja, dan potensi dampak. Keputusan akhir tetap memerlukan pertimbangan teknis, keselamatan, lingkungan, dan kebutuhan pengguna.

Pada kasus mesin, *spreadsheet* dapat membantu membandingkan biaya perawatan preventif dan biaya kerusakan berulang. Data masukan dapat berupa biaya suku cadang, waktu downtime, biaya tenaga kerja, frekuensi kerusakan, dan biaya kehilangan produksi. Model sederhana dapat menunjukkan apakah perawatan terjadwal lebih efisien daripada perbaikan setelah rusak. Namun, data yang digunakan harus realistis.

Pada kasus laboratorium, *spreadsheet* dapat membantu membaca konsistensi hasil uji. Mahasiswa dapat memasukkan hasil beberapa sampel, menghitung rata-rata, rentang, dan selisih terhadap nilai acuan. Jika hasil sangat bervariasi, mahasiswa dapat memeriksa kemungkinan penyebab, seperti alat, prosedur, operator, sampel, atau kondisi lingkungan. *Spreadsheet* tidak menemukan akar masalah secara otomatis, tetapi membantu melihat pola data.

Etika penggunaan *spreadsheet* juga perlu diperhatikan. Mahasiswa tidak boleh mengubah angka agar hasil tampak sesuai harapan. Rumus tidak boleh disembunyikan jika laporan perlu diperiksa. Asumsi tidak boleh dibuat terlalu optimistis tanpa dasar. Data yang tidak lengkap harus dinyatakan. Jika model memiliki keterbatasan, keterbatasan tersebut harus ditulis. Kejujuran dalam pemodelan merupakan bagian dari tanggung jawab teknis.

Keamanan data juga penting. *Spreadsheet* dapat memuat data biaya, data fasilitas, data produksi, atau data teknis internal. File harus

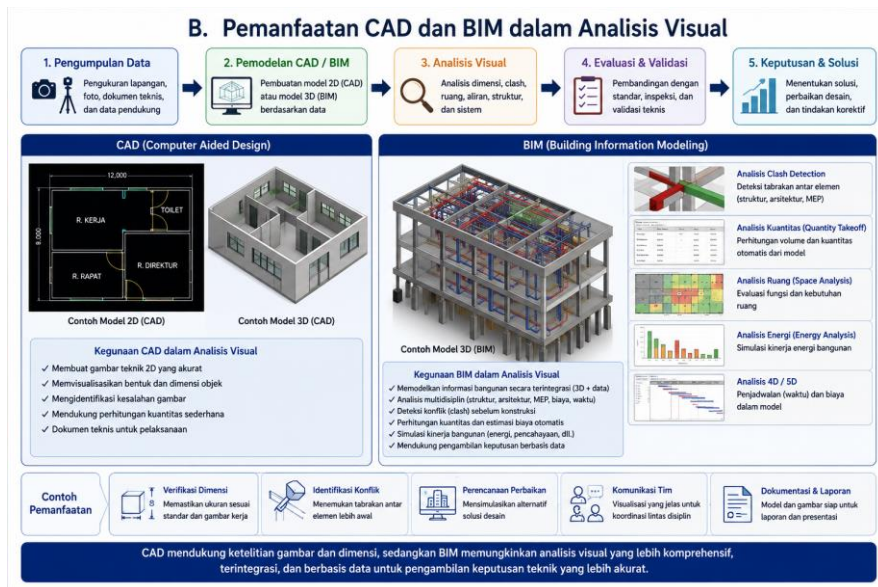
disimpan dengan aman dan dibagikan hanya kepada pihak yang berhak. Jika data berasal dari industri atau proyek nyata, mahasiswa harus mengikuti izin penggunaan data. Data sensitif dapat dianonimkan sebelum digunakan untuk laporan akademik.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat merancang penilaian berbasis *spreadsheet*. Kriteria penilaian dapat mencakup kejelasan struktur file, kebenaran rumus, konsistensi satuan, kelengkapan asumsi, validasi hasil, kejelasan grafik, dan kualitas interpretasi. Dengan kriteria tersebut, mahasiswa tidak hanya dinilai dari angka akhir, tetapi dari proses berpikir dan pengendalian kualitas model.

Pada akhirnya, penggunaan *spreadsheet* untuk pemodelan sederhana membantu mahasiswa menghubungkan data lapangan dengan keputusan teknik. *Spreadsheet* memungkinkan mahasiswa menghitung, membandingkan, memvisualisasikan, dan menguji skenario secara efisien. Namun, hasil *spreadsheet* harus selalu diperiksa dengan pengetahuan teknik, standar, data lapangan, dan etika penggunaan data. *Spreadsheet* yang baik adalah *spreadsheet* yang transparan, mudah diperiksa, berbasis data, dan relevan dengan masalah yang diselesaikan.

Spreadsheet dapat digunakan sebagai alat pemodelan sederhana dalam *problem solving* teknik terapan. Model *spreadsheet* yang baik memuat data masukan, acuan, rumus, pemeriksaan kesalahan, keluaran, catatan asumsi, dan dokumentasi revisi. *Spreadsheet* membantu perhitungan volume, biaya, produktivitas, daya, tren data, Pareto, skenario, dan perbandingan alternatif. Namun, *spreadsheet* juga memiliki risiko kesalahan pada data, rumus, referensi sel, satuan, dan interpretasi. Oleh karena itu, hasil *spreadsheet* harus divalidasi, didokumentasikan, dan digunakan secara etis.

B. Pemanfaatan CAD dan BIM dalam Analisis Visual



Gambar 19. Contoh Pemanfaatan CAD dan BIM dalam Analisis Visual

Computer-Aided Design dan *Building Information Modeling* merupakan teknologi digital yang banyak digunakan dalam pekerjaan teknik, terutama pada bidang konstruksi, arsitektur, manufaktur, mekanikal, elektrikal, dan perencanaan infrastruktur. Keduanya membantu pengguna menyajikan objek teknik dalam bentuk visual yang lebih jelas dibandingkan sketsa manual. Dalam *problem solving* teknik terapan, CAD dan BIM dapat digunakan untuk memahami bentuk, posisi, hubungan antar komponen, potensi konflik, kesalahan desain, kesalahan pelaksanaan, serta alternatif solusi.

CAD adalah teknologi berbasis perangkat lunak yang digunakan untuk membuat, mengubah, menganalisis, dan mendokumentasikan desain dalam bentuk gambar 2D atau model 3D. Dalam pekerjaan teknik, CAD membantu pengguna membuat gambar kerja, detail komponen, layout, potongan, tampak, dimensi, simbol, dan anotasi. CAD sangat berguna ketika masalah teknik berkaitan dengan bentuk, ukuran, posisi, jarak, toleransi, atau hubungan geometris antar elemen.

BIM memiliki cakupan yang lebih luas daripada CAD. BIM tidak hanya menampilkan bentuk visual, tetapi juga mengelola informasi bangunan atau aset dalam model digital. Model BIM dapat memuat elemen bangunan, dimensi, material, properti teknis, lokasi, hubungan antar elemen, jadwal, biaya, dan informasi pemeliharaan. ISO 19650-1:2018 menjelaskan konsep dan prinsip manajemen informasi pada tingkat kematangan yang disebut building information modelling sesuai seri ISO 19650 (International Organization for Standardization, 2018). Dengan demikian, BIM perlu dipahami sebagai proses manajemen informasi, bukan hanya perangkat lunak pemodelan 3D.

Dalam analisis visual, CAD dan BIM membantu mahasiswa melihat masalah yang tidak mudah dipahami melalui teks atau angka. Misalnya, saluran drainase yang tampak sederhana pada laporan dapat dianalisis lebih jelas melalui gambar layout, potongan memanjang, dan potongan melintang. Jalur kabel yang rumit dapat diperiksa melalui model 3D atau gambar instalasi. Konflik antara pipa, balok, ducting, dan plafon dapat dikenali melalui model koordinasi BIM. Komponen mesin dapat diperiksa melalui gambar perakitan dan model tiga dimensi.

CAD dan BIM juga membantu mengurangi kesalahan komunikasi. Dalam pekerjaan teknik, banyak masalah terjadi karena perbedaan pemahaman terhadap gambar, spesifikasi, atau instruksi kerja. Gambar visual yang jelas membantu teknisi, mahasiswa, dosen, *supervisor*, pemilik pekerjaan, dan pengguna memahami objek yang sama. Visualisasi yang baik dapat mempercepat diskusi, memperjelas lokasi masalah, dan membantu menentukan tindakan yang diperlukan.

Pemanfaatan CAD dalam *problem solving* dapat dimulai dari gambar 2D. Gambar 2D dapat berupa denah, tampak, potongan, layout, detail sambungan, diagram instalasi, atau gambar komponen. Gambar 2D membantu menunjukkan ukuran dan posisi secara akurat. Pada kasus genangan, gambar denah dan potongan saluran dapat membantu membaca kemiringan, posisi inlet, arah aliran, dan hubungan saluran dengan permukaan tanah. Pada kasus bengkel,

layout ruang dapat membantu membaca alur kerja, jarak antar mesin, area penyimpanan, dan jalur pergerakan.

CAD 3D membantu analisis visual yang membutuhkan pemahaman bentuk ruang. Model 3D membuat pengguna lebih mudah melihat hubungan antar elemen dari berbagai sudut. Pada komponen mesin, model 3D dapat menunjukkan bentuk, lubang, sambungan, dan ruang gerak komponen. Pada pekerjaan bangunan, model 3D dapat menunjukkan konflik posisi, ketinggian, bukaan, ruang instalasi, dan kemudahan akses pemeliharaan. Model 3D sangat membantu bagi mahasiswa yang sulit membayangkan bentuk dari gambar 2D saja.

BIM memberikan kemampuan analisis visual yang lebih kaya karena objek dalam model memiliki informasi. Sebuah dinding dalam model BIM tidak hanya berbentuk bidang, tetapi dapat memuat jenis material, ketebalan, tinggi, lapisan, volume, dan hubungan dengan elemen lain. Sebuah pipa tidak hanya berbentuk garis atau silinder, tetapi dapat memuat diameter, elevasi, material, sistem, dan jalur. Informasi ini membantu analisis masalah yang berkaitan dengan mutu, kuantitas, koordinasi, dan pemeliharaan.

Dalam proses *problem solving*, CAD dan BIM dapat digunakan pada beberapa tahap. Pada tahap identifikasi masalah, gambar atau model membantu menunjukkan lokasi dan bentuk gejala. Pada tahap pengumpulan data, gambar dapat digunakan sebagai dasar penentuan titik ukur. Pada tahap analisis akar masalah, model dapat membantu memeriksa hubungan antar elemen dan potensi konflik. Pada tahap perancangan solusi, CAD dan BIM membantu menyusun alternatif desain. Pada tahap evaluasi, model sebelum dan sesudah dapat dibandingkan untuk melihat perubahan.

Pemanfaatan CAD dan BIM perlu dikaitkan dengan data lapangan. Model digital tidak selalu sama dengan kondisi aktual. Perubahan lapangan, pekerjaan tambahan, kesalahan pelaksanaan, atau revisi yang tidak diperbarui dapat membuat model berbeda dari realitas. Oleh karena itu, mahasiswa perlu melakukan verifikasi lapangan. Foto, pengukuran, inspeksi, dan dokumen pelaksanaan perlu

dibandingkan dengan gambar atau model. Jika terdapat perbedaan, perbedaan tersebut harus dicatat sebagai bagian dari analisis.

Dalam pekerjaan konstruksi, salah satu manfaat penting BIM adalah koordinasi antar disiplin. Elemen arsitektur, struktur, mekanikal, elektrikal, plumbing, dan infrastruktur dapat digabung dalam satu model koordinasi. Dengan cara ini, potensi benturan atau clash dapat dikenali sebelum pekerjaan dilakukan. Misalnya, jalur ducting dapat bertabrakan dengan balok, pipa dapat melewati area yang tidak tersedia, atau panel listrik dapat ditempatkan pada area yang sulit diakses. Deteksi konflik seperti ini membantu mencegah pekerjaan ulang.

BuildingSMART menjelaskan bahwa Industry Foundation Classes merupakan deskripsi digital standar untuk industri aset terbangun, bersifat terbuka, global, netral-vendor, dan diterbitkan sebagai ISO 16739. IFC mendukung interpretasi informasi oleh mesin dan memungkinkan otomatisasi alur kerja (buildingSMART International, n.d.). Prinsip ini penting karena model BIM sering dibuat dengan perangkat lunak berbeda. Format terbuka membantu pertukaran data antar pengguna dan mengurangi ketergantungan pada satu perangkat lunak tertentu.

National BIM *Standard*-United States Version 4 menjelaskan bahwa standar BIM bertujuan memajukan siklus hidup lingkungan terbangun dengan mengorganisasi dan mengklasifikasi data objek elektronik agar komunikasi antar pemilik, desainer, pemasok, kontraktor, pengelola fasilitas, dan pemangku kepentingan lain menjadi lebih lancar (National Institute of Building Sciences, n.d.). Dalam konteks pendidikan vokasi, prinsip ini menunjukkan bahwa BIM dapat menjadi media komunikasi teknis lintas pihak. Tabel 36 menyajikan perbandingan pemanfaatan CAD dan BIM dalam analisis visual *problem solving* teknik.

Tabel 36. Pemanfaatan CAD dan BIM dalam Analisis Visual *Problem Solving* Teknik

Aspek Pemanfaatan	CAD	BIM	Contoh Penggunaan dalam <i>Problem Solving</i>
Bentuk representasi	Gambar 2D dan model 3D berbasis geometri	Model digital berbasis objek dan informasi	CAD digunakan untuk menggambar ulang layout; BIM digunakan untuk melihat informasi elemen dan hubungan antar sistem
Fokus utama	Ketepatan bentuk, ukuran, posisi, dan detail visual	Integrasi bentuk, informasi, koordinasi, kuantitas, dan siklus hidup aset	Pemeriksaan posisi saluran, panel, pipa, balok, mesin, atau ruang kerja
Data yang ditampilkan	Garis, dimensi, anotasi, layer, simbol, dan bentuk 3D	Elemen model, material, properti, volume, lokasi, sistem, dan metadata	Membaca volume material, jenis elemen, elevasi pipa, atau spesifikasi komponen
Fungsi analisis visual	Memeriksa geometri, ukuran, toleransi, dan layout	Memeriksa koordinasi antar elemen, konflik desain, kuantitas, dan informasi aset	Menemukan benturan pipa dengan balok atau akses pemeliharaan yang sulit
Keterkaitan dengan lapangan	Perlu dibandingkan dengan hasil ukur dan kondisi aktual	Perlu diperbarui sesuai kondisi as-built dan data lapangan	Membandingkan gambar rencana dengan foto, hasil ukur, dan kondisi terpasang
Keluaran analisis	Gambar kerja, detail, layout, potongan, dan model visual	Model koordinasi, daftar kuantitas, deteksi konflik, informasi elemen, dan visualisasi 3D	Menyusun alternatif perbaikan, klarifikasi lokasi masalah, dan rekomendasi teknis
Risiko penggunaan	Gambar tidak diperbarui, salah layer, salah skala, atau salah interpretasi	Model tidak sesuai kondisi aktual, informasi objek tidak lengkap, atau format data tidak kompatibel	Keputusan salah jika model digital dianggap sama dengan kondisi lapangan tanpa verifikasi

Aspek Pemanfaatan	CAD	BIM	Contoh Penggunaan dalam Problem Solving
Kebutuhan kompetensi	Membaca gambar, membuat dimensi, mengatur layer, dan memahami simbol teknik	Memahami objek model, koordinasi disiplin, informasi aset, dan standar manajemen informasi	Mahasiswa perlu memahami gambar teknik, standar, data lapangan, dan komunikasi lintas disiplin

Tabel 36 menunjukkan bahwa CAD dan BIM memiliki fungsi yang saling melengkapi. CAD sangat kuat untuk membuat gambar teknis dan analisis geometri. BIM lebih kuat untuk analisis berbasis objek, informasi, koordinasi, dan siklus hidup aset. Dalam *problem solving* teknik, keduanya dapat digunakan sesuai kebutuhan. Masalah sederhana dapat cukup dianalisis dengan CAD 2D. Masalah yang melibatkan banyak elemen dan disiplin lebih tepat dianalisis dengan BIM.

Analisis visual menggunakan CAD dapat diterapkan pada kasus drainase. Mahasiswa dapat menggambar denah area, posisi inlet, arah aliran, saluran utama, elevasi titik penting, dan lokasi genangan. Dari gambar tersebut, mahasiswa dapat melihat apakah arah aliran sesuai, apakah inlet berada pada titik rendah, dan apakah outlet memiliki jalur yang jelas. Gambar potongan dapat membantu membaca kemiringan saluran. Analisis ini lebih kuat jika didukung hasil ukur lapangan.

Pada kasus bengkel, CAD dapat digunakan untuk menganalisis layout mesin dan alur kerja. Mahasiswa dapat menggambar posisi mesin, area penyimpanan bahan, jalur pergerakan operator, area kerja aman, dan lokasi alat bantu. Jika ditemukan waktu tunggu tinggi atau pergerakan tidak efisien, gambar layout dapat membantu menunjukkan hambatan. Misalnya, alat sering dicari karena penyimpanan jauh dari mesin atau jalur pergerakan terlalu sempit.

Pada kasus komponen mesin, CAD 3D dapat membantu memeriksa bentuk komponen, celah, lubang, sambungan, dan potensi interferensi. Mahasiswa dapat membandingkan model dengan komponen aktual. Jika komponen tidak terpasang dengan baik, analisis dapat diarahkan pada toleransi, ketepatan lubang, posisi

sambungan, atau kesesuaian desain. CAD 3D juga dapat membantu membuat alternatif perbaikan sebelum komponen diproduksi ulang.

Pada kasus instalasi mekanikal, elektrik, dan plumbing, BIM dapat membantu analisis koordinasi. Misalnya, pipa air bersih, ducting, kabel tray, dan balok struktur berada dalam ruang plafon yang terbatas. Model BIM dapat membantu melihat jalur yang saling bertabrakan atau terlalu dekat. Dengan analisis visual, tim dapat menentukan perubahan jalur sebelum pelaksanaan atau sebelum pekerjaan ulang terjadi di lapangan.

BIM juga dapat digunakan untuk analisis kuantitas. Model yang disusun dengan benar dapat membantu menghitung volume dinding, lantai, beton, pipa, ducting, atau komponen lain. Namun, hasil kuantitas dari BIM harus diperiksa. Jika objek model tidak dimodelkan sesuai aturan, volume dapat salah. Misalnya, elemen ganda, objek tidak terhubung, atau properti material kosong dapat menghasilkan data kuantitas yang tidak valid. Oleh karena itu, BIM tetap memerlukan pemeriksaan kualitas model.

Analisis visual menggunakan CAD dan BIM juga dapat membantu komunikasi dengan pengguna. Tidak semua pengguna memahami tabel teknis atau gambar potongan. Model 3D dapat membantu menjelaskan masalah dan solusi secara lebih mudah. Misalnya, alternatif jalur pipa, posisi panel baru, perubahan layout ruang, atau penambahan inlet drainase dapat ditampilkan secara visual. Visualisasi ini memperkuat diskusi kebutuhan pengguna dan kriteria kinerja.

Namun, mahasiswa perlu berhati-hati agar visualisasi tidak mengalahkan analisis. Model 3D yang menarik belum tentu benar secara teknis. Warna, tekstur, dan tampilan realistis dapat membuat model terlihat meyakinkan, padahal data ukuran, spesifikasi, atau kondisi lapangan belum tepat. Dalam laporan teknik, visualisasi harus disertai data, acuan, dan interpretasi. Tampilan visual tidak boleh menjadi pengganti bukti teknis.

Validasi model merupakan bagian penting dalam penggunaan CAD dan BIM. Validasi dapat dilakukan dengan membandingkan

model dengan gambar resmi, hasil ukur lapangan, foto, data as-built, dan dokumen perubahan. Jika CAD atau BIM digunakan untuk menganalisis masalah, mahasiswa perlu menjelaskan sumber model. Apakah model berasal dari gambar rencana, survei ulang, data as-built, atau pemodelan ulang oleh mahasiswa. Sumber model memengaruhi tingkat kepercayaan analisis.

Kualitas layer, koordinat, skala, dan satuan juga perlu diperhatikan dalam CAD. Kesalahan skala dapat menyebabkan interpretasi ukuran salah. Layer yang tidak teratur dapat membuat objek sulit dibaca. Satuan yang tidak konsisten dapat menyebabkan kesalahan dimensi. Dalam pembelajaran vokasi, mahasiswa perlu dibiasakan memeriksa satuan, skala, simbol, layer, dan anotasi sebelum menggunakan gambar sebagai dasar analisis.

Pada BIM, kualitas informasi objek perlu diperiksa. Objek dalam model harus memiliki nama, kategori, level, lokasi, dan properti yang sesuai. Jika objek hanya dimodelkan sebagai bentuk 3D tanpa informasi, manfaat BIM berkurang. Untuk analisis sederhana, mahasiswa tidak harus membuat model sangat rinci. Namun, informasi yang diperlukan untuk *problem solving* harus tersedia. Misalnya, jika masalah berkaitan dengan pipa, maka diameter, elevasi, jalur, dan sistem pipa perlu jelas.

Dalam penggunaan BIM, tingkat kedetailan model perlu disesuaikan dengan tujuan. Model yang terlalu sederhana mungkin tidak cukup untuk analisis konflik. Model yang terlalu rinci dapat memakan waktu dan sulit dikelola. Mahasiswa perlu menentukan elemen mana yang penting untuk dianalisis. Jika masalahnya adalah jalur kabel yang mengganggu akses, model perlu menampilkan kabel tray, panel, ruang akses, dan elemen penghalang. Tidak semua detail arsitektur harus dimodelkan.

CAD dan BIM juga dapat membantu membandingkan kondisi rencana dan kondisi aktual. Pada tahap ini, mahasiswa dapat membuat dua kelompok data visual. Pertama, gambar atau model rencana. Kedua, foto, hasil ukur, atau model kondisi aktual. Perbandingan ini membantu menemukan deviasi. Misalnya, posisi saluran terpasang

bergeser dari rencana, elevasi outlet tidak sesuai, atau ruang untuk pemeliharaan lebih sempit dari gambar.

Dalam kasus proyek, perubahan desain sering menjadi sumber masalah. BIM dapat membantu mencatat dan mengoordinasikan perubahan jika dikelola dengan benar. Namun, jika model tidak diperbarui, BIM justru dapat menyesatkan. Karena itu, manajemen informasi menjadi penting. ISO 19650 menekankan pengorganisasian, pertukaran, perekaman, pemberian versi, dan pengelolaan informasi untuk para pihak yang terlibat dalam BIM (International Organization for Standardization, 2018). Prinsip versi dan rekaman perubahan perlu dikenalkan kepada mahasiswa.

Dalam laporan *problem solving*, hasil analisis CAD atau BIM dapat disajikan dalam bentuk cuplikan gambar, denah beranotasi, potongan, model 3D, tabel temuan, atau daftar konflik. Namun, setiap visual harus memiliki judul, keterangan, sumber model, dan penjelasan teknis. Jika menggunakan gambar riil atau tangkapan layar proyek, pastikan izin penggunaan dan kerahasiaan data. Identitas proyek atau organisasi dapat disamarkan jika diperlukan.

Jika Bapak/Ibu ingin menambahkan gambar riil pada subbab ini, gambar yang paling tepat adalah tangkapan layar atau foto dari pekerjaan pembelajaran, bukan gambar ilustratif umum. Gambar riil yang dapat digunakan adalah: tampilan CAD 2D layout saluran drainase dengan anotasi titik genangan; tampilan model BIM 3D bangunan sederhana yang menunjukkan konflik pipa dan balok; atau perbandingan foto lapangan dengan gambar CAD yang menunjukkan perbedaan posisi elemen. Gambar tersebut sebaiknya diberi keterangan sumber, lokasi, tanggal, dan konteks analisis. Jika data berasal dari proyek nyata, hilangkan nama proyek, nama perusahaan, dan informasi sensitif.

Pemanfaatan CAD dan BIM dalam analisis visual juga perlu memperhatikan kompetensi pengguna. Mahasiswa tidak cukup hanya bisa membuka file. Mahasiswa perlu mampu membaca simbol, memahami skala, menafsirkan potongan, memeriksa dimensi, membaca elevasi, mengidentifikasi objek, dan menghubungkan model dengan kondisi lapangan. Untuk BIM, mahasiswa juga perlu

memahami informasi objek, koordinasi model, dan keterkaitan antara model dengan data teknis.

Dosen dapat merancang latihan sederhana. Misalnya, mahasiswa diberikan gambar CAD layout ruang praktik. Mahasiswa diminta mengidentifikasi potensi masalah alur kerja, area sempit, jarak tidak aman, dan posisi alat yang tidak efisien. Latihan lain dapat menggunakan model BIM sederhana. Mahasiswa diminta mencari konflik antar elemen, memeriksa akses pemeliharaan, atau membandingkan model dengan foto lapangan. Latihan seperti ini melatih analisis visual berbasis bukti.

Analisis visual juga dapat digunakan untuk menyusun alternatif solusi. Setelah masalah ditemukan, mahasiswa dapat membuat beberapa alternatif perubahan layout, jalur pipa, posisi panel, ukuran saluran, atau bentuk komponen. Alternatif dapat dibandingkan berdasarkan kelayakan teknis, biaya, waktu, keselamatan, dan kebutuhan pengguna. CAD dan BIM membantu memperlihatkan dampak visual dari setiap alternatif sebelum keputusan diambil.

Dalam konteks keselamatan, CAD dan BIM dapat membantu memetakan area berisiko. Jalur evakuasi, ruang kerja, area alat berat, zona bahaya listrik, ruang terbatas, dan akses pemeliharaan dapat divisualkan. Visualisasi ini membantu diskusi K3. Namun, keputusan keselamatan tetap harus mengacu pada standar, prosedur, dan penilaian risiko. Model hanya membantu memahami ruang dan hubungan antar elemen.

Dalam konteks pemeliharaan, BIM dapat membantu menyimpan informasi aset. Lokasi peralatan, spesifikasi, jadwal perawatan, akses, dan riwayat penggantian dapat dikaitkan dengan model jika sistemnya tersedia. Untuk pembelajaran vokasi, konsep ini dapat diperkenalkan secara sederhana melalui model ruang laboratorium yang memuat posisi panel, mesin, saluran, dan alat keselamatan. Mahasiswa dapat belajar bahwa informasi aset yang terstruktur mempermudah *problem solving* saat gangguan terjadi.

Keterbatasan CAD dan BIM perlu dipahami. Pertama, model bergantung pada kualitas data masukan. Kedua, model dapat

tertinggal dari kondisi lapangan. Ketiga, pengguna dapat salah membaca skala, layer, level, atau objek. Keempat, model BIM dapat mengandung informasi yang tidak lengkap. Kelima, perangkat lunak yang berbeda dapat menimbulkan masalah kompatibilitas. Keenam, model visual dapat memberikan rasa yakin yang berlebihan jika tidak divalidasi.

Untuk mengurangi keterbatasan tersebut, mahasiswa perlu melakukan beberapa langkah pengendalian. Pertama, periksa sumber model. Kedua, pastikan satuan dan skala benar. Ketiga, bandingkan model dengan foto dan hasil ukur lapangan. Keempat, catat versi gambar atau model. Kelima, gunakan format pertukaran data yang sesuai jika bekerja lintas perangkat lunak. Keenam, tulis keterbatasan model dalam laporan. Ketujuh, jangan mengambil keputusan teknis hanya dari tampilan visual tanpa data pendukung.

Pada akhirnya, CAD dan BIM merupakan alat penting dalam analisis visual *problem solving* teknik. CAD membantu memeriksa geometri, ukuran, layout, dan detail. BIM membantu menghubungkan bentuk visual dengan informasi objek, koordinasi antar disiplin, kuantitas, dan siklus hidup aset. Keduanya dapat memperkuat pemahaman masalah, komunikasi teknis, dan perancangan solusi. Namun, CAD dan BIM harus selalu digunakan bersama verifikasi lapangan, standar, data teknis, dan pertimbangan keselamatan. Dengan penggunaan yang tepat, mahasiswa vokasi keteknikan dapat memanfaatkan CAD dan BIM sebagai alat analisis visual yang kritis, produktif, dan bertanggung jawab.

CAD dan BIM membantu *problem solving* teknik melalui analisis visual. CAD kuat untuk membuat dan membaca gambar 2D, model 3D, ukuran, layout, dan detail geometri. BIM lebih luas karena menghubungkan model visual dengan informasi objek, koordinasi antar disiplin, kuantitas, dan manajemen informasi aset. Dalam analisis visual, CAD dan BIM dapat membantu mengenali lokasi masalah, konflik antar elemen, perbedaan rencana dan kondisi aktual, serta alternatif solusi. Namun, model digital harus divalidasi dengan data lapangan, foto, hasil ukur, dokumen, dan standar. Visualisasi yang menarik tidak boleh menggantikan bukti teknis.

C. Sensor dan *Internet of Things* untuk Pemantauan Kondisi



Gambar 20. Contoh Pemanfaatan Sensor dalam *Internet of Things* (IoT)

Sensor dan *Internet of Things* merupakan bagian penting dari teknologi digital dalam *problem solving* teknik. Sensor digunakan untuk menangkap perubahan kondisi fisik, kimia, listrik, mekanik, atau lingkungan. *Internet of Things*, atau IoT, menghubungkan perangkat, sensor, sistem komunikasi, penyimpanan data, dan aplikasi agar data kondisi dapat dikumpulkan, dikirim, disimpan, ditampilkan, dan dianalisis. Dalam pekerjaan teknik terapan, kombinasi sensor dan IoT membantu pemantauan kondisi secara lebih cepat, berulang, dan terukur.

Pemantauan kondisi berarti kegiatan mengamati keadaan suatu sistem, alat, lingkungan, atau proses secara berkala atau terus-menerus. Tujuannya adalah mengetahui apakah kondisi masih normal, mulai menyimpang, atau sudah berada pada tingkat berisiko. Dalam *problem solving* teknik, pemantauan kondisi membantu mahasiswa mengenali pola masalah, menemukan anomali, membandingkan kondisi sebelum dan sesudah tindakan, serta menyusun keputusan berbasis data.

Sensor dapat digunakan pada banyak bidang teknik. Pada teknik mesin, sensor dapat memantau suhu, getaran, tekanan, putaran, aliran, dan kondisi pelumasan. Pada teknik elektro, sensor dapat memantau arus, tegangan, daya, energi, suhu panel, kelembapan, dan status proteksi. Pada teknik sipil, sensor dapat memantau lendutan, regangan, getaran struktur, tinggi muka air, curah hujan, kelembapan tanah, atau pergerakan lereng. Pada teknik lingkungan, sensor dapat memantau pH, suhu air, kekeruhan, oksigen terlarut, kualitas udara, kebisingan, debit, dan konsentrasi gas tertentu.

IoT memperluas fungsi sensor. Sensor konvensional dapat memberi data langsung pada alat pembaca. Sensor berbasis IoT dapat mengirim data ke sistem lain melalui jaringan. Data dapat ditampilkan pada *dashboard*, disimpan dalam basis data, dianalisis secara otomatis, atau dikirim sebagai peringatan. Dengan IoT, pemantauan tidak selalu harus dilakukan dengan membaca alat secara manual di lokasi. Namun, pemantauan jarak jauh tetap harus divalidasi karena data digital dapat dipengaruhi oleh kerusakan sensor, gangguan jaringan, kesalahan konfigurasi, atau kualitas kalibrasi.

ISO/IEC 30141:2024 menjelaskan arsitektur referensi IoT yang menggunakan kosakata umum, desain yang dapat digunakan kembali, dan praktik terbaik untuk membangun sistem IoT (International Organization for Standardization, 2024). Dalam konteks pembelajaran vokasi, standar ini menunjukkan bahwa IoT bukan sekadar memasang sensor dan menghubungkannya ke internet. IoT merupakan sistem yang terdiri atas perangkat, jaringan, data, aplikasi, pengguna, keamanan, dan tata kelola.

Dalam pemantauan kondisi, data sensor harus dipahami sebagai data teknis yang memerlukan konteks. Angka suhu, getaran, arus, pH, atau kelembapan tidak dapat langsung ditafsirkan tanpa mengetahui lokasi sensor, waktu pengukuran, satuan, rentang ukur, akurasi alat, kondisi operasi, dan batas acuan. Misalnya, suhu 70 derajat Celsius dapat normal untuk sebagian mesin, tetapi berisiko untuk komponen lain. Arus 20 ampere dapat aman atau berlebihan bergantung pada kapasitas kabel dan proteksi.

Sensor memiliki karakteristik teknis yang perlu diperhatikan. Karakteristik pertama adalah jenis parameter yang diukur. Sensor suhu tidak dapat menggantikan sensor tekanan. Sensor getaran tidak dapat menjelaskan kondisi listrik. Mahasiswa harus memilih sensor sesuai masalah yang dianalisis. Pemilihan parameter yang salah akan menghasilkan data yang tidak relevan.

Karakteristik kedua adalah rentang ukur. Sensor harus mampu membaca nilai yang mungkin terjadi pada objek. Jika rentang terlalu sempit, sensor dapat mencapai batas pembacaan dan data menjadi tidak valid. Jika rentang terlalu luas, sensitivitas terhadap perubahan kecil dapat berkurang. Misalnya, sensor suhu untuk mesin harus sesuai dengan rentang suhu operasi mesin, bukan hanya suhu ruang.

Karakteristik ketiga adalah akurasi dan resolusi. Akurasi menunjukkan kedekatan pembacaan dengan nilai sebenarnya, sedangkan resolusi menunjukkan perubahan terkecil yang dapat dibaca. Sensor dengan tampilan digital belum tentu akurat. Oleh karena itu, status kalibrasi, spesifikasi alat, dan kondisi penggunaan perlu diperiksa. Dalam *problem solving*, data sensor yang tidak akurat dapat mengarahkan analisis ke penyebab yang salah.

Karakteristik keempat adalah frekuensi *sampling*. Frekuensi *sampling* menunjukkan seberapa sering data direkam. Untuk kondisi yang berubah lambat, seperti kelembapan ruang, interval beberapa menit atau jam mungkin cukup. Untuk getaran mesin, perubahan dapat terjadi sangat cepat sehingga membutuhkan frekuensi pengambilan data yang lebih tinggi. Jika frekuensi *sampling* tidak sesuai, pola penting dapat tidak terbaca.

Karakteristik kelima adalah lokasi pemasangan sensor. Lokasi sensor sangat menentukan makna data. Sensor suhu yang dipasang jauh dari sumber panas dapat menunjukkan suhu yang lebih rendah daripada kondisi komponen. Sensor getaran yang dipasang pada titik yang tidak tepat dapat gagal menangkap gejala kerusakan. Sensor kualitas air yang dipasang pada area aliran tidak representatif dapat menghasilkan data yang menyesatkan. Oleh karena itu, lokasi sensor harus ditentukan berdasarkan tujuan pemantauan.

Karakteristik keenam adalah ketahanan lingkungan. Sensor lapangan dapat terpapar panas, debu, air, kelembapan, getaran, benturan, sinar matahari, bahan kimia, atau gangguan elektromagnetik. Sensor harus sesuai dengan kondisi lingkungan penggunaannya. Sensor yang tidak tahan terhadap lingkungan dapat cepat rusak atau menghasilkan data tidak stabil.

Karakteristik ketujuh adalah kebutuhan daya dan komunikasi. Perangkat IoT memerlukan sumber daya dan jaringan komunikasi. Sumber daya dapat berasal dari listrik utama, baterai, panel surya, atau kombinasi. Komunikasi dapat menggunakan kabel, Wi-Fi, jaringan seluler, LoRa, Bluetooth, atau protokol lain sesuai kebutuhan. Jika daya atau jaringan tidak stabil, data dapat hilang. Oleh karena itu, rencana pemantauan perlu mempertimbangkan kontinuitas daya dan koneksi. Tabel 37 menyajikan contoh pemanfaatan sensor dan IoT untuk pemantauan kondisi dalam berbagai bidang teknik.

Tabel 37. Pemanfaatan Sensor dan IoT untuk Pemantauan Kondisi dalam *Problem Solving* Teknik

Bidang atau Objek Pemantauan	Parameter yang Dipantau	Contoh Sensor atau Perangkat	Fungsi dalam <i>Problem Solving</i>	Risiko Data yang Perlu Dikendalikan
Mesin praktik atau mesin produksi	Suhu, getaran, putaran, tekanan, waktu operasi	Sensor suhu, accelerometer, tachometer, pressure sensor, data logger	Mendeteksi panas berlebih, getaran abnormal, pola operasi, dan tanda awal kerusakan	Sensor salah posisi, frekuensi <i>sampling</i> rendah, atau data tidak dibandingkan dengan batas operasi
Panel listrik	Arus, tegangan, daya, energi, suhu panel, kelembapan	Current sensor, voltage sensor, power meter digital, thermal sensor, humidity sensor	Membaca beban puncak, ketidakseimbangan beban, panas berlebih, dan kondisi ruang panel	Risiko keselamatan saat pemasangan, pembacaan tidak sesuai kapasitas, atau gangguan jaringan
Saluran drainase atau sungai kecil	Tinggi muka air, curah hujan, debit, kecepatan aliran	Water level sensor, rain gauge, flow sensor, kamera pemantau	Mengamati pola genangan, waktu puncak aliran, dan hubungan hujan dengan limpasan	Sensor tertutup sampah, data hilang saat hujan ekstrem, atau titik pemasangan tidak representatif
Struktur sederhana	Regangan, lendutan, getaran, retak, kemiringan	Strain gauge, displacement sensor, accelerometer, inclinometer	Memantau perubahan perilaku struktur dan indikasi penurunan kinerja	Interpretasi salah tanpa model struktur, sensor tidak terlindung, atau data tidak cukup lama
Laboratorium pengujian	Suhu ruang, kelembapan,	Temperature-humidity logger,	Mengendalikan kondisi lingkungan	Data lingkungan tidak terhubung

Bidang atau Objek Pemantauan	Parameter yang Dipantau	Contoh Sensor atau Perangkat	Fungsi dalam Problem Solving	Risiko Data yang Perlu Dikendalikan
	status alat, waktu pengujian	sensor status alat, barcode atau QR log	dan menelusuri riwayat pengujian	dengan hasil uji atau alat belum dikalibrasi
Sistem lingkungan	pH, suhu air, kekeruhan, oksigen terlarut, kualitas udara, kebisingan	pH sensor, turbidity sensor, dissolved oxygen sensor, air quality sensor, sound level sensor	Mendeteksi penyimpangan kualitas lingkungan dan menentukan waktu <i>sampling</i> lanjutan	Sensor drift, fouling, kalibrasi tidak rutin, atau data tidak diverifikasi laboratorium
Ruang kerja atau bengkel	Suhu, kelembapan, kebisingan, pencahayaan, kualitas udara	Environmental sensor, lux meter digital, sound sensor, air quality monitor	Menilai kenyamanan kerja, risiko keselamatan, dan kondisi lingkungan kerja	Sensor tidak sesuai standar pengukuran, titik ukur terbatas, atau interpretasi tanpa acuan K3
Persediaan material atau gudang	Suhu, kelembapan, posisi, jumlah, status penyimpanan	RFID, barcode, sensor suhu-kelembapan, sistem inventori digital	Memantau kondisi penyimpanan dan ketersediaan material	Data input tidak diperbarui, perangkat tidak terbaca, atau akses data tidak terkendali

Tabel 37 menunjukkan bahwa sensor dan IoT dapat digunakan pada berbagai masalah teknik. Namun, setiap penerapan memiliki risiko data. Mahasiswa tidak boleh hanya membaca angka dari *dashboard*. Mahasiswa perlu menilai apakah sensor sesuai, pemasangan benar, data lengkap, satuan jelas, dan hasil dapat dibandingkan dengan acuan teknis.

Penggunaan sensor dan IoT dalam *problem solving* dapat dimulai dari kebutuhan sederhana. Pertama, tentukan masalah yang ingin dipantau. Kedua, tentukan parameter yang relevan. Ketiga, pilih sensor yang sesuai. Keempat, tentukan lokasi dan waktu pengambilan data. Kelima, tentukan cara penyimpanan dan penyajian data. Keenam, tetapkan batas normal atau batas peringatan. Ketujuh, lakukan verifikasi data dengan pemeriksaan lapangan. Urutan ini membantu pemantauan menjadi terarah.

Contoh pertama adalah pemantauan suhu mesin praktik. Gejala awal adalah mesin cepat panas setelah digunakan beberapa waktu. Mahasiswa dapat memasang atau menggunakan sensor suhu pada titik yang aman dan relevan, misalnya dekat rumah bearing atau permukaan motor sesuai petunjuk keselamatan. Data suhu dicatat setiap beberapa menit selama operasi. Data tersebut dibandingkan dengan batas operasi dan kondisi beban. Jika suhu naik tajam setelah

beban tertentu, mahasiswa dapat menelusuri kemungkinan penyebab, seperti ventilasi, pelumasan, bearing, atau beban kerja.

Contoh kedua adalah pemantauan getaran mesin. Getaran yang meningkat dapat menjadi tanda awal ketidakseimbangan, misalignment, kelonggaran komponen, bearing aus, atau fondasi tidak stabil. Sensor getaran dapat membantu merekam perubahan dari waktu ke waktu. Namun, data getaran memerlukan interpretasi yang hati-hati. Titik pemasangan, arah pengukuran, putaran mesin, dan kondisi beban harus dicatat. Tanpa konteks tersebut, data getaran sulit digunakan untuk menetapkan akar masalah.

Contoh ketiga adalah pemantauan panel listrik. Sensor arus dan tegangan dapat membantu membaca beban puncak, ketidakseimbangan fasa, dan pola penggunaan energi. Sensor suhu panel dapat membantu mengenali titik panas. Data tersebut dapat digunakan untuk menganalisis kasus panel sering trip atau komponen panas. Namun, pemasangan sensor listrik memiliki risiko tinggi dan harus dilakukan oleh teknisi kompeten. Mahasiswa dapat berperan dalam perencanaan data, pencatatan, analisis, dan interpretasi, bukan melakukan pekerjaan berbahaya tanpa kewenangan.

Contoh keempat adalah pemantauan drainase. Sensor tinggi muka air atau kamera pemantau dapat digunakan untuk melihat perubahan muka air saat hujan. Data curah hujan dapat dibandingkan dengan waktu munculnya genangan. Jika muka air naik cepat pada titik tertentu, mahasiswa dapat memeriksa kapasitas saluran, sedimentasi, inlet, outlet, dan arah aliran. Pada kasus sederhana, pemantauan tidak harus menggunakan sensor mahal. Foto berkala dan pengukuran manual dapat menjadi langkah awal sebelum sistem IoT diterapkan.

Contoh kelima adalah pemantauan kualitas lingkungan. Sensor pH, kekeruhan, suhu, atau kualitas udara dapat memberikan data awal secara berkala. Data ini membantu menentukan kapan kondisi menyimpang dan kapan perlu dilakukan *sampling* laboratorium. Namun, sensor lingkungan sering mengalami drift, fouling, atau penurunan akurasi akibat kondisi lapangan. Oleh karena itu, data sensor perlu dikalibrasi dan diverifikasi dengan metode uji yang sesuai.

Dalam IoT, data biasanya mengalir melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah sensing, yaitu sensor menangkap kondisi. Tahap kedua adalah edge processing atau pemrosesan awal, yaitu perangkat lokal membaca dan mungkin menyaring data. Tahap ketiga adalah komunikasi, yaitu data dikirim melalui jaringan. Tahap keempat adalah penyimpanan, yaitu data disimpan pada perangkat lokal, server, atau cloud. Tahap kelima adalah visualisasi, yaitu data ditampilkan dalam *dashboard*, grafik, atau alarm. Tahap keenam adalah tindakan, yaitu pengguna mengambil keputusan berdasarkan data.

Setiap tahap memiliki risiko. Pada tahap sensing, sensor dapat salah membaca. Pada tahap pemrosesan, data dapat difilter secara keliru. Pada tahap komunikasi, data dapat hilang. Pada tahap penyimpanan, data dapat tertimpa atau tidak aman. Pada tahap visualisasi, grafik dapat menyesatkan. Pada tahap tindakan, pengguna dapat mengambil keputusan terlalu cepat tanpa verifikasi. Karena itu, sistem IoT perlu dikelola sebagai sistem data yang lengkap, bukan sekadar perangkat sensor.

Keamanan dan privasi menjadi perhatian penting dalam IoT. ISO/IEC 27400:2022 memberikan pedoman tentang risiko, prinsip, dan kontrol untuk keamanan serta privasi solusi IoT (International Organization for Standardization, 2022). NIST Cybersecurity for IoT Program juga bertujuan membangun kepercayaan pada IoT melalui standar, panduan, dan alat terkait keamanan siber (National Institute of Standards and Technology, n.d.). Dalam pembelajaran vokasi, prinsip ini berarti data sensor, akses *dashboard*, perangkat, dan jaringan harus digunakan secara aman.

NISTIR 8259A menjelaskan baseline kemampuan keamanan siber perangkat IoT, seperti identifikasi perangkat, konfigurasi perangkat, perlindungan data, akses logis ke antarmuka, pembaruan perangkat lunak, dan kesadaran status keamanan siber (National Institute of Standards and Technology, 2020). Prinsip ini relevan karena perangkat IoT di laboratorium atau bengkel dapat menjadi titik lemah jika tidak dikonfigurasi dengan benar. Kata sandi bawaan, akses terbuka, dan perangkat tanpa pembaruan dapat menimbulkan risiko.

Mahasiswa perlu memahami bahwa IoT dapat menimbulkan risiko keamanan data. Data lokasi, kondisi fasilitas, penggunaan energi, status mesin, dan pola operasi dapat menjadi informasi sensitif. Data tersebut tidak boleh dibagikan sembarangan. *Dashboard* harus memiliki kontrol akses. Perangkat harus dikonfigurasi dengan aman. Data penting harus dicadangkan. Jika sistem digunakan pada fasilitas industri, mahasiswa harus mengikuti aturan organisasi.

Selain keamanan, reliabilitas sistem IoT juga penting. Sistem pemantauan harus dapat bekerja saat dibutuhkan. Jika jaringan sering putus, baterai habis, sensor tertutup kotoran, atau penyimpanan penuh, data menjadi tidak lengkap. Data yang hilang dapat menyebabkan pola masalah tidak terlihat. Oleh karena itu, pemeliharaan perangkat IoT perlu direncanakan. Pemeriksaan baterai, koneksi, sensor, kalibrasi, dan penyimpanan data harus masuk dalam jadwal kerja.

Validasi data sensor dapat dilakukan melalui beberapa cara. Pertama, bandingkan data sensor dengan alat ukur manual pada waktu tertentu. Kedua, periksa apakah nilai sensor masuk akal berdasarkan kondisi lapangan. Ketiga, lakukan kalibrasi atau pembandingan berkala. Keempat, periksa anomali yang tidak sesuai dengan kondisi nyata. Kelima, gunakan lebih dari satu sumber data jika masalah kritis. Validasi ini membantu memastikan bahwa data digital dapat digunakan sebagai bukti teknis.

Dalam laporan *problem solving*, data sensor dan IoT perlu disajikan dengan jelas. Laporan harus mencantumkan jenis sensor, lokasi pemasangan, satuan, rentang ukur, interval pencatatan, periode data, kondisi operasi, dan batas acuan. Grafik data perlu diberi judul, sumbu, satuan, dan interpretasi. Jika terdapat data hilang, gangguan jaringan, atau nilai anomali, hal tersebut harus dijelaskan. Laporan yang hanya menampilkan grafik tanpa metode pemantauan sulit dinilai.

Penggunaan sensor dan IoT juga dapat mendukung perawatan prediktif. Perawatan prediktif berusaha memperkirakan kebutuhan perawatan berdasarkan kondisi aktual, bukan hanya jadwal tetap. Misalnya, getaran mesin yang meningkat dapat menjadi tanda

perlunya pemeriksaan bearing. Suhu panel yang naik dapat menjadi tanda sambungan perlu diperiksa. Data energi yang tidak normal dapat menunjukkan beban tidak efisien. Namun, perawatan prediktif membutuhkan data yang cukup, sensor yang sesuai, dan interpretasi teknis yang benar.

IoT juga dapat mendukung tindakan cepat melalui peringatan. Sistem dapat memberi notifikasi jika suhu melebihi batas, muka air naik, kelembapan ruang tinggi, atau arus melebihi ambang. Peringatan ini berguna untuk mencegah masalah menjadi lebih besar. Namun, batas peringatan harus ditentukan secara hati-hati. Jika batas terlalu sensitif, sistem akan terlalu sering memberi alarm dan pengguna dapat mengabaikannya. Jika batas terlalu longgar, peringatan datang terlambat.

Dalam pendidikan vokasi, penggunaan sensor dan IoT dapat dimulai dari proyek kecil. Mahasiswa dapat membuat pemantauan suhu ruang laboratorium, pencatatan kelembapan gudang material, pemantauan tinggi air pada model saluran, atau pencatatan waktu operasi alat praktik. Proyek kecil seperti ini membantu mahasiswa memahami alur data dari sensor ke analisis. Fokus pembelajaran bukan hanya membuat perangkat menyala, tetapi memastikan data dapat dipercaya dan berguna untuk *problem solving*.

Dosen dapat meminta mahasiswa membuat rencana pemantauan kondisi. Rencana tersebut memuat masalah, parameter, sensor, lokasi pemasangan, interval data, batas normal, cara validasi, risiko keselamatan, risiko data, dan bentuk laporan. Dengan rencana ini, mahasiswa memahami bahwa sensor dan IoT harus dirancang berdasarkan kebutuhan teknis. Perangkat yang dipasang tanpa tujuan yang jelas hanya menghasilkan data yang tidak terpakai.

Jika Bapak/Ibu ingin menambahkan gambar riil pada subbab ini, gambar yang paling tepat adalah foto perangkat sensor yang dipasang pada objek nyata atau tangkapan layar *dashboard* pemantauan kondisi. Contohnya adalah foto sensor suhu dan kelembapan pada ruang laboratorium, foto water level sensor pada model saluran drainase, tangkapan layar grafik suhu mesin selama operasi, atau *dashboard* sederhana yang menampilkan arus, tegangan, dan suhu

panel. Gambar perlu diberi keterangan lokasi, waktu, parameter, dan tujuan pemantauan. Jika gambar berasal dari industri atau proyek nyata, identitas fasilitas dan informasi sensitif sebaiknya disamarkan.

Sensor dan IoT juga memiliki keterbatasan. Pertama, tidak semua parameter mudah diukur secara murah dan akurat. Kedua, sensor dapat mengalami drift atau penurunan akurasi. Ketiga, jaringan dapat terganggu. Keempat, data dapat terlalu banyak tetapi tidak dianalisis. Kelima, *dashboard* dapat membuat pengguna terlalu percaya pada angka digital. Keenam, perangkat IoT dapat menimbulkan risiko keamanan. Ketujuh, biaya pemasangan dan pemeliharaan perlu diperhitungkan.

Untuk mengendalikan keterbatasan tersebut, mahasiswa perlu menerapkan prinsip sederhana. Gunakan sensor hanya untuk parameter yang relevan. Periksa status alat. Tentukan lokasi pemasangan yang benar. Catat satuan dan interval waktu. Bandingkan data dengan acuan. Validasi data dengan observasi lapangan. Lindungi akses data. Tulis keterbatasan pemantauan. Prinsip ini membuat penggunaan sensor dan IoT lebih bertanggung jawab.

Pada akhirnya, sensor dan IoT membantu *problem solving* teknik karena menyediakan data kondisi yang lebih cepat, berkala, dan terukur. Teknologi ini dapat membantu mengenali gejala lebih awal, membaca pola, memantau risiko, dan mengevaluasi hasil tindakan. Namun, sensor dan IoT tidak menggantikan penalaran teknik, inspeksi lapangan, kalibrasi, keselamatan, dan etika data. Mahasiswa vokasi keteknikan perlu menggunakan teknologi ini secara kritis agar data digital benar-benar menjadi bukti teknis yang bermanfaat.

Sensor digunakan untuk menangkap kondisi fisik, kimia, listrik, mekanik, atau lingkungan, sedangkan IoT menghubungkan sensor, perangkat, jaringan, penyimpanan data, aplikasi, dan pengguna. Dalam *problem solving* teknik, sensor dan IoT membantu pemantauan kondisi, deteksi anomali, analisis pola, peringatan dini, dan evaluasi solusi. Penggunaan sensor perlu memperhatikan parameter, rentang ukur, akurasi, resolusi, frekuensi *sampling*, lokasi pemasangan, ketahanan lingkungan, daya, komunikasi, keamanan, dan validasi data. Data sensor harus dibandingkan dengan acuan teknis dan

diverifikasi dengan kondisi lapangan sebelum digunakan sebagai dasar keputusan.

D. Sistem Informasi Geografis untuk Data Berbasis Lokasi



Gambar 21. Contoh Visualisasi Sistem Informasi Geografis (GIS) untuk Pemetaan Titik Kerusakan, Genangan, Inspeksi, dan Sebaran Data Sensor

Sistem Informasi Geografis atau *Geographic Information System* merupakan teknologi digital yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengelola, menganalisis, dan menyajikan data yang memiliki unsur lokasi. Dalam pekerjaan teknik, banyak masalah memiliki hubungan dengan tempat. Genangan terjadi pada titik tertentu. Kerusakan jalan tersebar pada segmen tertentu. Kebisingan tinggi muncul pada zona tertentu. Titik *sampling* kualitas air berada pada koordinat tertentu. Lokasi panel, jaringan pipa, saluran, jalan, lereng, bangunan, dan fasilitas kerja memiliki pengaruh langsung terhadap analisis masalah.

SIG membantu mahasiswa melihat masalah teknik secara spasial. Data yang semula hanya berbentuk tabel dapat dipetakan sehingga pola lokasi lebih mudah dipahami. Misalnya, tabel kerusakan jalan dapat menunjukkan jumlah lubang dan retak. Namun, peta dapat

menunjukkan apakah kerusakan terkonsentrasi pada area dekat saluran buruk, tikungan, persimpangan, area beban kendaraan berat, atau segmen dengan elevasi rendah. Dengan demikian, SIG membantu mengubah data lokasi menjadi informasi teknis yang lebih bermakna.

Dalam *problem solving* teknik terapan, SIG dapat digunakan sejak tahap identifikasi gejala. Mahasiswa dapat mencatat lokasi masalah menggunakan koordinat, nama titik, kode segmen, atau peta dasar. Pada tahap pengumpulan data, SIG membantu menentukan titik *sampling*, titik inspeksi, rute observasi, dan batas area kerja. Pada tahap analisis, SIG membantu membaca pola sebaran, kedekatan antar objek, hubungan antara masalah dan kondisi lingkungan, serta prioritas area penanganan. Pada tahap pelaporan, SIG membantu menyajikan temuan secara visual dan komunikatif.

SIG tidak sama dengan peta biasa. Peta biasa menyajikan informasi lokasi secara visual. SIG menyimpan data spasial dan atribut yang dapat dianalisis. Data spasial menunjukkan letak, bentuk, dan hubungan ruang. Data atribut menjelaskan karakter objek. Misalnya, titik kerusakan jalan memiliki koordinat sebagai data spasial dan memiliki atribut berupa jenis kerusakan, tingkat keparahan, tanggal inspeksi, foto, dan rekomendasi tindakan. Hubungan antara data spasial dan atribut inilah yang membuat SIG bermanfaat untuk *problem solving*.

Data spasial dalam SIG umumnya berbentuk titik, garis, dan poligon. Titik digunakan untuk menunjukkan lokasi objek yang dapat direpresentasikan sebagai satu posisi, seperti titik genangan, titik *sampling*, titik lampu jalan, titik lubang jalan, atau titik sensor. Garis digunakan untuk menunjukkan objek memanjang, seperti jalan, saluran drainase, jaringan pipa, kabel, sungai kecil, atau rute inspeksi. Poligon digunakan untuk menunjukkan area, seperti zona banjir, area kerja, bidang tanah, area terdampak, kawasan rawan longsor, atau batas proyek.

Selain data spasial, SIG juga memerlukan data atribut. Atribut menjelaskan kondisi objek yang dipetakan. Pada titik genangan, atribut dapat berupa kedalaman genangan, waktu kejadian, durasi

surut, kondisi inlet, dokumentasi foto, dan dugaan penyebab. Pada jalan, atribut dapat berupa jenis perkerasan, lebar jalan, jenis kerusakan, tingkat keparahan, volume lalu lintas, dan prioritas penanganan. Pada jaringan pipa, atribut dapat berupa diameter, material, tahun pemasangan, tekanan kerja, dan riwayat kebocoran.

SIG juga membutuhkan sistem koordinat. Sistem koordinat membantu memastikan lokasi data berada pada posisi yang benar. Kesalahan sistem koordinat dapat membuat data bergeser dari posisi sebenarnya. Dalam pekerjaan teknik, kesalahan posisi dapat menyebabkan analisis salah. Misalnya, titik genangan dapat terlihat berada di luar saluran jika sistem koordinat tidak sesuai. Oleh karena itu, mahasiswa perlu memahami bahwa data lokasi harus memiliki referensi koordinat yang jelas, meskipun untuk tingkat dasar cukup memahami prinsip lokasi, koordinat, dan skala peta.

Metadata sangat penting dalam data berbasis lokasi. Metadata adalah informasi tentang data, seperti sumber, tanggal pembuatan, pembuat data, sistem koordinat, metode pengumpulan, tingkat ketelitian, cakupan wilayah, dan batas penggunaan. ISO 19115-1:2014 menjelaskan skema untuk mendeskripsikan informasi geografis dan layanan melalui metadata, mencakup identifikasi, cakupan, kualitas, aspek spasial dan temporal, sistem referensi, distribusi, dan properti lain dari data geografis (International Organization for Standardization, 2014). Dalam pembelajaran vokasi, prinsip ini dapat diterapkan secara sederhana melalui pencatatan sumber peta, tanggal survei, alat yang digunakan, dan ketelitian data.

SIG dapat digunakan dengan perangkat lunak berbayar maupun sumber terbuka. QGIS merupakan salah satu perangkat lunak SIG sumber terbuka yang banyak digunakan untuk membuat, mengedit, menganalisis, dan menyajikan data geospasial. Dokumentasi QGIS menyatakan bahwa QGIS adalah perangkat lunak SIG bebas dan sumber terbuka yang didorong oleh komunitas (QGIS Project, 2026). Dalam pendidikan vokasi, perangkat lunak seperti QGIS dapat menjadi pilihan karena dapat digunakan untuk latihan pemetaan, analisis data lokasi, dan penyusunan peta tematik.

Dalam pertukaran data geospasial, format data juga perlu diperhatikan. Open Geospatial Consortium mengembangkan berbagai standar geospasial untuk mendukung interoperabilitas data lokasi. GeoPackage, misalnya, merupakan format terbuka berbasis SQLite untuk menyimpan dan bertukar data vektor, raster, tile peta, dan metadata antar platform SIG (Open Geospatial Consortium, 2026). Prinsip interoperabilitas penting karena data lapangan sering berasal dari berbagai sumber dan perlu digunakan pada perangkat lunak yang berbeda. Tabel 38 menyajikan pemanfaatan SIG dalam *problem solving* teknik terapan.

Tabel 38. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dalam *Problem Solving* Teknik Terapan

Objek atau Kasus Teknik	Data Spasial yang Digunakan	Data Atribut yang Dicatat	Fungsi SIG dalam Analisis	Keluaran yang Dapat Diharapkan
Genangan drainase kawasan	Titik genangan, garis saluran, inlet, outlet, kontur sederhana	Kedalaman genangan, durasi, kondisi inlet, sedimentasi, waktu hujan	Membaca pola genangan dan hubungan dengan jaringan saluran	Peta titik genangan, peta prioritas pembersihan, rute inspeksi
Kerusakan jalan	Titik lubang, segmen jalan, batas area inspeksi	Jenis kerusakan, tingkat keparahan, ukuran, foto, tanggal inspeksi	Menentukan konsentrasi kerusakan dan prioritas penanganan segmen	Peta kerusakan jalan, tabel prioritas, laporan inspeksi visual
Jaringan pipa atau utilitas	Garis pipa, titik valve, titik kebocoran, bangunan sekitar	Diameter, material, tekanan, usia pipa, riwayat kebocoran	Menelusuri hubungan lokasi kebocoran dengan jaringan dan akses perbaikan	Peta jaringan, titik rawan, rencana rute perbaikan
Pemantauan kualitas air	Titik <i>sampling</i> , sungai, saluran, area sumber pencemar	pH, suhu, kekeruhan, waktu <i>sampling</i> , cuaca, hasil uji	Melihat sebaran kualitas air dan kedekatan dengan sumber pencemar	Peta titik <i>sampling</i> , peta sebaran parameter, rekomendasi <i>sampling</i> lanjutan
Kebisingan bengkel atau area kerja	Titik ukur kebisingan dan batas ruang kerja	Nilai dB, waktu pengukuran, sumber kebisingan,	Mengidentifikasi zona bising dan area yang memerlukan pengendalian	Peta zona kebisingan, rekomendasi APD, pengaturan layout

Objek atau Kasus Teknik	Data Spasial yang Digunakan	Data Atribut yang Dicatat	Fungsi SIG dalam Analisis	Keluaran yang Dapat Dihilaskan
		kondisi operasi		
Risiko lereng atau area rawan	Poligon area rawan, titik retak tanah, garis drainase, kontur	Kemiringan, kondisi tanah, vegetasi, rembesan, riwayat kejadian	Membaca hubungan lokasi gejala dengan faktor medan	Peta area rawan, titik <i>monitoring</i> , prioritas inspeksi
Fasilitas kampus atau industri	Titik alat, ruang, jalur evakuasi, panel, hidran, titik bahaya	Kondisi alat, status inspeksi, tanggal perawatan, foto, penanggung jawab	Mendukung inventarisasi, inspeksi, dan pemeliharaan fasilitas	Peta aset, peta inspeksi, <i>dashboard</i> pemeliharaan sederhana

Tabel 38 menunjukkan bahwa SIG dapat digunakan pada berbagai objek teknik. Fungsi utamanya bukan hanya membuat peta, tetapi menghubungkan lokasi dengan data teknis. Dengan SIG, mahasiswa dapat membaca pola spasial, menentukan titik prioritas, merencanakan inspeksi, dan menyajikan hasil *problem solving* secara lebih jelas.

Penggunaan SIG dalam *problem solving* dapat dimulai dari langkah sederhana. Langkah pertama adalah menentukan tujuan pemetaan. Tujuan harus jelas, misalnya memetakan titik genangan, memetakan kerusakan jalan, memetakan titik *sampling* air, atau memetakan zona kebisingan. Tujuan menentukan jenis data yang perlu dikumpulkan. Jika tujuan tidak jelas, peta dapat menjadi menarik secara visual tetapi lemah secara analitis.

Langkah kedua adalah menentukan objek yang akan dipetakan. Objek dapat berupa titik, garis, atau area. Misalnya, lubang jalan dipetakan sebagai titik. Saluran drainase dipetakan sebagai garis. Area rawan genangan dipetakan sebagai poligon. Pemilihan bentuk objek harus sesuai dengan karakter masalah. Kesalahan memilih bentuk objek dapat membuat analisis tidak tepat.

Langkah ketiga adalah menentukan atribut yang perlu dicatat. Atribut harus relevan dengan masalah. Pada titik genangan, atribut yang penting adalah kedalaman, durasi, kondisi saluran, waktu kejadian, dan foto. Pada kerusakan jalan, atribut yang penting adalah jenis kerusakan, ukuran, tingkat keparahan, dan rekomendasi penanganan. Atribut yang tidak relevan dapat menambah beban pencatatan tanpa membantu analisis.

Langkah keempat adalah mengumpulkan data lokasi. Data lokasi dapat diperoleh melalui GPS ponsel, GPS handheld, pengukuran manual, peta dasar, citra udara, atau digitasi dari gambar. Untuk pembelajaran dasar, GPS ponsel dapat digunakan sebagai latihan awal. Namun, mahasiswa harus memahami bahwa ketelitian GPS ponsel terbatas. Jika pekerjaan memerlukan ketelitian tinggi, data harus dikumpulkan dengan metode survei yang lebih sesuai.

Langkah kelima adalah memasukkan data ke perangkat lunak SIG. Data dapat dimasukkan sebagai tabel berkoordinat, digitasi titik pada peta, impor file geospasial, atau hasil survei lapangan. Data atribut perlu dibuat konsisten. Misalnya, kategori tingkat kerusakan sebaiknya menggunakan pilihan yang sama, seperti ringan, sedang, dan berat. Jika penulisan kategori tidak konsisten, analisis menjadi sulit.

Langkah keenam adalah menyajikan data dalam bentuk peta tematik. Peta tematik menunjukkan tema tertentu, seperti tingkat kerusakan, kedalaman genangan, nilai kebisingan, atau status inspeksi. Simbol, warna, ukuran titik, dan label harus dipilih dengan hati-hati agar peta mudah dibaca. Peta harus memiliki judul, legenda, skala, arah utara, sumber data, dan keterangan waktu.

Langkah ketujuh adalah melakukan analisis spasial sederhana. Analisis dapat berupa pengelompokan titik, penghitungan jumlah titik per zona, pengukuran jarak, identifikasi kedekatan dengan saluran atau jalan, pemetaan area prioritas, atau perbandingan kondisi antar lokasi. Analisis spasial membantu menjawab pertanyaan teknis, seperti lokasi mana yang paling sering bermasalah, segmen mana yang paling parah, dan faktor lokasi apa yang mungkin berhubungan dengan gejala.

Langkah kedelapan adalah menyusun interpretasi teknis. Interpretasi peta tidak boleh hanya menyatakan bahwa “banyak titik berada di area tertentu.” Mahasiswa perlu menjelaskan maknanya. Misalnya, “titik genangan terkonsentrasi pada sisi utara area parkir yang memiliki inlet tertutup sedimentasi dan elevasi lebih rendah daripada sisi lainnya.” Interpretasi seperti ini menghubungkan peta dengan bukti teknis.

SIG dapat membantu analisis pola lokasi. Pola lokasi dapat menunjukkan apakah masalah tersebar merata atau terkonsentrasi. Jika kerusakan jalan terkonsentrasi pada segmen tertentu, mahasiswa dapat memeriksa drainase, beban lalu lintas, struktur perkerasan, atau kondisi tanah pada segmen tersebut. Jika kebisingan tinggi terkonsentrasi dekat mesin tertentu, mahasiswa dapat memeriksa sumber bunyi, layout, peredam, dan jarak kerja.

SIG juga membantu analisis kedekatan. Analisis kedekatan melihat hubungan antar objek berdasarkan jarak. Misalnya, titik genangan dapat dianalisis kedekatannya dengan inlet, outlet, atau titik rendah. Titik kebocoran pipa dapat dianalisis kedekatannya dengan sambungan, valve, atau area beban lalu lintas. Titik kualitas air buruk dapat dianalisis kedekatannya dengan saluran masuk, area industri, atau pemukiman. Analisis kedekatan tidak membuktikan sebab akibat secara langsung, tetapi membantu menyusun dugaan penyebab yang perlu diverifikasi.

SIG dapat digunakan untuk membuat peta prioritas. Peta prioritas menggabungkan beberapa atribut untuk menentukan urutan penanganan. Misalnya, pada kerusakan jalan, prioritas dapat ditentukan berdasarkan tingkat keparahan, volume lalu lintas, kedekatan dengan fasilitas penting, dan risiko keselamatan. Pada drainase, prioritas dapat ditentukan berdasarkan kedalaman genangan, durasi, luas area terdampak, dan kedekatan dengan jalur pejalan kaki. Peta prioritas membantu pengambilan keputusan ketika sumber daya terbatas.

SIG juga dapat membantu perencanaan rute inspeksi. Jika titik masalah tersebar di beberapa lokasi, mahasiswa dapat menyusun urutan inspeksi yang efisien. Rute dapat mempertimbangkan jarak,

akses, waktu, keselamatan, dan prioritas masalah. Dalam kegiatan lapangan, rute yang terencana membantu menghemat waktu dan memastikan titik penting tidak terlewat.

Dalam pemantauan kondisi, SIG dapat dikombinasikan dengan data sensor dan IoT. Data sensor yang memiliki lokasi dapat ditampilkan pada peta. Misalnya, sensor tinggi muka air pada beberapa titik saluran dapat ditampilkan dalam peta pemantauan. Sensor kualitas udara dapat ditampilkan berdasarkan lokasi. Data suhu ruang atau kebisingan dapat dipetakan untuk melihat zona masalah. Kombinasi SIG dan sensor membantu membaca hubungan antara data waktu dan data lokasi.

SIG juga dapat dikombinasikan dengan foto lapangan. Setiap titik pada peta dapat diberi tautan atau atribut foto. Foto membantu memverifikasi kondisi yang ditunjukkan pada peta. Misalnya, titik kerusakan jalan pada peta dapat dilengkapi foto lubang dan ukuran kerusakan. Titik genangan dapat dilengkapi foto kondisi setelah hujan. Dengan cara ini, peta tidak hanya menunjukkan lokasi, tetapi juga bukti visual.

Namun, penggunaan SIG memiliki keterbatasan. Pertama, data lokasi dapat tidak akurat. Kedua, peta dasar dapat tidak terbaru. Ketiga, atribut dapat tidak lengkap. Keempat, sistem koordinat dapat salah. Kelima, pengguna dapat salah menafsirkan simbol atau skala. Keenam, pola lokasi tidak otomatis menunjukkan sebab akibat. Karena itu, SIG harus digunakan bersama pengukuran, inspeksi, wawancara teknis, dan standar pembandingan.

Kesalahan umum dalam penggunaan SIG perlu dihindari. Kesalahan pertama adalah memetakan data tanpa tujuan analisis. Kesalahan kedua adalah menggunakan koordinat yang tidak jelas sumbernya. Kesalahan ketiga adalah membuat peta tanpa legenda, skala, atau sumber data. Kesalahan keempat adalah menggabungkan data dari waktu berbeda tanpa keterangan. Kesalahan kelima adalah menarik kesimpulan sebab akibat hanya berdasarkan kedekatan lokasi. Kesalahan keenam adalah menggunakan peta dasar yang tidak sesuai skala.

Dalam laporan *problem solving*, peta SIG harus disajikan secara ilmiah. Peta perlu memiliki judul, legenda, skala, arah utara, sumber data, tanggal data, dan keterangan sistem koordinat jika diperlukan. Narasi laporan harus menjelaskan apa yang ditampilkan peta, pola apa yang ditemukan, dan bagaimana pola tersebut digunakan dalam analisis. Peta tidak boleh berdiri sendiri tanpa interpretasi.

Jika Bapak/Ibu ingin menambahkan gambar riil pada subbab ini, gambar yang paling tepat adalah tangkapan layar peta SIG hasil pekerjaan mahasiswa. Contohnya adalah peta titik genangan area kampus setelah hujan, peta kerusakan jalan lingkungan, peta titik inspeksi saluran drainase, peta sebaran kebisingan di bengkel, atau peta titik *sampling* kualitas air. Gambar perlu memuat judul peta, legenda, skala, arah utara, dan keterangan sumber data. Jika lokasi bersifat sensitif, nama lokasi dapat disamarkan.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat merancang tugas SIG sederhana. Mahasiswa diminta memilih satu kasus berbasis lokasi, mengumpulkan titik data, mencatat atribut, memasukkan data ke perangkat lunak SIG, membuat peta tematik, dan menyusun interpretasi. Kasus dapat berupa titik genangan, kondisi fasilitas kampus, kerusakan jalan, sebaran tempat sampah, titik kebisingan, atau jalur evakuasi. Tugas ini melatih mahasiswa menghubungkan data lokasi dengan *problem solving* teknik.

Mahasiswa juga dapat menggunakan perangkat sederhana. Untuk tahap awal, data dapat dikumpulkan dengan ponsel, formulir digital, *spreadsheet*, dan perangkat lunak SIG. Data koordinat dapat dimasukkan ke *spreadsheet*, kemudian diimpor ke SIG. Foto dapat diberi nama sesuai kode titik. Atribut dapat dicatat dalam kolom yang seragam. Latihan sederhana ini sudah cukup untuk membangun literasi spasial.

Literasi spasial penting dalam pekerjaan teknik. Mahasiswa perlu memahami bahwa lokasi memengaruhi masalah. Dua titik dengan gejala sama dapat memiliki penyebab berbeda karena kondisi lingkungan berbeda. Satu saluran dapat berfungsi baik di satu segmen tetapi bermasalah di segmen lain. Satu area kerja dapat aman pada

zona tertentu tetapi berisiko di zona lain. SIG membantu mahasiswa melihat perbedaan tersebut secara lebih terstruktur.

Dalam pengambilan keputusan, SIG membantu menyusun prioritas yang lebih transparan. Jika semua titik masalah dipetakan dan diberi atribut, alasan prioritas dapat dilihat dengan jelas. Misalnya, titik A diprioritaskan karena genangan lebih dalam, durasi lebih lama, dan berada pada jalur utama pengguna. Titik B dipantau karena genangan dangkal dan tidak mengganggu akses utama. Keputusan seperti ini lebih kuat daripada keputusan berdasarkan kesan umum.

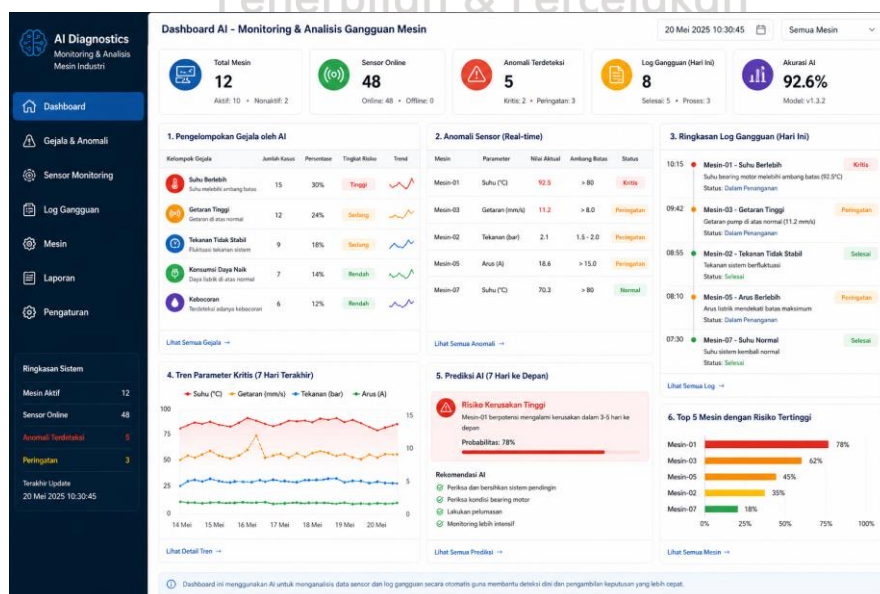
SIG juga mendukung komunikasi dengan pemangku kepentingan. Peta lebih mudah dipahami oleh banyak pihak dibandingkan tabel panjang. Pengguna, teknisi, pengelola fasilitas, dosen, mahasiswa, dan pimpinan dapat melihat lokasi masalah secara cepat. Namun, peta harus disusun secara jujur. Simbol tidak boleh dibuat menyesatkan. Skala dan warna harus digunakan dengan proporsional. Data yang belum lengkap harus diberi keterangan.

Etika penggunaan data lokasi juga perlu diperhatikan. Data lokasi dapat bersifat sensitif, terutama jika berkaitan dengan fasilitas industri, utilitas, jaringan listrik, aset penting, atau area berisiko. Mahasiswa harus meminta izin sebelum memetakan area tertentu. Data tidak boleh disebarkan tanpa persetujuan. Jika peta digunakan dalam laporan akademik, informasi sensitif dapat disamarkan. Etika ini penting karena data lokasi dapat menunjukkan informasi yang tidak seharusnya diketahui publik.

Pada akhirnya, Sistem Informasi Geografis membantu *problem solving* teknik dengan menghubungkan data teknis dan lokasi. SIG memungkinkan mahasiswa membaca pola spasial, menganalisis kedekatan antar objek, menentukan prioritas area, merencanakan rute inspeksi, dan menyajikan bukti secara visual. Namun, SIG bukan pengganti verifikasi lapangan. Peta harus dibaca bersama data ukur, foto, dokumen, standar, dan konteks teknis. Dengan penggunaan yang tepat, SIG menjadi alat penting untuk menyelesaikan masalah teknik yang berbasis lokasi.

Sistem Informasi Geografis digunakan untuk mengelola dan menganalisis data yang memiliki unsur lokasi. Dalam *problem solving* teknik, SIG membantu memetakan gejala, titik inspeksi, jaringan, area terdampak, titik *sampling*, dan prioritas penanganan. Data SIG terdiri atas data spasial dan data atribut. Data spasial dapat berupa titik, garis, atau poligon, sedangkan data atribut menjelaskan kondisi objek. SIG membantu analisis pola lokasi, kedekatan, prioritas area, dan rute inspeksi. Namun, hasil SIG harus divalidasi dengan data lapangan, sistem koordinat yang benar, metadata, foto, pengukuran, dan interpretasi teknis.

E. Kecerdasan Buatan Sebagai Alat Bantu Diagnosis Awal



Gambar 22. Contoh Dashboard Artificial Intelligence (AI) untuk Analisis Gejala, Deteksi Anomali Sensor, dan Monitoring Gangguan Mesin

Kecerdasan buatan atau *artificial intelligence* merupakan teknologi yang memungkinkan sistem digital melakukan tugas yang biasanya memerlukan kecerdasan manusia, seperti mengenali pola, mengklasifikasikan data, membuat prediksi, merangkum informasi, dan memberi rekomendasi awal. Dalam *problem solving* teknik terapan, kecerdasan buatan dapat digunakan sebagai alat bantu diagnosis awal. Diagnosis awal berarti proses membaca gejala,

mengelompokkan data, mengenali pola, dan menyusun dugaan penyebab sebelum analisis teknis yang lebih mendalam dilakukan.

Kecerdasan buatan tidak boleh dipahami sebagai pengganti penalaran teknik. AI dapat membantu mempercepat analisis awal, tetapi keputusan teknis tetap harus ditetapkan oleh manusia yang memahami konteks, standar, keselamatan, data lapangan, dan tanggung jawab profesional. AI dapat menunjukkan kemungkinan penyebab, tetapi akar masalah harus tetap diverifikasi melalui bukti teknis. Dengan demikian, AI berperan sebagai asisten analisis, bukan sebagai pengambil keputusan akhir.

Dalam pekerjaan teknik, diagnosis awal sering dilakukan ketika gejala mulai muncul. Mesin bergetar, panel listrik sering trip, saluran meluap, hasil uji tidak konsisten, kualitas produk menurun, atau konsumsi energi meningkat. Pada tahap ini, AI dapat membantu membaca data awal. Misalnya, AI dapat mengelompokkan log gangguan, menemukan pola waktu kejadian, membaca tren suhu mesin, mengklasifikasikan foto kerusakan, merangkum laporan inspeksi, atau menyusun daftar kemungkinan penyebab berdasarkan data yang tersedia.

ISO/IEC 42001:2023 menjelaskan persyaratan untuk membangun, menerapkan, memelihara, dan meningkatkan sistem manajemen kecerdasan buatan dalam organisasi (International Organization for Standardization, 2023). Prinsip ini penting karena penggunaan AI dalam pekerjaan teknik perlu dikelola secara bertanggung jawab. AI tidak cukup hanya digunakan karena tersedia. Penggunaan AI harus memperhatikan tujuan, risiko, kualitas data, keamanan, transparansi, pengawasan manusia, dan dampaknya terhadap keputusan.

NIST AI Risk Management Framework 1.0 menjelaskan kerangka sukarela untuk membantu organisasi mengelola risiko AI dan mendorong pengembangan serta penggunaan AI yang tepercaya dan bertanggung jawab (National Institute of Standards and Technology, 2023). Dalam konteks *problem solving* teknik, kerangka ini mengingatkan bahwa AI dapat memberikan manfaat, tetapi juga membawa risiko seperti kesalahan prediksi, bias data, kurangnya

transparansi, ketergantungan berlebihan, dan penggunaan yang tidak sesuai konteks.

OECD AI Principles menekankan pengembangan AI yang inovatif dan tepercaya serta menghormati hak asasi manusia dan nilai demokratis (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2024). Prinsip ini relevan dengan pendidikan vokasi karena mahasiswa perlu menggunakan AI secara etis, aman, dan bertanggung jawab. AI tidak boleh digunakan untuk memanipulasi data, menyembunyikan kesalahan, atau membuat laporan teknis tanpa verifikasi.

UNESCO (2023) juga menekankan pentingnya pendekatan yang berpusat pada manusia dalam penggunaan generative AI di pendidikan dan penelitian. Dalam pembelajaran teknik, prinsip ini berarti AI harus memperkuat kemampuan mahasiswa untuk berpikir, menganalisis, memeriksa bukti, dan membuat keputusan, bukan menggantikan proses belajar. Mahasiswa perlu memahami cara menggunakan AI secara kritis, bukan hanya menerima jawaban yang diberikan sistem.

AI dapat digunakan dalam beberapa bentuk pada diagnosis awal. Bentuk pertama adalah klasifikasi data. AI dapat membantu mengelompokkan jenis kerusakan, jenis gangguan, kategori cacat, atau tingkat keparahan. Misalnya, foto kerusakan permukaan jalan dapat dikelompokkan menjadi retak, lubang, amblas, atau aus. Foto retak beton dapat dikelompokkan berdasarkan pola visual. Namun, hasil klasifikasi tetap perlu diperiksa oleh manusia karena AI dapat salah membaca gambar yang kabur, kurang cahaya, atau tidak memiliki skala.

Bentuk kedua adalah deteksi anomali. AI dapat membantu menemukan data yang menyimpang dari pola normal. Misalnya, suhu mesin tiba-tiba meningkat, getaran melewati pola biasa, arus listrik meningkat pada jam tertentu, atau kualitas air berubah drastis. Deteksi anomali berguna sebagai peringatan awal. Namun, anomali belum tentu berarti kerusakan. Anomali dapat terjadi karena perubahan beban, kesalahan sensor, gangguan jaringan, atau kondisi operasi khusus.

Bentuk ketiga adalah prediksi awal. AI dapat digunakan untuk memperkirakan kemungkinan kejadian berdasarkan data historis. Misalnya, sistem dapat memperkirakan kemungkinan mesin mengalami gangguan jika suhu dan getaran meningkat secara bertahap. Sistem dapat memperkirakan risiko keterlambatan pekerjaan jika material, cuaca, dan produktivitas menunjukkan pola tertentu. Prediksi seperti ini membantu perencanaan, tetapi tidak boleh dianggap pasti.

Bentuk keempat adalah peringkasan dokumen dan log. AI dapat membantu merangkum laporan harian, log gangguan, catatan perawatan, hasil inspeksi, atau transkrip wawancara teknis. Fungsi ini berguna ketika data teks sangat banyak. Namun, ringkasan AI harus diperiksa dengan dokumen asli. AI dapat melewatkan informasi penting, salah memahami istilah teknis, atau menyusun ringkasan yang tampak rapi tetapi tidak akurat.

Bentuk kelima adalah pencarian hubungan awal antarvariabel. AI dapat membantu menunjukkan kemungkinan hubungan antara data. Misalnya, gangguan mesin sering muncul setelah jam operasi tertentu, panel trip berkaitan dengan beban puncak, atau kerusakan jalan terkonsentrasi pada segmen dengan drainase buruk. Hubungan ini berguna untuk menyusun dugaan penyebab, tetapi belum membuktikan sebab akibat. Hubungan harus diuji melalui data tambahan dan analisis teknis.

Bentuk keenam adalah bantuan penyusunan hipotesis. Berdasarkan gejala dan data awal, AI dapat membantu menyusun daftar dugaan penyebab. Misalnya, untuk gejala “mesin panas setelah 30 menit operasi,” AI dapat menyarankan pemeriksaan beban, ventilasi, pelumasan, bearing, pendinginan, dan kondisi lingkungan. Daftar ini dapat membantu mahasiswa tidak melewatkan kemungkinan penting. Namun, mahasiswa tetap harus memilih dugaan yang relevan dengan konteks lapangan.

Bentuk ketujuh adalah bantuan komunikasi teknis. AI dapat membantu menyusun ringkasan temuan, membuat draf checklist, menata tabel observasi, atau membantu menyusun pertanyaan wawancara teknis. Fungsi ini dapat meningkatkan efisiensi laporan.

Namun, isi teknis tetap harus diperiksa. AI tidak mengetahui kondisi lapangan secara langsung kecuali data tersebut diberikan dan dijelaskan dengan benar. Tabel 39 menyajikan pemanfaatan AI sebagai alat bantu diagnosis awal dalam *problem solving* teknik terapan.

Tabel 39. Pemanfaatan Kecerdasan Buatan Sebagai Alat Bantu Diagnosis Awal dalam *Problem Solving* Teknik

Bentuk Pemanfaatan AI	Data yang Digunakan	Contoh Penerapan Teknik	Manfaat Diagnosis Awal	Pengendalian Risiko
Klasifikasi gejala	Foto, video, catatan inspeksi, atau data visual	Mengelompokkan foto kerusakan jalan, retak beton, cacat permukaan, atau kondisi komponen	Mempercepat pengelompokan temuan lapangan	Hasil harus diperiksa manusia, foto harus jelas, dan skala objek perlu dicatat
Deteksi anomali	Data sensor, log digital, data suhu, arus, getaran, tekanan, atau kualitas lingkungan	Menandai lonjakan suhu mesin, arus tidak normal, getaran tinggi, atau perubahan pH mendadak	Memberi peringatan awal terhadap kondisi tidak biasa	Perlu validasi sensor, pemeriksaan kondisi operasi, dan perbandingan dengan batas normal
Prediksi awal	Data historis, pola kejadian, data operasi, atau data perawatan	Memperkirakan kemungkinan downtime mesin, risiko keterlambatan, atau kebutuhan perawatan	Membantu perencanaan tindakan pencegahan	Prediksi tidak boleh dianggap pasti dan harus diuji dengan data terbaru
Peringkasan dokumen	Laporan harian, log gangguan, catatan perawatan, SOP, atau wawancara teknis	Merangkum laporan gangguan panel selama satu bulan	Mempercepat pembacaan dokumen panjang	Ringkasan harus dibandingkan dengan dokumen asli
Pencarian pola	Tabel data, <i>spreadsheet</i> , data waktu, data lokasi, atau data inspeksi	Menemukan pola gangguan yang muncul pada waktu, lokasi, atau kondisi tertentu	Membantu menyusun dugaan penyebab	Hubungan dalam data belum tentu sebab akibat
Penyusunan hipotesis	Gejala, data awal, standar	Menyusun kemungkinan	Membantu memperluas	Dugaan harus dipilih sesuai

Bentuk Pemanfaatan AI	Data yang Digunakan	Contoh Penerapan Teknik	Manfaat Diagnosis Awal	Pengendalian Risiko
	dan konteks kasus	penyebab mesin panas, panel trip, atau saluran meluap	sudut pandang analisis	konteks dan diverifikasi dengan bukti teknis
Bantuan komunikasi teknis	Catatan lapangan, hasil analisis, tabel, dan dokumen pendukung	Membantu menyusun checklist, ringkasan temuan, atau draf laporan awal	Membuat laporan lebih rapi dan efisien	Isi teknis harus diperiksa, sumber data harus jelas, dan tidak boleh ada data fiktif
Pembelajaran berbasis kasus	Dataset latihan, kasus praktikum, simulasi, atau contoh gangguan	Mahasiswa membandingkan hasil AI dengan analisis manual	Melatih literasi AI dan berpikir kritis	Dosen perlu menilai proses verifikasi, bukan hanya jawaban akhir

Tabel 39 menunjukkan bahwa AI memiliki banyak fungsi dalam diagnosis awal, tetapi setiap fungsi memiliki risiko. Kunci penggunaan AI adalah pengawasan manusia dan verifikasi teknis. AI dapat membantu menemukan pola, tetapi manusia harus memeriksa apakah pola tersebut bermakna secara teknik. AI dapat membantu menyusun dugaan, tetapi bukti lapangan tetap menentukan apakah dugaan tersebut dapat diterima.

Penggunaan AI untuk diagnosis awal dapat dimulai dari alur sederhana. Pertama, mahasiswa mendefinisikan gejala atau masalah. Kedua, mahasiswa mengumpulkan data awal yang relevan. Ketiga, mahasiswa menggunakan AI untuk membantu mengelompokkan data, membaca pola, atau menyusun dugaan penyebab. Keempat, mahasiswa memeriksa hasil AI dengan data asli. Kelima, mahasiswa menentukan dugaan yang paling layak diuji. Keenam, mahasiswa melakukan verifikasi melalui pengukuran, inspeksi, dokumen, wawancara teknis, atau uji coba terbatas.

Contoh pertama adalah kasus mesin panas. Data awal yang tersedia berupa catatan suhu, waktu operasi, beban kerja, dan catatan perawatan. AI dapat membantu membaca pola kenaikan suhu, mengelompokkan waktu kejadian, dan menyusun dugaan penyebab,

seperti ventilasi buruk, pelumasan kurang, beban berlebih, atau bearing aus. Namun, mahasiswa perlu memeriksa data suhu, titik pengukuran, status sensor, kondisi beban, dan catatan perawatan sebelum menetapkan akar masalah.

Contoh kedua adalah kasus panel listrik sering trip. Data yang tersedia dapat berupa waktu kejadian, daftar beban, data arus, suhu panel, dan catatan penambahan alat. AI dapat membantu merangkum log kejadian dan menunjukkan bahwa trip paling sering terjadi saat alat tertentu digunakan. Hasil ini dapat menjadi dugaan awal bahwa beban puncak atau pembagian beban berperan. Namun, verifikasi tetap memerlukan pengukuran oleh teknisi kompeten, pemeriksaan kapasitas proteksi, dan evaluasi dokumen instalasi.

Contoh ketiga adalah kasus kerusakan jalan. Data yang tersedia dapat berupa foto kerusakan, koordinat lokasi, jenis kerusakan, dan kondisi drainase. AI dapat membantu mengklasifikasikan foto menjadi lubang, retak, amblas, atau aus. AI juga dapat membantu mengelompokkan kerusakan berdasarkan tingkat keparahan. Namun, hasil klasifikasi harus diperiksa melalui inspeksi lapangan karena foto dapat tidak menunjukkan kedalaman, luas kerusakan, atau kondisi lapisan bawah.

Contoh keempat adalah kasus hasil uji laboratorium tidak konsisten. Data yang tersedia dapat berupa hasil uji, operator, alat, waktu uji, metode, kondisi ruang, dan nomor sampel. AI dapat membantu mencari pola, misalnya variasi hasil lebih besar pada kelompok sampel tertentu atau pada waktu tertentu. Namun, mahasiswa tetap harus memeriksa SOP, kondisi alat, status kalibrasi, homogenitas sampel, dan cara pencatatan. AI membantu menemukan arah pemeriksaan, bukan menggantikan audit teknis.

Contoh kelima adalah kasus keterlambatan pekerjaan. Data yang tersedia dapat berupa laporan harian, jadwal, catatan material, kondisi cuaca, tenaga kerja, dan pekerjaan ulang. AI dapat membantu merangkum laporan dan menunjukkan kategori penyebab keterlambatan yang sering muncul. Hasil ini dapat digunakan sebagai bahan awal Analisis Pareto. Namun, mahasiswa tetap harus memeriksa apakah kategori yang dibuat AI sesuai dengan data asli

dan tidak menggabungkan penyebab yang berbeda dalam satu kategori umum.

AI dapat membantu proses analisis, tetapi terdapat beberapa risiko yang harus dikendalikan. Risiko pertama adalah kesalahan hasil. AI dapat memberi jawaban yang keliru, terutama jika data masukan tidak lengkap, tidak valid, atau tidak sesuai konteks. Dalam generative AI, jawaban dapat terdengar meyakinkan walaupun tidak benar. Oleh karena itu, setiap hasil AI harus diperiksa dengan data lapangan dan sumber teknis.

Risiko kedua adalah bias data. AI belajar atau bekerja berdasarkan data yang tersedia. Jika data historis tidak mewakili kondisi lapangan saat ini, hasil AI dapat bias. Misalnya, model yang dilatih pada data kerusakan jalan di wilayah kering belum tentu sesuai untuk wilayah dengan curah hujan tinggi. Model yang dibuat dari data mesin lama belum tentu cocok untuk mesin baru. Mahasiswa perlu menilai apakah data yang digunakan relevan dengan kasus yang dianalisis.

Risiko ketiga adalah kurangnya transparansi. Beberapa sistem AI sulit menjelaskan mengapa memberikan rekomendasi tertentu. Dalam pekerjaan teknik, keputusan membutuhkan alasan yang dapat diperiksa. Jika AI menyatakan “kemungkinan penyebab adalah bearing aus,” mahasiswa perlu mengetahui data apa yang mendukung dugaan tersebut. Rekomendasi tanpa penjelasan tidak cukup sebagai dasar tindakan korektif.

Risiko keempat adalah ketergantungan berlebihan. Mahasiswa dapat tergoda menerima hasil AI tanpa berpikir kritis. Hal ini berbahaya karena *problem solving* teknik membutuhkan pemahaman konteks lapangan, standar, keselamatan, dan batas data. AI dapat membantu mempercepat pekerjaan, tetapi mahasiswa tetap harus memeriksa, menafsirkan, dan mempertanggungjawabkan hasil.

Risiko kelima adalah keamanan dan kerahasiaan data. Data teknik dapat memuat informasi sensitif, seperti layout fasilitas, data produksi, kondisi panel, jaringan utilitas, data kualitas, atau dokumen internal. Mahasiswa tidak boleh memasukkan data rahasia ke sistem AI publik tanpa izin. Data perlu disamarkan jika digunakan untuk

latihan. Prinsip keamanan data harus diterapkan sejak pengumpulan, pengolahan, sampai pelaporan.

Risiko keenam adalah kesalahan konteks keselamatan. AI mungkin memberi saran teknis tanpa memahami risiko keselamatan di lapangan. Misalnya, AI dapat menyarankan pemeriksaan panel listrik tanpa menekankan bahwa pekerjaan tersebut harus dilakukan oleh teknisi berwenang. Dalam pekerjaan teknik, keselamatan harus selalu menjadi batas utama. Jika tindakan memerlukan kewenangan, mahasiswa tidak boleh melakukannya sendiri.

Risiko ketujuh adalah masalah etika akademik. Mahasiswa tidak boleh menggunakan AI untuk membuat laporan seolah-olah seluruh analisis dilakukan sendiri. Penggunaan AI perlu diakui sesuai aturan institusi. AI dapat membantu menyusun ide, merapikan data, atau memberi pertanyaan awal, tetapi analisis, verifikasi, dan kesimpulan harus berbasis bukti yang benar. Data fiktif atau kesimpulan tanpa bukti tidak dapat diterima.

Agar AI digunakan dengan tepat, mahasiswa dapat menerapkan prinsip manusia tetap mengawasi. Prinsip ini berarti manusia menentukan tujuan, memilih data, memeriksa hasil, menilai risiko, dan mengambil keputusan. AI hanya membantu pada tahap tertentu. Dalam diagnosis awal, AI boleh membantu menyusun daftar dugaan penyebab. Namun, manusia harus menentukan dugaan mana yang masuk akal dan data apa yang diperlukan untuk mengujinya.

Prinsip kedua adalah data harus jelas. AI akan menghasilkan keluaran yang lebih berguna jika data masukan rapi, relevan, dan terstruktur. Misalnya, catatan gangguan mesin sebaiknya memiliki kolom tanggal, waktu, jenis gangguan, kondisi operasi, durasi, tindakan, dan catatan teknisi. Jika data tidak rapi, hasil AI akan lemah. Dengan demikian, kualitas AI sangat bergantung pada kualitas data.

Prinsip ketiga adalah gunakan AI untuk memperluas pertanyaan, bukan menutup analisis. AI dapat membantu mahasiswa bertanya, “penyebab apa saja yang mungkin,” “data apa yang perlu diperiksa,” atau “pola apa yang tampak.” Namun, AI tidak boleh langsung menutup analisis dengan satu jawaban pasti. Diagnosis awal yang

baik membuka jalan menuju verifikasi, bukan menggantikan verifikasi.

Prinsip keempat adalah bandingkan hasil AI dengan metode manual. Mahasiswa dapat membandingkan hasil AI dengan analisis pola, diagram sebab akibat, Lima Mengapa, atau Pareto. Jika hasil AI berbeda dari analisis manual, perbedaan tersebut perlu dibahas. Bisa jadi AI menemukan pola yang terlewat. Bisa juga AI salah menafsirkan data. Perbandingan ini melatih berpikir kritis.

Prinsip kelima adalah catat penggunaan AI. Dalam laporan, mahasiswa dapat menulis bagian singkat tentang bagaimana AI digunakan. Misalnya, AI digunakan untuk membantu merangkum log gangguan dan menyusun dugaan awal, tetapi verifikasi dilakukan melalui pengukuran arus, inspeksi panel, dan pemeriksaan dokumen. Catatan seperti ini menjaga transparansi dan integritas akademik.

Prinsip keenam adalah pisahkan hasil AI dan bukti teknis. Hasil AI dapat ditempatkan sebagai rekomendasi awal atau dugaan. Bukti teknis berasal dari data lapangan, hasil ukur, hasil uji, dokumen, atau inspeksi. Laporan harus menunjukkan perbedaan tersebut. Pernyataan “AI menyarankan penyebab X” tidak sama dengan “data membuktikan penyebab X.” Perbedaan ini sangat penting dalam penulisan ilmiah.

Prinsip ketujuh adalah pertimbangkan risiko keputusan. Untuk keputusan berisiko rendah, AI dapat digunakan secara lebih fleksibel sebagai alat bantu belajar. Untuk keputusan yang berkaitan dengan keselamatan, struktur, listrik, mesin berbahaya, lingkungan, atau biaya besar, hasil AI harus diperiksa lebih ketat oleh pihak kompeten. Semakin tinggi risiko, semakin kuat bukti yang dibutuhkan.

Jika ingin menggunakan AI dalam kegiatan pembelajaran, dosen dapat merancang tugas diagnosis awal. Mahasiswa diberi data kasus, seperti log mesin panas, foto kerusakan jalan, catatan panel trip, atau laporan keterlambatan pekerjaan. Mahasiswa diminta menggunakan AI untuk membuat dugaan awal. Setelah itu, mahasiswa harus memeriksa hasil AI dengan metode manual dan menentukan data

verifikasi. Penilaian tidak hanya berdasarkan jawaban akhir, tetapi berdasarkan kualitas verifikasi.

Dalam laporan *problem solving*, penggunaan AI dapat disusun dengan format sederhana. Pertama, jelaskan tujuan penggunaan AI. Kedua, jelaskan data yang diberikan kepada AI. Ketiga, tampilkan hasil diagnosis awal AI secara ringkas. Keempat, jelaskan pemeriksaan manusia terhadap hasil tersebut. Kelima, jelaskan bukti teknis yang mendukung atau menolak hasil AI. Keenam, tulis keterbatasan penggunaan AI. Format ini membantu laporan tetap ilmiah dan bertanggung jawab.

Mahasiswa juga perlu memahami bahwa AI generatif berbeda dari sistem AI analitik berbasis sensor atau model prediktif khusus. AI generatif dapat membantu merangkum, menyusun penjelasan, dan membuat daftar dugaan. Sistem AI analitik dapat dirancang untuk mendeteksi anomali atau memprediksi kondisi berdasarkan data sensor. Keduanya memiliki manfaat dan risiko berbeda. AI generatif lebih rawan menghasilkan informasi yang tampak benar tetapi tidak terverifikasi. AI analitik lebih bergantung pada kualitas data, model, dan proses pelatihan.

Pada kasus teknik yang sederhana, AI generatif dapat digunakan untuk membantu menyusun checklist pemeriksaan awal. Misalnya, untuk mesin panas, AI dapat membantu membuat daftar hal yang perlu diperiksa: suhu, ventilasi, beban, pelumasan, bearing, waktu operasi, dan riwayat perawatan. Checklist ini kemudian disesuaikan oleh mahasiswa dengan kondisi nyata. Dengan cara ini, AI membantu memperluas cakupan pemeriksaan tanpa menggantikan keputusan teknis.

Pada kasus dengan data sensor, AI analitik dapat digunakan untuk mendeteksi pola abnormal. Misalnya, jika suhu dan getaran mesin menunjukkan pola berbeda dari kondisi normal, sistem dapat memberi peringatan. Namun, mahasiswa perlu memahami bahwa peringatan tersebut adalah sinyal awal. Pemeriksaan fisik, catatan perawatan, dan verifikasi teknis tetap diperlukan untuk menetapkan penyebab.

Kecerdasan buatan juga dapat membantu pembelajaran lintas kasus. Jika mahasiswa memiliki beberapa kasus yang terdokumentasi dengan baik, AI dapat membantu membandingkan pola antar kasus. Misalnya, beberapa kasus panel trip dapat dibandingkan berdasarkan waktu, beban, suhu, dan tindakan perbaikan. Namun, data kasus harus dianonimkan dan disusun dengan struktur yang jelas agar pembelajaran tidak melanggar kerahasiaan.

Dalam penggunaan AI, kualitas prompt atau instruksi juga berpengaruh. Mahasiswa perlu memberi konteks yang jelas, seperti jenis objek, gejala, data yang tersedia, batasan keselamatan, dan tujuan analisis. Pertanyaan yang terlalu umum akan menghasilkan jawaban yang umum. Misalnya, pertanyaan “mengapa mesin panas” akan menghasilkan jawaban luas. Pertanyaan yang lebih baik adalah “mesin praktik tipe tertentu mengalami kenaikan suhu dari 40 derajat Celsius menjadi 85 derajat Celsius setelah 30 menit operasi pada beban tertentu; data pelumasan belum tersedia; susun dugaan awal dan data yang perlu diperiksa.” Pertanyaan kedua lebih membantu diagnosis awal.

Meskipun demikian, mahasiswa tidak boleh memasukkan informasi rahasia ke dalam sistem AI. Jika data berasal dari industri, nama perusahaan, lokasi detail, nomor aset, data produksi, dan informasi sensitif perlu dihapus atau disamarkan. Gunakan kode objek, seperti Mesin A, Panel B, atau Lokasi C. Keamanan data harus menjadi kebiasaan dalam penggunaan AI.

Keterbatasan AI harus selalu ditulis dalam laporan. Keterbatasan dapat berupa data masukan terbatas, data belum diverifikasi, model AI tidak diketahui basis pelatihannya, hasil AI tidak menjelaskan alasan teknis secara rinci, atau konteks lapangan tidak sepenuhnya tersedia. Dengan menulis keterbatasan, mahasiswa menunjukkan bahwa AI digunakan secara kritis, bukan diterima tanpa syarat.

Jika Bapak/Ibu ingin menambahkan gambar riil pada subbab ini, gambar yang paling tepat adalah tangkapan layar yang menunjukkan proses diagnosis awal berbasis data, misalnya *dashboard* sederhana yang menampilkan grafik suhu mesin dan tanda anomali, tabel log gangguan yang diringkas oleh AI, atau antarmuka klasifikasi foto

kerusakan jalan. Gambar harus berasal dari data latihan atau data yang sudah disamarkan. Hindari menampilkan nama fasilitas, koordinat sensitif, nomor aset, atau informasi internal industri.

Pada akhirnya, kecerdasan buatan dapat menjadi alat bantu yang berguna dalam diagnosis awal masalah teknik. AI membantu mengelompokkan gejala, mendeteksi anomali, merangkum data, menemukan pola, dan menyusun dugaan penyebab. Namun, AI tidak menggantikan observasi lapangan, pengukuran, inspeksi, standar, keselamatan, dan tanggung jawab profesional. Dalam *problem solving* teknik terapan, AI harus digunakan secara kritis, transparan, aman, dan selalu diverifikasi dengan bukti teknis.

Kecerdasan buatan dapat digunakan sebagai alat bantu diagnosis awal dalam *problem solving* teknik terapan. AI dapat membantu klasifikasi gejala, deteksi anomali, prediksi awal, peringkasan dokumen, pencarian pola, penyusunan hipotesis, dan komunikasi teknis. Namun, AI tidak boleh digunakan sebagai dasar keputusan akhir tanpa verifikasi. Risiko penggunaan AI meliputi kesalahan hasil, bias data, kurangnya transparansi, ketergantungan berlebihan, keamanan data, kesalahan konteks keselamatan, dan masalah etika akademik. Hasil AI harus diperiksa dengan data lapangan, standar, pengukuran, inspeksi, dokumen, dan pertimbangan manusia yang kompeten.

F. Dashboard Data untuk Menyajikan Temuan Teknis



Gambar 23. Contoh Dashboard Data untuk Menyajikan Temuan Teknis dalam Problem Solving Teknik

Dashboard data merupakan tampilan visual yang menyajikan informasi penting secara ringkas, terstruktur, dan mudah dipantau. Dalam *problem solving* teknik terapan, *dashboard* digunakan untuk menyajikan temuan teknis dari data lapangan, data sensor, hasil inspeksi, log digital, hasil pengujian, atau data proyek. *Dashboard* membantu mahasiswa dan praktisi melihat kondisi utama, pola masalah, indikator kinerja, penyebab dominan, dan status tindakan perbaikan dalam satu tampilan yang lebih mudah dipahami.

Dashboard berbeda dari laporan lengkap. Laporan lengkap memuat uraian latar belakang, metode, data, analisis, pembahasan, kesimpulan, dan rekomendasi secara rinci. *Dashboard* menyajikan ringkasan visual dari data penting. *Dashboard* tidak menggantikan laporan teknis, tetapi membantu pembaca memahami temuan utama dengan cepat. Dalam konteks pekerjaan teknik, *dashboard* dapat menjadi pintu masuk untuk membaca kondisi sebelum melihat data detail.

Dashboard juga berbeda dari tabel data mentah. Tabel data mentah menyimpan informasi dalam bentuk baris dan kolom. *Dashboard* mengubah data tersebut menjadi indikator, grafik, peta, diagram,

kartu nilai, warna status, dan ringkasan visual. Misalnya, data inspeksi saluran drainase dapat ditampilkan sebagai jumlah titik tersumbat, peta titik genangan, grafik kedalaman genangan, dan status prioritas pembersihan. Dengan cara ini, *dashboard* membantu mengubah data menjadi informasi yang siap digunakan.

Dalam *problem solving* teknik, *dashboard* dapat digunakan pada berbagai tahap. Pada tahap identifikasi masalah, *dashboard* menampilkan gejala utama dan lokasi kejadian. Pada tahap pengumpulan data, *dashboard* menampilkan jumlah data yang sudah terkumpul dan status kelengkapannya. Pada tahap analisis, *dashboard* menampilkan pola, tren, anomali, dan penyebab dominan. Pada tahap implementasi solusi, *dashboard* menampilkan status tindakan, penanggung jawab, dan progres. Pada tahap evaluasi, *dashboard* menampilkan perbandingan kondisi sebelum dan sesudah tindakan.

Dashboard yang baik harus dirancang berdasarkan tujuan. Tujuan *dashboard* perlu dijawab sejak awal. Apakah *dashboard* digunakan untuk memantau kondisi mesin, memantau progres pekerjaan, menyajikan hasil inspeksi jalan, melihat status drainase, membaca kualitas lingkungan, atau mengevaluasi tindakan korektif. Jika tujuan tidak jelas, *dashboard* dapat berisi terlalu banyak grafik tetapi tidak membantu keputusan.

Prinsip desain berpusat pada pengguna penting dalam penyusunan *dashboard*. ISO 9241-210:2019 memberikan persyaratan dan rekomendasi untuk desain berpusat pada manusia dalam sistem interaktif (International Organization for Standardization, 2019). Dalam konteks *dashboard*, prinsip ini berarti tampilan harus disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. *Dashboard* untuk teknisi lapangan dapat berbeda dari *dashboard* untuk dosen, *supervisor*, pimpinan proyek, atau mahasiswa. Pengguna yang berbeda membutuhkan tingkat detail, bahasa, dan indikator yang berbeda.

Dashboard untuk teknisi perlu menampilkan informasi operasional yang dapat langsung ditindaklanjuti, seperti titik masalah, status alat, batas aman, dan tindakan yang harus dilakukan. *Dashboard* untuk *supervisor* perlu menampilkan prioritas, progres, keterlambatan, dan risiko. *Dashboard* untuk pembelajaran mahasiswa

perlu menampilkan data, pola, interpretasi, dan bukti teknis agar proses analisis dapat dipelajari. Dengan demikian, *dashboard* harus mengikuti kebutuhan keputusan, bukan sekadar mengikuti tampilan yang menarik.

Data yang ditampilkan dalam *dashboard* harus berkualitas. ISO/IEC 25012:2008 menjelaskan model kualitas data yang membantu mengevaluasi karakteristik data dalam sistem informasi (International Organization for Standardization, 2008). Dalam *problem solving* teknik, kualitas data mencakup akurasi, kelengkapan, konsistensi, keterkinian, ketertelusuran, dan relevansi. *Dashboard* yang indah tetapi memakai data tidak valid dapat menyesatkan pengguna. Oleh karena itu, sebelum membuat *dashboard*, mahasiswa harus memastikan data sudah diperiksa.

Komponen utama *dashboard* meliputi indikator utama, grafik, tabel ringkas, filter, keterangan, dan interpretasi. Indikator utama dapat berupa jumlah kejadian, total biaya, total downtime, tingkat kerusakan, persentase progres, nilai rata-rata, atau status risiko. Grafik dapat berupa grafik batang, garis, Pareto, peta titik, diagram lingkaran terbatas, atau grafik sebar. Tabel ringkas digunakan untuk menampilkan data prioritas. Filter digunakan untuk memilih periode, lokasi, jenis masalah, atau kategori.

Dashboard juga dapat memuat kartu indikator. Kartu indikator menampilkan angka penting secara langsung. Misalnya, “12 titik genangan,” “4 titik prioritas tinggi,” “18 jam downtime,” “76 persen penyebab berasal dari tiga kategori,” atau “85 persen tindakan sudah selesai.” Kartu indikator membantu pembaca melihat kondisi utama dengan cepat. Namun, setiap angka harus memiliki definisi yang jelas agar tidak salah tafsir.

Grafik garis digunakan untuk menampilkan tren waktu. Grafik ini cocok untuk data suhu mesin, getaran, arus listrik, muka air, kualitas udara, progres pekerjaan, atau biaya dari waktu ke waktu. Grafik batang digunakan untuk membandingkan kategori, seperti jumlah kerusakan per jenis, downtime per penyebab, atau jumlah temuan per lokasi. Diagram Pareto digunakan untuk menunjukkan penyebab dominan. Peta digunakan untuk menampilkan data berbasis lokasi.

Tabel prioritas digunakan untuk menampilkan daftar tindakan yang perlu segera dilakukan.

Pemilihan visualisasi harus sesuai dengan jenis data. Data waktu lebih tepat ditampilkan dengan grafik garis. Data kategori lebih tepat ditampilkan dengan grafik batang. Data lokasi lebih tepat ditampilkan dengan peta. Data hubungan dua variabel dapat ditampilkan dengan grafik sebar. Data prioritas tindakan dapat ditampilkan dalam tabel status. Kesalahan memilih jenis visualisasi dapat membuat informasi sulit dipahami.

Dashboard teknis harus menghindari tampilan berlebihan. Terlalu banyak warna, ikon, grafik, dan animasi dapat mengganggu pembacaan. Warna sebaiknya digunakan untuk membedakan status atau tingkat prioritas. Misalnya, hijau untuk normal, kuning untuk perlu perhatian, merah untuk kritis. Namun, penggunaan warna harus tetap disertai label agar dapat dipahami oleh pengguna dengan keterbatasan penglihatan warna.

Dashboard juga perlu memiliki konteks. Angka tanpa konteks sulit ditafsirkan. Misalnya, angka “suhu 82 derajat Celsius” perlu dibandingkan dengan batas operasi. Angka “downtime 10 jam” perlu dibandingkan dengan target atau periode sebelumnya. Angka “progres 60 persen” perlu dibandingkan dengan rencana waktu. Oleh karena itu, *dashboard* sebaiknya menampilkan target, batas normal, nilai acuan, atau status pembanding. Tabel 40 menyajikan komponen *dashboard* data untuk menyajikan temuan teknis dalam *problem solving* teknik terapan.

Tabel 40. Komponen *Dashboard* Data untuk Menyajikan Temuan Teknis

Komponen <i>Dashboard</i>	Fungsi Utama	Contoh dalam Kasus Teknik	Hal yang Perlu Diperhatikan
Judul dan tujuan <i>dashboard</i>	Menjelaskan fokus <i>dashboard</i>	<i>Dashboard</i> pemantauan genangan area parkir setelah hujan	Judul harus spesifik, tidak terlalu umum

Komponen Dashboard	Fungsi Utama	Contoh dalam Kasus Teknik	Hal yang Perlu Diperhatikan
Periode data	Menunjukkan rentang waktu data	Data inspeksi 1 sampai 30 Juni 2026	Periode harus jelas agar pembaca tidak salah menafsirkan
Kartu indikator utama	Menampilkan angka kunci secara cepat	Jumlah titik genangan, jumlah titik kritis, total durasi genangan	Definisi indikator harus jelas
Grafik tren	Menampilkan perubahan dari waktu ke waktu	Grafik tinggi muka air per jam atau suhu mesin per menit	Sumbu, satuan, dan interval waktu harus ditulis
Grafik kategori	Membandingkan jumlah atau nilai antar kategori	Jumlah kerusakan berdasarkan jenis atau lokasi	Kategori tidak boleh tumpang tindih
Diagram Pareto	Menentukan penyebab dominan	Penyebab downtime mesin atau keterlambatan pekerjaan	Ukuran kontribusi harus sesuai dengan tujuan analisis
Peta lokasi	Menampilkan sebaran spasial temuan	Titik genangan, titik kerusakan jalan, titik sensor	Koordinat, legenda, dan sumber peta perlu dicantumkan
Tabel prioritas	Menampilkan daftar tindakan penting	Titik yang harus diperbaiki, status tindakan, penanggung jawab	Prioritas harus berbasis data dan risiko
Filter data	Memilih data berdasarkan periode, lokasi, kategori, atau status	Filter lokasi, jenis kerusakan, tingkat keparahan	Filter harus mudah digunakan dan tidak menyembunyikan konteks penting
Catatan interpretasi	Menjelaskan makna temuan utama	Tiga penyebab teratas menyumbang sebagian besar downtime	Interpretasi harus hati-hati dan berbasis bukti
Sumber dan kualitas data	Menunjukkan asal data dan keterbatasannya	Data dari sensor, inspeksi, formulir digital, atau log alat	Data harus valid, lengkap, dan dapat ditelusuri

Tabel 40 menunjukkan bahwa *dashboard* bukan hanya kumpulan grafik. *Dashboard* harus memiliki tujuan, indikator, konteks, data

yang dapat dipercaya, dan interpretasi teknis. *Dashboard* yang baik membantu pembaca memahami kondisi, menentukan prioritas, dan mengambil tindakan lanjutan.

Dalam penyusunan *dashboard*, langkah pertama adalah menentukan pertanyaan teknis yang ingin dijawab. Contoh pertanyaan teknis adalah: lokasi mana yang paling sering mengalami genangan, jenis kerusakan apa yang paling dominan, kapan mesin menunjukkan suhu tidak normal, penyebab apa yang paling banyak menyumbang downtime, atau tindakan korektif mana yang belum selesai. Pertanyaan ini menjadi dasar pemilihan data dan visualisasi.

Langkah kedua adalah menentukan pengguna *dashboard*. *Dashboard* untuk mahasiswa dapat menampilkan data lebih rinci agar proses analisis dapat dipelajari. *Dashboard* untuk teknisi dapat menampilkan status dan tindakan. *Dashboard* untuk pimpinan dapat menampilkan indikator ringkas, risiko, dan progres. Jika pengguna tidak jelas, *dashboard* dapat gagal memenuhi kebutuhan.

Langkah ketiga adalah memilih indikator utama. Indikator harus relevan dengan masalah dan dapat diukur. Pada kasus drainase, indikator dapat berupa jumlah titik genangan, kedalaman maksimum, durasi genangan, jumlah inlet tersumbat, dan status pembersihan. Pada kasus mesin, indikator dapat berupa suhu maksimum, nilai getaran, total downtime, jumlah alarm, dan status perawatan. Pada kasus proyek, indikator dapat berupa progres rencana, progres aktual, deviasi waktu, biaya pekerjaan ulang, dan status risiko.

Langkah keempat adalah menyiapkan data. Data harus dibersihkan, dikelompokkan, diberi satuan, dan diperiksa konsistensinya. Data yang sama harus memakai format yang sama. Misalnya, tanggal harus ditulis dalam format yang konsisten, lokasi harus memakai kode yang sama, dan kategori masalah harus menggunakan istilah baku. Jika data tidak rapi, *dashboard* akan menampilkan informasi yang salah atau membingungkan.

Langkah kelima adalah memilih bentuk visualisasi. Setiap visualisasi harus memiliki alasan. Grafik tidak boleh ditambahkan hanya agar *dashboard* terlihat ramai. Jika tujuan adalah melihat tren,

gunakan grafik garis. Jika tujuan adalah membandingkan kategori, gunakan grafik batang. Jika tujuan adalah melihat lokasi, gunakan peta. Jika tujuan adalah melihat prioritas, gunakan tabel prioritas atau Pareto. Visualisasi harus membantu keputusan.

Langkah keenam adalah menyusun tata letak. Informasi paling penting ditempatkan pada bagian yang mudah dilihat. Kartu indikator utama biasanya diletakkan di bagian atas. Grafik tren atau peta dapat diletakkan di bagian tengah. Tabel prioritas dan catatan interpretasi dapat diletakkan di bagian bawah. Tata letak harus mengikuti alur membaca dari ringkasan menuju detail.

Langkah ketujuh adalah menambahkan interpretasi. *Dashboard* tidak cukup menampilkan angka. *Dashboard* perlu menjelaskan makna data secara singkat. Misalnya, “titik genangan terbanyak berada pada sisi utara area parkir,” “suhu mesin meningkat tajam setelah 30 menit operasi,” atau “dua penyebab teratas menyumbang 65 persen downtime.” Interpretasi membantu pembaca memahami temuan teknis tanpa harus menebak sendiri.

Langkah kedelapan adalah melakukan validasi. *Dashboard* perlu diperiksa sebelum digunakan. Pemeriksaan meliputi kebenaran data, rumus, filter, grafik, satuan, skala, sumber data, dan hasil interpretasi. Mahasiswa juga perlu memeriksa apakah *dashboard* tetap benar ketika filter diubah. Validasi penting karena kesalahan kecil pada data atau rumus dapat mengubah kesimpulan.

Dashboard dapat dibuat dengan berbagai alat. *Spreadsheet* dapat digunakan untuk *dashboard* sederhana. Perangkat lunak business intelligence seperti Power BI atau Tableau dapat digunakan untuk *dashboard* yang lebih interaktif. Perangkat SIG dapat digunakan untuk *dashboard* berbasis lokasi. Platform IoT dapat digunakan untuk *dashboard* sensor. Pilihan alat harus disesuaikan dengan tujuan, kemampuan pengguna, jenis data, dan kebutuhan pelaporan.

Spreadsheet cukup untuk *dashboard* pembelajaran dasar. Mahasiswa dapat membuat kartu indikator, grafik batang, grafik garis, Pareto, dan tabel prioritas. Keunggulan *spreadsheet* adalah mudah diakses dan cepat digunakan. Keterbatasannya adalah

interaktivitas dan pengelolaan data besar lebih terbatas. Untuk data yang lebih kompleks, perangkat khusus *dashboard* dapat digunakan jika tersedia.

Dashboard berbasis Power BI atau Tableau memungkinkan pengguna menggabungkan beberapa visualisasi, filter, dan sumber data. Microsoft Learn menjelaskan *dashboard* Power BI sebagai kanvas satu halaman yang menyampaikan cerita melalui visualisasi, sedangkan Tableau menjelaskan *dashboard* sebagai kumpulan beberapa tampilan untuk membandingkan data secara bersamaan. Dalam pembelajaran teknik, perangkat seperti ini dapat digunakan untuk menyajikan data inspeksi, data sensor, data proyek, atau data kualitas secara lebih interaktif.

Dashboard berbasis lokasi dapat dibuat dengan SIG. Contohnya adalah *dashboard* titik genangan, kerusakan jalan, titik sensor kualitas air, atau zona kebisingan. *Dashboard* seperti ini menggabungkan peta, grafik, dan tabel. Pengguna dapat memilih lokasi dan melihat atribut teknis. *Dashboard* berbasis lokasi sangat berguna ketika masalah memiliki sebaran spasial.

Dashboard sensor dan IoT dapat menampilkan data waktu nyata atau data berkala. Contohnya adalah suhu mesin, getaran, arus panel, tinggi muka air, kelembapan ruang, atau kualitas udara. *Dashboard* seperti ini perlu memiliki batas normal dan peringatan. Namun, data sensor harus divalidasi. Sensor yang salah membaca dapat membuat *dashboard* memberikan peringatan palsu atau gagal memberi peringatan saat terjadi masalah.

Dalam menyajikan temuan teknis, *dashboard* perlu membedakan data, analisis, dan rekomendasi. Data adalah angka atau informasi yang dikumpulkan. Analisis adalah hasil pengolahan data. Rekomendasi adalah tindakan yang disarankan. Jika ketiganya tercampur, pembaca dapat salah memahami status informasi. Misalnya, “arus fasa R lebih tinggi” adalah data. “beban tidak seimbang” adalah interpretasi. “lakukan penataan ulang beban” adalah rekomendasi.

Dashboard juga perlu menunjukkan status data. Data dapat memiliki status lengkap, belum lengkap, perlu verifikasi, atau data hilang. Status ini penting agar pengguna tidak mengambil keputusan dari data yang belum cukup. Misalnya, jika data suhu mesin hanya tersedia untuk satu hari, *dashboard* harus menunjukkan bahwa periode data masih terbatas. Jika ada sensor yang tidak aktif, *dashboard* harus menampilkan status tersebut.

Dalam konteks mutu, *dashboard* dapat menampilkan jumlah ketidaksesuaian, jenis cacat, penyebab dominan, tindakan korektif, dan status verifikasi. Dalam konteks waktu, *dashboard* dapat menampilkan progres rencana, progres aktual, deviasi, hambatan, dan tindakan percepatan. Dalam konteks biaya, *dashboard* dapat menampilkan biaya rencana, biaya aktual, pekerjaan ulang, dan sumber pemborosan. Dalam konteks keselamatan, *dashboard* dapat menampilkan temuan bahaya, near miss, status tindakan, dan area risiko.

Dashboard keselamatan harus dirancang dengan hati-hati. Informasi keselamatan tidak boleh disajikan hanya sebagai angka. Jika terdapat kondisi kritis, *dashboard* harus membantu tindakan cepat. Misalnya, area berbahaya, status tindakan belum selesai, atau kejadian near miss perlu ditampilkan jelas. Namun, *dashboard* tidak boleh menggantikan pengendalian langsung. Jika terdapat bahaya nyata, tindakan pengamanan harus dilakukan di lapangan.

Dashboard untuk laporan mahasiswa dapat dibuat lebih sederhana. Contohnya, satu *dashboard* kasus drainase dapat memuat kartu jumlah titik genangan, grafik kedalaman genangan, peta titik genangan, tabel prioritas tindakan, dan catatan interpretasi. *Dashboard* kasus mesin dapat memuat grafik suhu, grafik getaran, kartu downtime, Pareto penyebab gangguan, dan tabel tindakan perawatan. *Dashboard* kasus proyek dapat memuat progres rencana dan aktual, penyebab keterlambatan, status material, dan tindakan korektif.

Jika Bapak/Ibu ingin menambahkan gambar riil pada subbab ini, gambar yang paling tepat adalah tangkapan layar *dashboard* dari data latihan. Misalnya, *dashboard* inspeksi drainase kampus, *dashboard*

suhu mesin praktik, *dashboard* kerusakan jalan lingkungan, atau *dashboard* tindakan korektif laboratorium. Gambar harus memuat judul *dashboard*, periode data, kartu indikator, grafik utama, dan tabel prioritas. Hindari menampilkan data sensitif, nama proyek nyata, lokasi rinci, identitas orang, atau informasi internal industri tanpa izin.

Dashboard juga perlu memperhatikan keterbacaan. Ukuran teks harus cukup besar. Judul grafik harus jelas. Sumbu grafik harus diberi satuan. Warna harus konsisten. Terlalu banyak grafik kecil membuat *dashboard* sulit dibaca. *Dashboard* yang baik menampilkan informasi paling penting, bukan semua data. Data detail dapat tersedia pada laporan atau lampiran.

Dalam *dashboard* teknis, skala grafik harus digunakan secara jujur. Memotong sumbu tanpa keterangan dapat membuat perubahan kecil terlihat sangat besar. Menggunakan grafik lingkaran terlalu banyak dapat menyulitkan perbandingan. Menggunakan warna merah untuk data normal dapat menimbulkan kesan bahaya. Visualisasi harus membantu pemahaman, bukan memperbesar atau menyembunyikan masalah.

Dashboard interaktif perlu diuji. Filter, tombol, pilihan periode, dan peta harus bekerja sesuai tujuan. Jika pengguna memilih lokasi tertentu, grafik lain harus menyesuaikan dengan benar. Jika pengguna memilih periode tertentu, angka total harus berubah sesuai data. Kesalahan interaksi dapat menghasilkan informasi yang salah. Oleh karena itu, *dashboard* interaktif membutuhkan validasi lebih teliti daripada *dashboard* statis.

Keamanan data juga penting. *Dashboard* dapat menampilkan data operasional, data fasilitas, data biaya, data kualitas, atau data lokasi. Akses *dashboard* harus diatur sesuai kebutuhan. Tidak semua pengguna perlu melihat semua data. Jika *dashboard* dipublikasikan untuk pembelajaran, data sensitif perlu disamarkan. Jika *dashboard* disimpan daring, pengaturan akses dan cadangan data perlu diperhatikan.

Dashboard juga perlu diperbarui. *Dashboard* yang tidak diperbarui dapat menyesatkan. Jika data berasal dari inspeksi

mingguan, tanggal pembaruan terakhir harus ditampilkan. Jika data berasal dari sensor, status koneksi sensor perlu ditampilkan. Jika data berasal dari laporan manual, waktu input terakhir perlu dicatat. Pengguna harus mengetahui apakah *dashboard* menampilkan data terbaru atau data historis.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat menilai *dashboard* berdasarkan beberapa aspek. Pertama, kesesuaian indikator dengan masalah. Kedua, kualitas data. Ketiga, ketepatan visualisasi. Keempat, kejelasan interpretasi. Kelima, keterbacaan tampilan. Keenam, kemampuan *dashboard* menunjukkan prioritas. Ketujuh, kejujuran dalam menyajikan keterbatasan data. Penilaian seperti ini membantu mahasiswa memahami bahwa *dashboard* bukan hanya tugas desain visual, tetapi juga tugas analisis teknik.

Mahasiswa juga perlu menyertakan narasi pendamping *dashboard*. Narasi tersebut menjelaskan sumber data, periode data, metode pengolahan, temuan utama, prioritas tindakan, dan keterbatasan. *Dashboard* tanpa narasi dapat menimbulkan banyak tafsir. Narasi yang baik membantu pembaca memahami apa yang harus dilihat dan apa yang harus dilakukan setelah melihat *dashboard*.

*Dashboar*d dapat membantu pengambilan keputusan, tetapi tidak boleh menjadi satu-satunya dasar. Keputusan teknik tetap memerlukan verifikasi lapangan, standar, pengalaman teknis, keselamatan, dan pertimbangan etis. *Dashboar*d hanya menyajikan informasi. Manusia tetap bertanggung jawab menentukan tindakan. Jika *dashboar*d menunjukkan anomali, langkah berikutnya adalah memeriksa data, melakukan inspeksi, dan memverifikasi penyebab.

Pada akhirnya, *dashboar*d data merupakan alat penting untuk menyajikan temuan teknis secara ringkas, visual, dan terarah. *Dashboar*d membantu mahasiswa dan praktisi melihat kondisi utama, pola, prioritas, dan status tindakan. Namun, *dashboar*d harus dirancang berdasarkan tujuan, pengguna, data yang valid, visualisasi yang tepat, dan interpretasi teknis yang jujur. *Dashboar*d yang baik tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga mendukung keputusan teknik yang aman, berbasis bukti, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Dashboard data menyajikan temuan teknis dalam bentuk visual yang ringkas dan mudah dipantau. *Dashboard* dapat memuat kartu indikator, grafik tren, grafik kategori, Pareto, peta, tabel prioritas, filter, sumber data, dan catatan interpretasi. Dalam *problem solving* teknik, *dashboard* membantu menyajikan gejala, pola, penyebab dominan, status tindakan, dan hasil evaluasi. *Dashboard* harus dibuat berdasarkan tujuan, kebutuhan pengguna, kualitas data, visualisasi yang tepat, dan validasi teknis. *Dashboard* tidak menggantikan laporan lengkap atau verifikasi lapangan, tetapi membantu pembaca memahami temuan utama dan menentukan tindakan lanjutan.



BAB 7

PENGEMBANGAN IDE SOLUSI INOVATIF

Pengembangan ide solusi inovatif merupakan tahap penting setelah masalah teknik dipahami, data dikumpulkan, akar masalah dianalisis, dan teknologi digital dimanfaatkan untuk memperkuat bukti. Pada tahap ini, mahasiswa tidak lagi hanya bertanya “apa penyebab masalah”, tetapi mulai bertanya “solusi apa yang dapat dikembangkan, diuji, dan diterapkan secara layak.” Dalam *problem solving* teknik terapan, solusi tidak cukup hanya benar secara teori. Solusi harus sesuai dengan kondisi lapangan, kebutuhan pengguna, sumber daya, keselamatan, biaya, waktu, standar, dan keberlanjutan.

Solusi inovatif tidak selalu berarti penemuan yang sepenuhnya baru. Dalam konteks teknik terapan, inovasi dapat berupa perbaikan cara kerja, penyesuaian alat, perubahan layout, penyederhanaan prosedur, penggunaan material alternatif, pemanfaatan teknologi digital, perbaikan sistem pemeliharaan, atau kombinasi beberapa pendekatan yang menghasilkan nilai lebih baik. Solusi disebut inovatif jika mampu memberikan manfaat nyata, lebih efektif dibandingkan kondisi sebelumnya, dan dapat diterapkan sesuai konteks pekerjaan.

OECD dan Eurostat dalam Oslo Manual 2018 menjelaskan inovasi sebagai produk atau proses baru atau yang ditingkatkan secara signifikan, yang berbeda dari produk atau proses sebelumnya dan tersedia bagi pengguna atau digunakan oleh unit terkait (OECD & Eurostat, 2018). Pengertian ini penting karena inovasi tidak hanya berbentuk produk. Inovasi juga dapat berbentuk proses, metode kerja, sistem layanan, pengelolaan data, atau cara organisasi menyelesaikan masalah.

Dalam pekerjaan teknik, inovasi sering muncul dari keterbatasan. Keterbatasan alat, biaya, waktu, ruang, material, tenaga kerja, akses lokasi, atau kondisi lingkungan dapat memaksa praktisi teknik berpikir kreatif. Namun, kreativitas dalam teknik tidak boleh lepas dari kaidah teknis. Ide yang kreatif tetapi tidak aman, tidak dapat diuji, tidak sesuai standar, atau tidak dapat diterapkan bukanlah solusi yang baik. Oleh

karena itu, pengembangan ide solusi harus menggabungkan kreativitas, analisis teknis, bukti data, dan tanggung jawab profesional.

ISO 56002:2019 menjelaskan panduan untuk membangun, menerapkan, memelihara, dan meningkatkan sistem manajemen inovasi dalam organisasi (International Organization for Standardization, 2019). Meskipun standar ini digunakan pada tingkat organisasi, prinsipnya relevan untuk pendidikan vokasi. Inovasi perlu dikelola melalui proses yang sistematis. Ide tidak cukup hanya dikumpulkan, tetapi perlu dipilih, diuji, dikembangkan, diimplementasikan, dan dievaluasi. Dengan cara ini, inovasi menjadi proses kerja yang dapat dipelajari, bukan hanya hasil spontan.

Pengembangan ide solusi inovatif dalam teknik terapan dimulai dari pemahaman masalah. Ide yang baik harus berangkat dari akar masalah yang sudah diverifikasi. Jika akar masalah belum jelas, ide solusi dapat meleset. Misalnya, jika panel listrik sering trip karena pembagian beban tidak seimbang, solusi yang tepat bukan sekadar mengganti MCB. Jika mesin panas karena jadwal pelumasan tidak berjalan, solusi yang tepat bukan hanya mematikan mesin sementara. Jika genangan terjadi karena inlet tertutup sedimentasi, solusi tidak cukup hanya mengeringkan area yang tergenang. Solusi harus diarahkan pada penyebab yang benar.

Ide solusi juga harus memperhatikan kebutuhan pengguna. Pengguna dapat berupa operator, teknisi, *supervisor*, mahasiswa, dosen, masyarakat, pelanggan, atau pengelola fasilitas. Solusi yang baik harus menjawab kebutuhan mereka. Dalam pendekatan desain berpusat pada manusia, kebutuhan, pengalaman, keterbatasan, dan perilaku pengguna menjadi bagian penting dari pengembangan solusi. IDEO menjelaskan *design thinking* sebagai pendekatan untuk membantu tim menyelesaikan masalah kompleks melalui inovasi yang berpusat pada manusia, kreativitas, kolaborasi, dan dampak (IDEO, 2026). Prinsip ini sejalan dengan *problem solving* teknik karena solusi teknis akan digunakan oleh manusia dalam konteks kerja nyata.

Solusi inovatif juga perlu mempertimbangkan kelayakan. Kelayakan dapat dilihat dari aspek teknis, ekonomi, operasional, keselamatan, lingkungan, sosial, dan waktu. Solusi yang sangat baik secara teknis mungkin tidak layak jika biayanya terlalu tinggi, perawatannya sulit,

atau pengguna tidak mampu mengoperasikannya. Sebaliknya, solusi yang murah tetapi tidak tahan lama atau tidak aman juga tidak layak. Oleh karena itu, pengembangan ide harus diikuti dengan penilaian kelayakan.

Dalam pendidikan vokasi keteknikan, pengembangan ide solusi perlu melatih mahasiswa berpikir divergen dan konvergen. Berpikir divergen berarti menghasilkan banyak alternatif ide tanpa terlalu cepat menolak kemungkinan. Berpikir konvergen berarti memilih ide terbaik berdasarkan kriteria yang jelas. Kedua cara berpikir ini penting. Jika mahasiswa langsung memilih satu solusi, kemungkinan solusi lain yang lebih baik dapat terlewat. Jika mahasiswa hanya mengumpulkan banyak ide tanpa seleksi, proses *problem solving* tidak menghasilkan tindakan yang jelas.

World Economic Forum (2025) menempatkan *analytical thinking* sebagai keterampilan inti teratas bagi pekerja, disertai keterampilan lain seperti resilience, flexibility, agility, leadership, social influence, *creative thinking*, motivation, dan self-awareness. Hal ini menunjukkan bahwa dunia kerja membutuhkan kemampuan berpikir analitis dan kreatif sekaligus. Dalam konteks buku ini, mahasiswa teknik tidak cukup hanya mampu menghitung atau mengikuti prosedur. Mahasiswa juga perlu mampu menghasilkan ide, membandingkan alternatif, dan menyesuaikan solusi dengan kondisi nyata.

Pengembangan ide solusi inovatif tidak dapat dilepaskan dari data. Data membantu menentukan apakah ide benar-benar menjawab masalah. Data juga membantu memperkirakan dampak solusi. Misalnya, sebelum mengubah layout bengkel, mahasiswa perlu mengetahui alur kerja, waktu tunggu, jarak perpindahan, dan risiko keselamatan. Sebelum mengusulkan sensor pada mesin, mahasiswa perlu mengetahui parameter yang perlu dipantau, frekuensi gangguan, biaya pemasangan, dan kemampuan pengguna membaca data. Tanpa data, ide mudah menjadi spekulasi.

Ide solusi juga perlu diuji dalam skala kecil sebelum diterapkan lebih luas. Uji awal dapat berupa simulasi, prototipe, perhitungan sederhana, model *spreadsheet*, sketsa CAD, mock-up, uji coba prosedur, atau implementasi terbatas pada satu lokasi. Uji awal membantu melihat

apakah ide bekerja, apa kendalanya, dan apa yang perlu diperbaiki. Dalam teknik terapan, uji coba sangat penting karena kondisi lapangan sering berbeda dari rencana awal.

Pengembangan solusi inovatif juga perlu memperhatikan risiko. Setiap solusi dapat membawa risiko baru. Penambahan alat dapat menambah kebutuhan perawatan. Perubahan layout dapat memengaruhi jalur evakuasi. Penggunaan sensor dapat menimbulkan risiko data dan keamanan siber. Penggantian material dapat memengaruhi mutu, umur pakai, dan ketersediaan. Oleh karena itu, setiap ide solusi perlu dievaluasi dari sisi manfaat dan risiko.

Dalam bab ini, solusi inovatif dipahami sebagai solusi yang memenuhi beberapa ciri. Pertama, solusi berangkat dari akar masalah yang jelas. Kedua, solusi menjawab kebutuhan pengguna. Ketiga, solusi dapat diterapkan dengan sumber daya yang tersedia. Keempat, solusi memiliki dasar data dan pertimbangan teknis. Kelima, solusi aman dan sesuai standar. Keenam, solusi memberi peningkatan dibandingkan kondisi sebelumnya. Ketujuh, solusi dapat dievaluasi setelah diterapkan. Tabel 41 menyajikan hubungan antara hasil analisis masalah dan pengembangan ide solusi inovatif.

Tabel 41. Hubungan Analisis Masalah dan Pengembangan Ide Solusi Inovatif

Dasar Pengembangan Solusi	Pertanyaan Panduan	Contoh dalam Kasus Teknik	Peran dalam Pengembangan Ide
Gejala masalah	Apa tanda bahwa kondisi tidak sesuai harapan?	Panel trip, mesin panas, saluran meluap, pekerjaan terlambat	Menunjukkan masalah awal yang perlu diselesaikan
Data lapangan	Data apa yang menjelaskan kondisi nyata?	Arus listrik, suhu mesin, kedalaman genangan, waktu downtime	Membantu memahami besaran dan pola masalah
Akar masalah	Penyebab utama apa yang sudah diverifikasi?	Beban tidak seimbang, jadwal perawatan tidak berjalan, inlet tersumbat	Menentukan arah solusi agar tidak hanya menutup gejala

Dasar Pengembangan Solusi	Pertanyaan Panduan	Contoh dalam Kasus Teknik	Peran dalam Pengembangan Ide
Kebutuhan pengguna	Apa yang dibutuhkan pengguna agar sistem bekerja lebih baik?	Aman, mudah digunakan, cepat diperiksa, biaya terjangkau	Menjaga solusi tetap relevan dengan konteks pemakai
Kriteria kinerja	Ukuran keberhasilan apa yang harus dicapai?	Suhu turun, getaran berkurang, downtime menurun, mutu stabil	Menjadi dasar seleksi dan evaluasi solusi
Batasan lapangan	Apa keterbatasan teknis, biaya, waktu, alat, dan kewenangan?	Ruang terbatas, anggaran kecil, alat ukur terbatas, akses sulit	Membantu memilih solusi yang realistis
Risiko solusi	Risiko apa yang mungkin muncul dari solusi?	Gangguan operasi, kesalahan penggunaan, biaya perawatan, risiko keselamatan	Mencegah solusi baru menciptakan masalah baru
Uji awal	Bagaimana ide diuji sebelum diterapkan luas?	Simulasi, prototipe, uji coba terbatas, perhitungan <i>spreadsheet</i>	Memastikan solusi bekerja sebelum implementasi penuh
Evaluasi hasil	Bagaimana keberhasilan solusi dibuktikan?	Data sebelum-sesudah, inspeksi ulang, umpan balik pengguna	Menentukan apakah solusi efektif dan perlu diperbaiki

Tabel 41 menunjukkan bahwa pengembangan ide solusi inovatif harus terhubung dengan tahapan *problem solving* sebelumnya. Ide tidak berdiri sendiri. Ide yang baik lahir dari gejala yang jelas, data yang relevan, akar masalah yang terverifikasi, kebutuhan pengguna, kriteria kinerja, batasan lapangan, dan penilaian risiko. Dengan demikian, inovasi dalam teknik terapan bukan hanya kegiatan kreatif, tetapi juga kegiatan analitis dan bertanggung jawab.

Bab ini membahas proses pengembangan ide solusi inovatif secara bertahap. Pembahasan dimulai dari cara membangun kreativitas berbasis masalah nyata. Selanjutnya, bab ini membahas teknik menghasilkan alternatif solusi, penggunaan kriteria seleksi ide, pengembangan

prototipe atau model awal, penilaian kelayakan solusi, serta penyusunan usulan solusi yang dapat diterapkan. Dengan alur tersebut, mahasiswa diharapkan mampu mengubah hasil analisis akar masalah menjadi gagasan perbaikan yang konkret.

Pengembangan ide solusi juga memerlukan kolaborasi. Masalah teknik jarang dapat diselesaikan oleh satu orang dengan satu sudut pandang. Operator memahami kondisi penggunaan. Teknisi memahami perawatan. Perencana memahami desain. Pengguna memahami kebutuhan. *Supervisor* memahami sumber daya dan batas operasional. Mahasiswa perlu belajar mendengarkan berbagai pihak agar ide solusi lebih lengkap. Kolaborasi membantu mengurangi risiko solusi yang hanya baik di atas kertas.

Dalam kegiatan pembelajaran, dosen dapat melatih mahasiswa melalui studi kasus. Mahasiswa diminta membawa satu masalah lapangan, menyajikan data dan akar masalah, lalu menghasilkan beberapa alternatif solusi. Setiap alternatif dinilai berdasarkan kriteria teknis, biaya, waktu, keselamatan, kemudahan penerapan, dan dampak terhadap pengguna. Setelah itu, mahasiswa memilih satu solusi untuk dikembangkan lebih lanjut. Latihan ini membantu mahasiswa memahami bahwa inovasi tidak hanya muncul dari ide bebas, tetapi dari proses berpikir yang terstruktur.

Pengembangan ide solusi inovatif juga harus memperhatikan keberlanjutan. Solusi tidak hanya dinilai dari keberhasilan jangka pendek. Solusi perlu dipertimbangkan dari sisi penggunaan material, efisiensi energi, kemudahan perawatan, umur pakai, dampak lingkungan, dan kemampuan pengguna mempertahankan solusi tersebut. Dalam pekerjaan teknik modern, inovasi yang baik harus memberi manfaat tanpa menimbulkan beban baru yang tidak terkendali.

Teknologi digital dapat membantu pengembangan ide. *Spreadsheet* dapat digunakan untuk menghitung skenario biaya dan waktu. CAD dan BIM dapat digunakan untuk membuat rancangan visual. Sensor dan IoT dapat digunakan untuk memantau efektivitas solusi. SIG dapat digunakan untuk menentukan lokasi prioritas. AI dapat digunakan untuk membantu merangkum data dan menyusun kemungkinan alternatif. *Dashboard* dapat digunakan untuk menyajikan hasil evaluasi. Namun,

semua teknologi tersebut tetap harus digunakan dengan validasi, etika, dan pertimbangan keselamatan.

Pada akhirnya, Bab 7 mengajak mahasiswa bergerak dari analisis menuju kreasi. *Problem solving* teknik tidak berhenti pada menemukan akar masalah. Akar masalah harus diubah menjadi solusi yang dapat diterapkan. Solusi yang inovatif lahir dari kemampuan membaca masalah secara benar, memahami pengguna, mengolah data, berpikir kreatif, menilai kelayakan, menguji ide, dan memperbaiki rancangan. Dengan kemampuan tersebut, mahasiswa vokasi keteknikan tidak hanya menjadi pelaksana prosedur, tetapi juga menjadi pengembang solusi yang adaptif, kritis, dan bertanggung jawab. Setelah mempelajari Bab 7, pembaca diharapkan mampu:

1. Menjelaskan makna solusi inovatif dalam *problem solving* teknik terapan.
2. Menghubungkan akar masalah yang terverifikasi dengan pengembangan ide solusi.
3. Menghasilkan beberapa alternatif solusi berdasarkan data, kebutuhan pengguna, dan kondisi lapangan.
4. Menerapkan cara berpikir kreatif dan analitis dalam memilih solusi.
5. Menilai kelayakan solusi dari aspek teknis, biaya, waktu, keselamatan, operasional, dan lingkungan.
6. Mengembangkan prototipe, model awal, simulasi, atau uji coba terbatas.
7. Menyusun usulan solusi yang dapat diterapkan dan dievaluasi.

Bab ini membahas pengembangan ide solusi inovatif dalam pekerjaan teknik terapan. Ruang lingkupnya mencakup kreativitas berbasis masalah nyata, teknik menghasilkan alternatif solusi, keterlibatan pengguna, kriteria seleksi ide, pengembangan prototipe atau model awal, penilaian kelayakan, pengujian solusi, perbaikan rancangan, dan penyusunan usulan solusi. Pembahasan diarahkan agar mahasiswa mampu menghasilkan solusi yang tidak hanya kreatif, tetapi juga berbasis data, layak diterapkan, aman, dan sesuai kebutuhan lapangan.

A. Prinsip Berpikir Kreatif dalam Konteks Teknik

Berpikir kreatif dalam konteks teknik adalah kemampuan menghasilkan gagasan baru, alternatif, atau cara perbaikan yang berguna untuk menyelesaikan masalah teknis. Kreativitas dalam teknik berbeda dari kreativitas bebas tanpa batas. Kreativitas teknik harus tetap mempertimbangkan data, standar, keselamatan, fungsi, biaya, waktu, sumber daya, dan kebutuhan pengguna. Oleh karena itu, berpikir kreatif dalam teknik bukan sekadar membuat ide yang unik, tetapi menghasilkan ide yang dapat diuji, diterapkan, dan memberi nilai perbaikan.

Dalam *problem solving* teknik terapan, berpikir kreatif diperlukan setelah masalah dipahami secara jelas. Mahasiswa perlu mengetahui gejala, data, akar masalah, kebutuhan pengguna, dan batasan lapangan sebelum mengembangkan ide. Tanpa pemahaman masalah, kreativitas dapat melenceng dari kebutuhan nyata. Ide yang tampak menarik dapat gagal karena tidak menjawab akar masalah, tidak sesuai kondisi lapangan, atau tidak dapat diterapkan oleh pengguna.

Berpikir kreatif juga tidak bertentangan dengan berpikir analitis. Keduanya saling melengkapi. Berpikir analitis membantu mahasiswa memahami data, menemukan pola, menilai penyebab, dan menentukan kriteria solusi. Berpikir kreatif membantu mahasiswa membuka kemungkinan baru, melihat masalah dari sudut pandang berbeda, dan menyusun alternatif solusi. World Economic Forum (2025) menempatkan *analytical thinking* sebagai keterampilan inti teratas yang dibutuhkan pekerja, dan *creative thinking* juga termasuk keterampilan inti penting. Hal ini menunjukkan bahwa dunia kerja teknik membutuhkan kemampuan menganalisis dan mencipta secara bersamaan.

Prinsip pertama dalam berpikir kreatif teknik adalah berangkat dari masalah nyata. Ide solusi harus lahir dari kondisi lapangan, bukan hanya dari keinginan menggunakan teknologi tertentu. Misalnya, jika masalah utama adalah genangan karena inlet saluran sering tertutup sampah, ide solusi dapat berupa desain penangkap sampah sederhana, jadwal inspeksi berbasis musim hujan, perubahan bentuk inlet, atau

sistem pelaporan cepat. Ide tersebut lebih relevan daripada langsung mengusulkan teknologi mahal yang tidak sesuai kebutuhan.

Prinsip kedua adalah memahami pengguna. Solusi teknik akan digunakan oleh manusia. Pengguna dapat berupa operator, teknisi, mahasiswa, dosen, pekerja lapangan, masyarakat, atau pengelola fasilitas. Jika solusi sulit digunakan, sulit dirawat, atau tidak sesuai kebiasaan kerja, solusi tersebut berisiko gagal. IDEO menekankan *design thinking* sebagai pendekatan untuk membantu tim menyelesaikan masalah kompleks melalui inovasi yang berpusat pada manusia, kreativitas, kolaborasi, dan dampak. Dalam konteks teknik, prinsip ini berarti ide solusi harus mempertimbangkan pengalaman, keterbatasan, keselamatan, dan kebutuhan pengguna.

Prinsip ketiga adalah menghasilkan beberapa alternatif. Mahasiswa tidak boleh berhenti pada ide pertama. Ide pertama sering kali merupakan solusi yang paling biasa atau paling cepat terpikir. Dengan menghasilkan beberapa alternatif, mahasiswa dapat membandingkan kelebihan dan kelemahan setiap ide. Misalnya, untuk mengatasi mesin yang sering panas, alternatif solusi dapat mencakup perbaikan ventilasi, revisi jadwal pelumasan, pemasangan indikator suhu, penyesuaian beban kerja, atau perubahan prosedur inspeksi awal. Alternatif tersebut kemudian dinilai berdasarkan data dan kriteria.

Prinsip keempat adalah menunda penilaian pada tahap awal. Saat sesi ideasi, mahasiswa perlu memberi ruang bagi berbagai kemungkinan. Ide yang pada awalnya tampak sederhana dapat berkembang menjadi solusi yang berguna. Namun, menunda penilaian bukan berarti menerima semua ide sebagai solusi akhir. Setelah ide terkumpul, penilaian tetap harus dilakukan menggunakan kriteria teknis, keselamatan, biaya, waktu, dan kelayakan penerapan.

Prinsip kelima adalah menggabungkan pengetahuan lintas bidang. Masalah teknik sering tidak berdiri pada satu disiplin. Masalah drainase dapat berkaitan dengan hidrologi, tata letak, kebiasaan pengguna, pemeliharaan, dan manajemen sampah. Masalah panel listrik dapat berkaitan dengan beban, instalasi, ventilasi, prosedur penambahan alat, dan keselamatan kerja. Masalah produktivitas

bengkel dapat berkaitan dengan layout, alat, manusia, metode, dan penjadwalan. Kreativitas teknik sering muncul dari kemampuan menghubungkan beberapa bidang pengetahuan.

Prinsip keenam adalah memanfaatkan batasan sebagai pemicu ide. Batasan tidak selalu menghambat kreativitas. Dalam pekerjaan teknik, batasan biaya, waktu, alat, ruang, material, dan kemampuan pengguna justru dapat mendorong lahirnya solusi sederhana yang efektif. Misalnya, keterbatasan anggaran dapat mendorong penggunaan alat bantu sederhana, perubahan prosedur, pemeliharaan preventif, atau pengaturan ulang layout. Solusi inovatif tidak selalu mahal. Solusi yang sederhana, aman, dan efektif sering lebih baik daripada solusi canggih tetapi sulit diterapkan.

Prinsip ketujuh adalah menjaga keterukuran ide. Ide solusi harus dapat diuji keberhasilannya. Mahasiswa perlu menentukan indikator kinerja sejak awal. Jika ide bertujuan mengurangi genangan, indikatornya dapat berupa kedalaman genangan, durasi genangan, jumlah titik genangan, atau waktu surut. Jika ide bertujuan mengurangi downtime mesin, indikatornya dapat berupa jumlah gangguan, durasi berhenti, suhu operasi, atau frekuensi perawatan. Ide yang tidak dapat diukur akan sulit dievaluasi.

Prinsip kedelapan adalah memperhatikan keselamatan. Dalam teknik, ide kreatif tidak boleh mengurangi keselamatan. Modifikasi alat, perubahan prosedur, penggunaan material alternatif, atau penambahan perangkat digital harus diperiksa risikonya. Solusi tidak boleh membuat pekerja lebih dekat dengan bahaya, menghilangkan pelindung, mengganggu jalur evakuasi, membebani sistem listrik, atau menurunkan mutu struktur. Kreativitas teknik harus berada dalam batas keselamatan dan standar yang berlaku.

Prinsip kesembilan adalah membuat ide dapat diuji dalam skala kecil. Sebelum diterapkan luas, ide dapat diuji melalui prototipe, simulasi, model *spreadsheet*, sketsa CAD, mock-up, uji coba terbatas, atau percobaan pada satu titik. Uji kecil membantu melihat apakah ide bekerja, apa kendalanya, dan data apa yang perlu dikumpulkan. Dalam teknik terapan, pengujian awal mengurangi risiko kesalahan saat implementasi penuh.

Prinsip kesepuluh adalah menerima iterasi. Ide solusi jarang langsung sempurna. Setelah diuji, ide dapat perlu diperbaiki. Iterasi berarti proses mencoba, mengevaluasi, memperbaiki, dan mencoba kembali. Prinsip ini penting karena kondisi lapangan sering berbeda dari asumsi awal. Solusi yang baik lahir dari proses belajar, bukan hanya dari rancangan pertama.

ISO 56002:2019 menjelaskan bahwa sistem manajemen inovasi memberikan panduan untuk membangun, menerapkan, memelihara, dan meningkatkan kemampuan inovasi organisasi secara berkelanjutan. Dalam konteks pembelajaran teknik, prinsip ini dapat diterapkan pada tingkat mahasiswa melalui proses sistematis: memahami masalah, menghasilkan ide, memilih ide, menguji ide, memperbaiki ide, dan mengevaluasi hasil. Dengan demikian, kreativitas tidak dipahami sebagai bakat semata, tetapi sebagai proses yang dapat dilatih.

OECD dan Eurostat dalam Oslo Manual 2018 menjelaskan inovasi sebagai produk atau proses baru atau yang ditingkatkan secara signifikan, yang berbeda dari kondisi sebelumnya dan digunakan atau tersedia bagi pengguna. Definisi ini membantu mahasiswa memahami bahwa solusi inovatif tidak harus berupa alat baru. Perbaikan prosedur, metode kerja, sistem pencatatan, layout, jadwal perawatan, atau cara menggunakan data juga dapat menjadi inovasi jika memberikan peningkatan nyata. Tabel 42 menyajikan prinsip berpikir kreatif dalam konteks teknik dan contoh penerapannya.

Tabel 42. Prinsip Berpikir Kreatif dalam Konteks Teknik

Prinsip Berpikir Kreatif	Makna dalam Konteks Teknik	Contoh Penerapan	Risiko Jika Diabaikan
Berangkat dari masalah nyata	Ide harus lahir dari gejala, data, dan akar masalah yang jelas	Mengembangkan desain penangkap sampah setelah data menunjukkan inlet drainase sering tersumbat	Ide tidak menjawab akar masalah dan hanya menjadi solusi kosmetik
Memahami pengguna	Solusi harus sesuai kebutuhan, kemampuan, dan	Membuat checklist perawatan mesin	Solusi sulit digunakan dan

Prinsip Berpikir Kreatif	Makna dalam Konteks Teknik	Contoh Penerapan	Risiko Jika Diabaikan
	kebiasaan pengguna	yang mudah dibaca teknisi	akhirnya tidak diterapkan
Menghasilkan beberapa alternatif	Tidak langsung memilih ide pertama	Membandingkan perbaikan ventilasi, pelumasan, dan pengaturan beban pada mesin panas	Solusi terbaik dapat terlewat
Menunda penilaian awal	Memberi ruang bagi banyak gagasan sebelum seleksi	Sesi ideasi kelompok tanpa langsung menolak ide sederhana	Diskusi menjadi sempit dan hanya mengulang solusi lama
Menggabungkan lintas bidang	Menghubungkan aspek teknis, manusia, biaya, keselamatan, dan lingkungan	Mengatasi keterlambatan proyek melalui perbaikan jadwal, material, komunikasi, dan alat	Solusi hanya menyentuh satu faktor dan kurang efektif
Memanfaatkan batasan	Mengubah keterbatasan menjadi pemicu solusi realistis	Menggunakan formulir digital sederhana karena belum tersedia sistem <i>monitoring</i> mahal	Solusi terlalu mahal atau tidak sesuai sumber daya
Menjaga keterukuran	Keberhasilan ide harus dapat dinilai dengan indikator	Mengukur penurunan downtime setelah jadwal perawatan diperbaiki	Solusi sulit dievaluasi karena tidak ada ukuran keberhasilan
Mengutamakan keselamatan	Ide tidak boleh menambah risiko kerja	Memastikan modifikasi layout tetap menjaga jalur evakuasi	Solusi baru dapat menciptakan bahaya
Menguji dalam skala kecil	Ide diuji melalui prototipe, simulasi, atau uji terbatas	Menguji satu titik inlet baru sebelum diterapkan pada seluruh saluran	Risiko kegagalan besar saat implementasi penuh
Melakukan iterasi	Ide diperbaiki berdasarkan hasil uji dan umpan balik	Merevisi desain alat bantu setelah pengguna memberi masukan	Solusi berhenti pada rancangan awal yang belum optimal

Tabel 42 menunjukkan bahwa berpikir kreatif dalam teknik harus tetap terarah. Kreativitas bukan kebebasan tanpa batas, melainkan kemampuan menghasilkan ide yang relevan, aman, terukur, dan dapat diuji. Mahasiswa perlu membiasakan diri menghubungkan ide dengan masalah, pengguna, batasan, dan bukti teknis.

Berpikir kreatif dapat dilatih melalui beberapa kegiatan. Kegiatan pertama adalah mengubah pertanyaan masalah. Pertanyaan yang terlalu sempit akan membatasi ide. Misalnya, pertanyaan “bagaimana mengganti pompa yang rusak” dapat diperluas menjadi “bagaimana memastikan sistem pemompaan kembali bekerja andal dengan sumber daya yang tersedia.” Pertanyaan kedua membuka kemungkinan perbaikan listrik, perawatan, jadwal operasi, ketersediaan suku cadang, atau pengaturan cadangan.

Kegiatan kedua adalah melihat masalah dari sudut pandang pengguna. Mahasiswa dapat bertanya kepada operator, teknisi, atau pengguna akhir tentang kesulitan yang mereka alami. Informasi pengguna sering membuka ide yang tidak terlihat dari data angka saja. Misalnya, data menunjukkan checklist perawatan tidak diisi. Wawancara dapat menunjukkan bahwa checklist terlalu panjang, disimpan jauh dari mesin, atau menggunakan istilah yang sulit dipahami. Ide solusi kemudian dapat diarahkan pada penyederhanaan checklist dan penempatan di lokasi kerja.

Kegiatan ketiga adalah menggunakan analogi. Analogi berarti mencari inspirasi dari sistem lain yang memiliki masalah serupa. Misalnya, konsep saringan pada saluran rumah tangga dapat menginspirasi desain penangkap sampah sederhana pada inlet drainase. Konsep lampu indikator kendaraan dapat menginspirasi indikator visual pada mesin praktik. Konsep rak alat di dapur dapat menginspirasi penataan alat bengkel berdasarkan frekuensi penggunaan. Analogi membantu mahasiswa melihat kemungkinan baru dari pengalaman sehari-hari.

Kegiatan keempat adalah memecah masalah menjadi bagian kecil. Masalah besar sering membuat mahasiswa sulit menghasilkan ide. Dengan memecah masalah, ide menjadi lebih mudah. Misalnya, masalah keterlambatan praktik dapat dipecah menjadi keterlambatan

pengambilan alat, waktu tunggu mesin, kesalahan ukuran, dan keterlambatan pemeriksaan. Setiap bagian dapat memiliki ide solusi berbeda. Gabungan ide kecil dapat menghasilkan perbaikan besar.

Kegiatan kelima adalah mengubah batasan menjadi kriteria. Jika anggaran terbatas, kriteria solusi adalah biaya rendah. Jika ruang sempit, kriteria solusi adalah hemat ruang. Jika pengguna tidak terbiasa teknologi, kriteria solusi adalah mudah digunakan. Dengan cara ini, batasan tidak hanya dilihat sebagai hambatan, tetapi menjadi panduan desain. Kriteria membantu ide tetap realistis.

Kegiatan keenam adalah membuat sketsa cepat. Sketsa tidak harus sempurna. Sketsa membantu mahasiswa menuangkan ide secara visual. Pada masalah layout bengkel, sketsa dapat menunjukkan posisi alat, jalur kerja, dan area penyimpanan. Pada masalah drainase, sketsa dapat menunjukkan arah aliran dan titik hambatan. Pada masalah alat bantu, sketsa dapat menunjukkan bentuk dan cara penggunaan. Sketsa membantu diskusi dan mempercepat umpan balik.

Kegiatan ketujuh adalah membuat prototipe sederhana. Prototipe dapat berupa model fisik, simulasi digital, *spreadsheet*, mock-up kardus, model CAD sederhana, atau uji prosedur. Prototipe membantu melihat apakah ide dapat bekerja. Dalam pendidikan vokasi, prototipe sederhana sangat bermanfaat karena mahasiswa dapat belajar dari percobaan langsung.

Kegiatan kedelapan adalah meminta umpan balik. Ide perlu diuji melalui tanggapan pengguna, dosen, teknisi, atau teman kelompok. Umpan balik dapat menunjukkan kekurangan yang belum terlihat. Misalnya, desain alat bantu mungkin aman secara perhitungan, tetapi sulit digunakan dengan sarung tangan. Jadwal inspeksi mungkin terlihat baik di atas kertas, tetapi tidak sesuai jam kerja teknisi. Umpan balik membantu memperbaiki ide sebelum diterapkan.

Kegiatan kesembilan adalah membandingkan ide dengan kriteria. Setelah beberapa ide muncul, mahasiswa perlu memilih. Pemilihan tidak boleh hanya berdasarkan selera. Kriteria dapat mencakup efektivitas, biaya, waktu, keselamatan, kemudahan penggunaan,

kebutuhan alat, dampak lingkungan, dan kemampuan pemeliharaan. Ide yang paling kreatif belum tentu paling layak. Ide yang paling sederhana kadang justru paling efektif.

Kegiatan kesepuluh adalah mencatat proses ideasi. Catatan proses membantu menunjukkan bagaimana ide berkembang. Catatan dapat berisi daftar ide, alasan pemilihan, data pendukung, masukan pengguna, hasil uji awal, dan revisi. Dokumentasi ini penting dalam laporan teknik karena menunjukkan bahwa solusi dipilih melalui proses yang dapat diperiksa.

Dalam konteks teknik, berpikir kreatif juga perlu menghindari beberapa kesalahan. Kesalahan pertama adalah langsung memilih solusi yang paling canggih. Teknologi canggih tidak selalu paling sesuai. Kesalahan kedua adalah mengabaikan pengguna. Solusi yang tidak digunakan tidak memberi manfaat. Kesalahan ketiga adalah mengabaikan keselamatan. Solusi tidak boleh menurunkan perlindungan kerja. Kesalahan keempat adalah tidak mengukur keberhasilan. Tanpa indikator, keberhasilan solusi hanya menjadi pendapat. Kesalahan kelima adalah tidak melakukan uji awal. Ide yang tidak diuji dapat gagal saat diterapkan.

Kesalahan lain adalah menganggap kreativitas hanya milik orang tertentu. Dalam teknik, kreativitas dapat dilatih melalui metode. Mahasiswa dapat belajar menghasilkan alternatif, membuat sketsa, melakukan *brainstorming*, menggunakan pertanyaan pemicu, membuat prototipe, dan melakukan iterasi. Dengan latihan, kemampuan kreatif dapat berkembang. Kreativitas bukan pengganti disiplin teknik, tetapi bagian dari disiplin teknik.

Berpikir kreatif juga harus memperhatikan etika. Mahasiswa tidak boleh mengambil ide orang lain tanpa pengakuan. Jika ide berasal dari diskusi kelompok, kontribusi kelompok harus diakui. Jika ide menggunakan desain, data, atau teknologi tertentu, sumbernya perlu disebutkan. Jika solusi akan diterapkan pada pengguna, keselamatan dan persetujuan pengguna perlu diperhatikan. Etika menjaga proses inovasi tetap bertanggung jawab.

Dalam pembelajaran vokasi, dosen dapat melatih berpikir kreatif melalui tugas terstruktur. Mahasiswa diminta memilih satu masalah lapangan, menjelaskan akar masalah, menyusun minimal lima alternatif solusi, memilih tiga alternatif yang paling layak, membuat sketsa atau model awal, meminta umpan balik pengguna, lalu memilih satu solusi untuk dikembangkan. Tugas seperti ini melatih kreativitas yang terhubung dengan data dan konteks nyata.

Contoh penerapan dapat dilihat pada kasus genangan area parkir. Akar masalah yang terverifikasi adalah inlet tertutup sedimentasi dan sampah pada musim hujan. Ide kreatif dapat mencakup desain saringan mudah angkat, jadwal inspeksi sebelum hujan besar, penanda visual pada inlet, formulir pelaporan cepat berbasis kode lokasi, atau perubahan kemiringan lokal di sekitar inlet. Ide-ide tersebut dapat dibandingkan berdasarkan biaya, kemudahan perawatan, efektivitas, dan risiko tersumbat ulang.

Pada kasus mesin praktik yang sering panas, akar masalah dapat berupa jadwal pelumasan tidak berjalan dan ventilasi ruang kurang baik. Ide kreatif dapat mencakup checklist pelumasan harian, label visual titik pelumasan, indikator suhu sederhana, penataan ulang posisi mesin agar ventilasi lebih baik, atau pelatihan singkat operator sebelum praktik. Ide tidak harus mahal. Ide yang memudahkan pengguna melakukan tindakan benar sering sangat efektif.

Pada kasus panel listrik sering trip, akar masalah dapat berupa penambahan beban tanpa pengendalian. Ide kreatif dapat mencakup formulir persetujuan penambahan alat, label kapasitas beban pada panel, *dashboard* sederhana pemakaian energi, pembagian ulang beban, atau prosedur inspeksi sebelum alat baru digunakan. Ide perlu diuji oleh teknisi kompeten karena pekerjaan listrik memiliki risiko keselamatan tinggi.

Pada kasus hasil uji laboratorium tidak konsisten, akar masalah dapat berupa prosedur persiapan sampel yang tidak seragam. Ide kreatif dapat mencakup checklist visual, video singkat prosedur, kode warna alat bantu, formulir pencatatan digital, atau area kerja khusus untuk persiapan sampel. Solusi ini tidak hanya memperbaiki teknis

pengujian, tetapi juga membantu pengguna mengikuti prosedur dengan lebih konsisten.

Berpikir kreatif dalam konteks teknik pada akhirnya bertujuan menghasilkan solusi yang lebih baik. Lebih baik dapat berarti lebih aman, lebih cepat, lebih murah, lebih mudah dirawat, lebih akurat, lebih ramah pengguna, lebih hemat energi, lebih tahan lama, atau lebih sesuai standar. Nilai “lebih baik” harus dijelaskan melalui kriteria. Tanpa kriteria, inovasi sulit dibedakan dari perubahan biasa.

Pada tahap berikutnya, ide-ide kreatif perlu diubah menjadi alternatif solusi yang dapat dibandingkan. Mahasiswa perlu menyusun beberapa alternatif, menjelaskan cara kerja setiap alternatif, menentukan sumber daya yang dibutuhkan, memperkirakan manfaat dan risiko, lalu memilih alternatif yang paling layak. Dengan demikian, berpikir kreatif menjadi dasar bagi proses pengembangan solusi inovatif yang lebih sistematis.

Berpikir kreatif dalam konteks teknik adalah kemampuan menghasilkan ide yang baru atau lebih baik untuk menyelesaikan masalah teknis secara aman, terukur, dan dapat diterapkan. Kreativitas teknik harus berangkat dari masalah nyata, memahami pengguna, menghasilkan beberapa alternatif, memanfaatkan batasan, menjaga keterukuran, memperhatikan keselamatan, menguji ide dalam skala kecil, dan melakukan iterasi. Berpikir kreatif tidak bertentangan dengan berpikir analitis. Keduanya saling melengkapi dalam menghasilkan solusi inovatif yang berbasis data dan sesuai kondisi lapangan.

B. *Design Thinking* untuk Masalah Keteknikan Terapan

Design thinking merupakan pendekatan pemecahan masalah yang menempatkan manusia, konteks, kreativitas, pengujian, dan iterasi sebagai bagian penting dalam pengembangan solusi. Dalam masalah keteknikan terapan, *design thinking* membantu mahasiswa memahami bahwa solusi teknik tidak hanya harus berfungsi secara teknis, tetapi juga harus sesuai dengan kebutuhan pengguna, mudah diterapkan, aman, dapat dirawat, dan mampu menyelesaikan masalah nyata di lapangan.

Design thinking sering digunakan untuk menghadapi masalah yang belum jelas, kompleks, melibatkan banyak pihak, dan memiliki banyak kemungkinan solusi. Masalah teknik terapan sering memiliki karakter seperti itu. Mesin yang sering panas, panel listrik yang sering trip, saluran drainase yang meluap, layout bengkel yang tidak efisien, hasil uji laboratorium yang tidak konsisten, dan keterlambatan pekerjaan bukan hanya masalah teknis tunggal. Masalah tersebut dapat melibatkan manusia, alat, bahan, metode, lingkungan, data, standar, dan sistem kerja.

Dalam konteks teknik, *design thinking* tidak menggantikan analisis teknik. *Design thinking* justru melengkapi analisis teknik dengan perhatian yang lebih kuat pada pengguna dan proses pengujian solusi. Analisis teknik membantu menghitung, mengukur, membandingkan standar, dan memverifikasi kelayakan teknis. *Design thinking* membantu memahami pengalaman pengguna, merumuskan kebutuhan, menghasilkan alternatif ide, membuat prototipe, dan menguji solusi secara bertahap. Keduanya perlu digunakan bersama agar solusi tidak hanya benar secara perhitungan, tetapi juga dapat digunakan dalam kondisi nyata.

Brown (2009) menjelaskan *design thinking* sebagai pendekatan yang menggabungkan kebutuhan manusia, kemungkinan teknologi, dan kelayakan bisnis atau organisasi. Dalam pendidikan vokasi keteknikan, prinsip ini dapat diterjemahkan menjadi tiga pertanyaan utama. Pertama, apakah solusi menjawab kebutuhan pengguna. Kedua, apakah solusi dapat dibuat atau diterapkan secara teknis. Ketiga, apakah solusi layak dari sisi biaya, waktu, sumber daya, keselamatan, dan pemeliharaan.

IDEO menempatkan *design thinking* sebagai cara untuk membantu tim menyelesaikan masalah kompleks melalui inovasi yang berpusat pada manusia, kreativitas, kolaborasi, dan dampak. Pendekatan ini relevan dengan *problem solving* teknik karena masalah lapangan jarang dapat diselesaikan hanya dengan melihat benda atau sistemnya. Mahasiswa juga perlu melihat siapa yang menggunakan sistem, bagaimana sistem digunakan, kesulitan apa yang dialami, dan kondisi apa yang membuat masalah berulang.

ISO 9241-210:2019 memberikan prinsip dan aktivitas desain berpusat pada manusia untuk sistem interaktif. Meskipun standar ini banyak digunakan dalam konteks sistem interaktif, prinsipnya relevan untuk pengembangan solusi teknik. Solusi teknik yang digunakan manusia perlu memperhatikan kebutuhan, keterbatasan, tugas, lingkungan penggunaan, dan umpan balik pengguna. Dengan demikian, *design thinking* membantu mahasiswa menghindari solusi yang terlalu berpusat pada alat, tetapi mengabaikan pengguna.

Design thinking umumnya terdiri atas beberapa tahap, yaitu memahami pengguna dan konteks, mendefinisikan masalah, menghasilkan ide, membuat prototipe, menguji solusi, dan melakukan perbaikan. Tahap-tahap ini tidak selalu berjalan lurus. Dalam praktik, mahasiswa dapat kembali ke tahap sebelumnya jika menemukan data baru. Misalnya, setelah prototipe diuji, mahasiswa dapat menemukan bahwa rumusan masalah perlu diperbaiki. Setelah wawancara pengguna, mahasiswa dapat menemukan bahwa solusi awal tidak sesuai kebiasaan kerja. Iterasi seperti ini merupakan ciri penting *design thinking*.

Tahap pertama adalah memahami pengguna dan konteks. Dalam tahap ini, mahasiswa mengamati kondisi lapangan, mewawancarai pengguna, mempelajari alur kerja, mencatat keluhan, dan memahami situasi penggunaan. Tujuannya bukan hanya mengetahui apa masalahnya, tetapi juga memahami bagaimana masalah dirasakan oleh pengguna. Misalnya, pada kasus alat laboratorium yang sering terlambat digunakan, mahasiswa tidak cukup hanya mencatat waktu tunggu. Mahasiswa perlu memahami bagaimana mahasiswa lain meminjam alat, di mana alat disimpan, siapa yang mengatur jadwal, dan apa kendala saat praktik berlangsung.

Tahap memahami pengguna perlu dilakukan secara objektif. Mahasiswa tidak boleh langsung menyalahkan pengguna. Jika operator tidak mengisi checklist, penyebabnya belum tentu karena tidak disiplin. Mungkin checklist terlalu panjang, formatnya sulit, lokasinya jauh dari mesin, atau tidak ada waktu khusus untuk mengisi. Jika teknisi tidak melakukan inspeksi rutin, mungkin jadwal tidak jelas, alat inspeksi tidak tersedia, atau tidak ada sistem pencatatan.

Pemahaman konteks membantu mahasiswa menemukan kebutuhan yang lebih tepat.

Tahap kedua adalah mendefinisikan masalah. Setelah memahami pengguna dan konteks, mahasiswa perlu merumuskan masalah secara lebih spesifik. Rumusan masalah dalam *design thinking* sebaiknya menggabungkan kebutuhan pengguna dan tantangan teknis. Contoh rumusan yang lemah adalah “bengkel tidak rapi.” Rumusan yang lebih kuat adalah “mahasiswa kesulitan menemukan alat ukur saat praktik karena alat tidak ditempatkan berdasarkan jenis pekerjaan dan tidak ada sistem pengembalian yang jelas.” Rumusan kedua lebih membantu pengembangan solusi.

Tahap mendefinisikan masalah juga perlu membedakan gejala dan akar masalah. *Design thinking* tidak boleh berhenti pada keluhan pengguna. Keluhan pengguna perlu dikaitkan dengan data lapangan dan analisis akar masalah. Misalnya, keluhan “saluran sering bau dan meluap” perlu diperiksa melalui kondisi saluran, sedimentasi, kemiringan, aliran, dan jadwal pembersihan. Dengan demikian, rumusan masalah menjadi lebih kuat dan tidak hanya berdasarkan persepsi.

Tahap ketiga adalah menghasilkan ide. Pada tahap ini, mahasiswa menghasilkan beberapa alternatif solusi. Ide dapat berupa perubahan prosedur, desain alat bantu, layout baru, sistem pencatatan, penggunaan sensor, *dashboard* sederhana, modifikasi komponen, perbaikan jadwal, atau pengembangan prototipe. Tujuan tahap ini adalah membuka kemungkinan, bukan langsung memilih satu solusi. Semakin beragam alternatif yang muncul, semakin besar peluang menemukan solusi yang sesuai.

Dalam menghasilkan ide, mahasiswa perlu menggunakan kriteria awal. Kriteria tersebut dapat mencakup keselamatan, efektivitas, biaya, kemudahan penggunaan, waktu penerapan, ketersediaan alat, perawatan, dan dampak lingkungan. Namun, kriteria tidak boleh digunakan terlalu cepat untuk mematikan ide. Pada tahap awal, ide dikumpulkan terlebih dahulu. Setelah itu, ide disaring berdasarkan kriteria teknis dan kelayakan.

Tahap keempat adalah membuat prototipe atau model awal. Prototipe adalah bentuk awal dari solusi yang dibuat untuk dipelajari, diuji, dan diperbaiki. Prototipe tidak harus selalu berupa produk fisik. Dalam teknik terapan, prototipe dapat berupa sketsa, model CAD, mock-up, *spreadsheet*, diagram alir prosedur, checklist baru, *dashboard* sederhana, formulir digital, model saluran kecil, atau simulasi sederhana. Tujuan prototipe adalah membuat ide dapat dilihat, dicoba, dan dikritik.

Prototipe yang baik tidak harus mahal. Untuk menguji layout bengkel, mahasiswa dapat membuat denah sederhana dan simulasi alur pergerakan. Untuk menguji checklist perawatan mesin, mahasiswa dapat membuat satu lembar checklist dan mencobanya pada satu mesin. Untuk menguji desain penangkap sampah pada inlet drainase, mahasiswa dapat membuat model sederhana pada satu titik. Prototipe membantu mengurangi risiko karena ide diuji sebelum diterapkan luas.

Tahap kelima adalah menguji solusi. Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah prototipe bekerja sesuai tujuan. Pengujian harus menggunakan indikator yang jelas. Jika solusi bertujuan mengurangi waktu mencari alat, ukur waktu sebelum dan sesudah penataan. Jika solusi bertujuan mengurangi suhu mesin, ukur suhu operasi sebelum dan sesudah tindakan. Jika solusi bertujuan mengurangi genangan, ukur kedalaman dan durasi genangan. Jika solusi bertujuan memperbaiki kepatuhan checklist, ukur tingkat pengisian dan kualitas catatan.

Pengujian juga harus melibatkan pengguna. Pengguna dapat memberi umpan balik tentang kemudahan penggunaan, kejelasan instruksi, keamanan, kenyamanan, dan hambatan penerapan. Dalam beberapa kasus, solusi yang baik secara teknis dapat gagal karena pengguna merasa terlalu rumit. Umpan balik pengguna membantu mahasiswa memperbaiki solusi agar lebih sesuai dengan praktik lapangan.

Tahap keenam adalah iterasi. Iterasi berarti memperbaiki solusi berdasarkan hasil uji dan umpan balik. Jika prototipe belum berhasil, mahasiswa tidak langsung menganggap ide gagal. Mahasiswa perlu melihat bagian mana yang perlu diperbaiki. Mungkin bentuk alat perlu diubah, instruksi perlu disederhanakan, posisi sensor perlu dipindah, jadwal inspeksi perlu disesuaikan, atau indikator *dashboard* perlu diperjelas. Iterasi membuat solusi berkembang secara bertahap. Tabel 43 menyajikan tahapan *design thinking* dalam masalah keteknikan terapan.

Tabel 43. Tahapan *Design Thinking* dalam Masalah Keteknikan Terapan

Tahap <i>Design Thinking</i>	Fokus Kegiatan	Pertanyaan Panduan	Contoh Penerapan Teknik
Memahami pengguna dan konteks	Observasi lapangan, wawancara, pencatatan alur kerja, dan pemahaman kebutuhan pengguna	Siapa pengguna solusi? Kesulitan apa yang mereka alami? Dalam kondisi apa masalah muncul?	Mengamati operator saat menggunakan mesin yang sering panas dan mencatat kebiasaan kerja
Mendefinisikan masalah	Merumuskan masalah berdasarkan data, kebutuhan pengguna, dan akar masalah	Masalah inti apa yang perlu diselesaikan? Akar masalah apa yang sudah diverifikasi?	Merumuskan bahwa mesin panas karena pelumasan tidak dilakukan sesuai jadwal dan checklist belum tersedia
Menghasilkan ide	Menyusun beberapa alternatif solusi tanpa langsung memilih satu	Solusi apa saja yang mungkin? Apakah ada solusi prosedural, teknis, digital, atau layout?	Mengusulkan checklist pelumasan, label titik pelumasan, indikator suhu, dan revisi jadwal inspeksi
Membuat prototipe	Membuat bentuk awal solusi agar dapat diuji	Bentuk paling sederhana apa yang dapat dibuat untuk mencoba ide?	Membuat checklist satu halaman dan label visual pada satu mesin praktik
Menguji solusi	Menguji prototipe dengan pengguna dan data teknis	Apakah solusi bekerja? Apa indikator keberhasilannya?	Mengukur tingkat pengisian checklist dan perubahan suhu operasi selama dua minggu

Tahap <i>Design Thinking</i>	Fokus Kegiatan	Pertanyaan Panduan	Contoh Penerapan Teknik
		Apa umpan balik pengguna?	
Melakukan iterasi	Memperbaiki solusi berdasarkan hasil uji	Bagian mana yang perlu diubah? Apakah solusi perlu disederhanakan atau diperkuat?	Menyederhanakan checklist, menambah kolom tanda tangan teknisi, dan memperjelas titik pelumasan
Menyusun penerapan	Merencanakan implementasi lebih luas	Siapa penanggung jawab? Kapan diterapkan? Data apa yang dipantau?	Menerapkan checklist pada semua mesin sejenis dan membuat jadwal evaluasi bulanan

Tabel 43 menunjukkan bahwa *design thinking* membantu mahasiswa mengubah masalah teknik menjadi solusi yang dapat diuji. Tahapannya dimulai dari pemahaman pengguna dan konteks, kemudian berlanjut ke perumusan masalah, ideasi, prototipe, pengujian, iterasi, dan penerapan. Alur ini membuat pengembangan solusi lebih terarah dan tidak berhenti pada gagasan abstrak.

Design thinking dapat diterapkan pada kasus drainase. Mahasiswa memulai dengan mengamati area genangan dan mewawancarai pengguna area parkir. Dari observasi, ditemukan bahwa genangan terjadi setelah hujan dan mengganggu akses pejalan kaki. Data lapangan menunjukkan inlet sering tertutup sampah dan sedimentasi. Rumusan masalah kemudian diarahkan pada kebutuhan menjaga inlet tetap berfungsi. Ide solusi dapat berupa desain saringan mudah angkat, jadwal inspeksi sebelum hujan, penanda visual pada titik inlet, atau formulir pelaporan cepat. Prototipe dapat diuji pada satu inlet terlebih dahulu.

Design thinking juga dapat diterapkan pada kasus mesin praktik yang sering panas. Mahasiswa mengamati penggunaan mesin, mencatat suhu operasi, dan mewawancarai pengguna. Dari data, ditemukan bahwa pelumasan tidak tercatat dan ventilasi kurang baik. Ide solusi dapat berupa checklist pelumasan, label titik pelumasan, indikator suhu sederhana, dan penataan ulang ruang di sekitar mesin.

Prototipe checklist diuji pada satu mesin. Setelah dua minggu, data suhu dan kepatuhan checklist dibandingkan dengan kondisi awal.

Pada kasus panel listrik, *design thinking* membantu mahasiswa memahami kebutuhan teknisi dan pengguna laboratorium. Jika panel sering trip setelah penambahan alat, masalah tidak cukup diselesaikan dengan mengganti komponen. Mahasiswa perlu memahami bagaimana alat baru disetujui, siapa yang memeriksa beban, bagaimana pengguna melaporkan kebutuhan, dan bagaimana teknisi mencatat perubahan. Ide solusi dapat berupa prosedur persetujuan penambahan beban, label kapasitas panel, formulir permintaan alat baru, dan *dashboard* penggunaan energi. Karena menyangkut listrik, pengujian teknis harus dilakukan oleh pihak kompeten.

Pada kasus layout bengkel, *design thinking* dapat membantu membaca pengalaman pengguna. Mahasiswa dapat mengamati alur pergerakan, waktu mencari alat, titik penumpukan, dan area tidak aman. Wawancara pengguna dapat menunjukkan bahwa alat sering tidak kembali ke tempat semula atau tempat penyimpanan terlalu jauh dari area kerja. Ide solusi dapat berupa penataan ulang rak, sistem kode warna, shadow board, jalur kerja satu arah, atau formulir peminjaman digital. Prototipe dapat dibuat pada satu zona bengkel sebelum diterapkan luas.

Dalam penerapan *design thinking*, mahasiswa perlu menghindari beberapa kesalahan. Kesalahan pertama adalah langsung masuk ke ide tanpa memahami pengguna. Kesalahan kedua adalah membuat solusi berdasarkan teknologi yang disukai, bukan berdasarkan kebutuhan. Kesalahan ketiga adalah membuat prototipe terlalu besar dan mahal sejak awal. Kesalahan keempat adalah menguji solusi tanpa indikator. Kesalahan kelima adalah mengabaikan umpan balik pengguna. Kesalahan keenam adalah tidak memperbaiki solusi setelah uji awal.

Design thinking juga harus menjaga keselamatan. Prototipe tidak boleh membahayakan pengguna atau merusak sistem. Modifikasi alat, perubahan instalasi, perubahan jalur kerja, atau pemasangan sensor harus mengikuti prosedur dan kewenangan yang berlaku. Jika pengujian berisiko, mahasiswa harus melibatkan dosen, teknisi, atau

pihak berwenang. Prinsip *design thinking* tidak boleh dijadikan alasan untuk melakukan eksperimen yang tidak aman.

Dalam pendidikan vokasi, *design thinking* dapat diajarkan melalui proyek kecil. Mahasiswa memilih satu masalah nyata di bengkel, laboratorium, studio, atau lapangan. Mahasiswa mengumpulkan data, memahami pengguna, merumuskan masalah, membuat beberapa ide, memilih satu ide untuk diprototipekan, menguji prototipe, dan menyusun rekomendasi. Proyek seperti ini melatih keterampilan teknis, komunikasi, kreativitas, dokumentasi, dan evaluasi.

Design thinking juga mendorong kolaborasi. Masalah teknik sering melibatkan banyak pemangku kepentingan. Pengguna memahami kebutuhan. Teknisi memahami kondisi alat. Dosen memahami tujuan pembelajaran. *Supervisor* memahami batas sumber daya. Mahasiswa dapat menggabungkan informasi dari berbagai pihak untuk membuat solusi lebih realistis. Kolaborasi membantu mencegah solusi yang hanya terlihat baik dari satu sudut pandang.

Dalam laporan *problem solving*, penerapan *design thinking* perlu ditulis secara runtut. Laporan dapat memuat hasil observasi pengguna, rumusan masalah, daftar alternatif ide, kriteria pemilihan, bentuk prototipe, hasil uji, umpan balik pengguna, revisi solusi, dan rekomendasi penerapan. Dengan struktur ini, pembaca dapat melihat bahwa solusi tidak muncul tiba-tiba, tetapi melalui proses yang dapat diperiksa.

Design thinking juga dapat dikombinasikan dengan teknologi digital. *Spreadsheet* dapat membantu menghitung biaya dan skenario. CAD dan BIM dapat membantu membuat prototipe visual. Sensor dan IoT dapat membantu menguji kondisi sebelum dan sesudah. SIG dapat membantu memilih lokasi prioritas. AI dapat membantu merangkum data dan menyusun daftar dugaan ide. *Dashboard* dapat membantu menyajikan hasil uji. Namun, seluruh alat digital tetap perlu digunakan dengan validasi dan etika data.

Dalam konteks inovasi, *design thinking* membantu menghubungkan kreativitas dengan implementasi. ISO 56002:2019 menekankan bahwa inovasi perlu dikelola melalui sistem dan proses

yang mendukung pengembangan serta penerapan gagasan. Dengan demikian, *design thinking* dapat menjadi salah satu pendekatan untuk mengelola proses tersebut pada tingkat proyek mahasiswa. Ide dikembangkan, diuji, diperbaiki, dan disiapkan untuk penerapan.

Keunggulan *design thinking* adalah kemampuannya menjaga solusi tetap dekat dengan pengguna dan konteks nyata. Dalam teknik, solusi yang terlalu teoritis sering sulit diterapkan. *Design thinking* mengurangi risiko tersebut melalui observasi, prototipe, uji, dan iterasi. Namun, *design thinking* juga memiliki batas. Pendekatan ini tidak boleh menggantikan perhitungan teknik, standar, dan verifikasi keselamatan. *Design thinking* perlu dilengkapi analisis teknis agar solusi benar-benar layak.

Pada akhirnya, *design thinking* membantu mahasiswa vokasi keteknikan mengembangkan solusi yang lebih manusiawi, realistis, dan dapat diuji. Pendekatan ini mengajarkan bahwa solusi teknik bukan hanya benda atau sistem, tetapi juga pengalaman penggunaan, cara kerja, prosedur, data, dan dampak terhadap manusia. Dengan *design thinking*, mahasiswa belajar mengembangkan solusi dari masalah nyata menuju prototipe, uji, perbaikan, dan penerapan yang bertanggung jawab.

Design thinking merupakan pendekatan pengembangan solusi yang berpusat pada manusia, konteks, kreativitas, prototipe, pengujian, dan iterasi. Dalam masalah keteknikan terapan, *design thinking* membantu mahasiswa memahami pengguna, merumuskan masalah secara tepat, menghasilkan alternatif solusi, membuat prototipe, menguji ide, dan memperbaiki solusi berdasarkan data serta umpan balik. Pendekatan ini tidak menggantikan analisis teknik, tetapi melengkapinya. Solusi yang dikembangkan melalui *design thinking* tetap harus diverifikasi melalui data lapangan, standar, keselamatan, dan kelayakan teknis.

C. Brainstorming Teknis dan Matriks Morfologi

Brainstorming teknis merupakan kegiatan menghasilkan berbagai ide solusi untuk masalah teknik secara terarah. Kegiatan ini berbeda dari diskusi bebas biasa karena *brainstorming* teknis harus berangkat

dari data, akar masalah, kebutuhan pengguna, batasan lapangan, dan kriteria teknis. Tujuannya bukan hanya menghasilkan banyak ide, tetapi menghasilkan alternatif solusi yang relevan, aman, dapat diuji, dan berpotensi diterapkan.

Dalam *problem solving* teknik terapan, *brainstorming* diperlukan ketika mahasiswa sudah memahami masalah dan membutuhkan beberapa kemungkinan solusi. *Brainstorming* membantu mahasiswa tidak terjebak pada satu ide pertama. Ide pertama sering kali berupa solusi yang paling umum, paling cepat terpikir, atau paling sering digunakan. Padahal, masalah teknik dapat memiliki beberapa jalan penyelesaian. Dengan *brainstorming*, mahasiswa dapat membuka kemungkinan solusi dari sisi alat, bahan, metode, manusia, lingkungan kerja, data, prosedur, dan teknologi digital.

Brainstorming teknis perlu dilakukan dengan aturan yang jelas. Aturan pertama adalah memahami masalah sebelum menghasilkan ide. Mahasiswa harus membaca kembali rumusan masalah, akar masalah, data lapangan, dan batasan pekerjaan. Aturan kedua adalah menunda penilaian pada tahap awal. Ide dikumpulkan terlebih dahulu sebelum dinilai. Aturan ketiga adalah mendorong kuantitas dan keragaman ide. Semakin banyak alternatif yang muncul, semakin besar peluang menemukan solusi yang layak. Aturan keempat adalah membangun ide dari ide lain. Satu ide sederhana dapat dikembangkan menjadi solusi yang lebih baik melalui diskusi kelompok.

Aturan kelima adalah menjaga keselamatan dan etika. Dalam *brainstorming* teknik, ide yang berpotensi membahayakan pengguna, melanggar prosedur, atau merusak sistem tidak boleh langsung diterapkan. Ide tetap boleh dicatat sebagai bahan diskusi, tetapi harus melewati seleksi keselamatan. Aturan keenam adalah mencatat semua ide secara tertib. Ide yang tidak dicatat akan mudah hilang. Catatan ide juga membantu dosen menilai proses berpikir mahasiswa.

Brainstorming teknis dapat dilakukan secara individu atau kelompok. *Brainstorming* individu membantu mahasiswa berpikir mandiri sebelum terpengaruh pendapat orang lain. *Brainstorming* kelompok membantu memperkaya ide melalui sudut pandang berbeda. Dalam kegiatan pembelajaran, kombinasi keduanya lebih

baik. Mahasiswa dapat diminta menulis ide secara mandiri terlebih dahulu, lalu berdiskusi dalam kelompok untuk menggabungkan, memperjelas, dan mengembangkan ide.

Dalam *brainstorming* teknis, pertanyaan pemicu sangat membantu. Misalnya, “bagaimana solusi ini dibuat lebih murah”, “bagaimana solusi ini dibuat lebih aman”, “bagaimana solusi ini dibuat lebih mudah dirawat”, “bagaimana jika alat yang tersedia terbatas”, “bagaimana jika solusi harus diterapkan dalam satu minggu”, atau “bagaimana jika pengguna tidak terbiasa teknologi digital.” Pertanyaan seperti ini membantu mahasiswa menghasilkan ide yang lebih realistis.

Brainstorming juga dapat menggunakan kategori teknis. Kategori yang sering digunakan adalah manusia, alat, bahan, metode, lingkungan, pengukuran, data, biaya, waktu, dan keselamatan. Misalnya, untuk masalah mesin panas, ide dari kategori manusia dapat berupa pelatihan operator. Ide dari kategori alat dapat berupa perbaikan ventilasi. Ide dari kategori metode dapat berupa revisi jadwal pelumasan. Ide dari kategori data dapat berupa pencatatan suhu harian. Dengan kategori tersebut, ide menjadi lebih beragam.

Setelah ide terkumpul, mahasiswa perlu menata ide agar dapat dibandingkan. Salah satu alat yang berguna adalah matriks morfologi. Matriks morfologi merupakan alat untuk menghasilkan kombinasi solusi berdasarkan fungsi atau komponen penyelesaian masalah. Pendekatan morfologi dikaitkan dengan Zwicky, yang mengembangkan analisis morfologi untuk mengeksplorasi berbagai kemungkinan pemecahan masalah kompleks. Dalam konteks teknik terapan, matriks morfologi membantu mahasiswa menyusun alternatif solusi secara lebih sistematis.

Matriks morfologi dibuat dengan cara memecah masalah menjadi beberapa fungsi utama atau aspek solusi. Setiap fungsi kemudian diberi beberapa pilihan. Kombinasi dari pilihan-pilihan tersebut dapat membentuk alternatif solusi. Misalnya, pada masalah genangan, fungsi solusi dapat meliputi pencegahan sampah masuk saluran, peningkatan kapasitas aliran, pemantauan kondisi saluran, dan

pelaporan kerusakan. Setiap fungsi memiliki beberapa pilihan solusi. Mahasiswa kemudian dapat memilih kombinasi yang paling layak.

Matriks morfologi membantu mahasiswa menghindari ide yang terlalu sempit. Tanpa matriks, mahasiswa mungkin hanya mengusulkan satu tindakan, seperti “membersihkan saluran.” Dengan matriks, mahasiswa dapat melihat bahwa solusi dapat berupa kombinasi desain inlet, jadwal perawatan, sistem pelaporan, pemetaan titik genangan, dan edukasi pengguna. Kombinasi tersebut dapat menghasilkan solusi yang lebih kuat daripada satu tindakan tunggal. Tabel 44 menyajikan contoh penggunaan *brainstorming* teknis dan matriks morfologi pada kasus genangan drainase di area parkir.

Tabel 44. Contoh *Brainstorming* Teknis dan Matriks Morfologi untuk Kasus Genangan Drainase

Fungsi Solusi	Pilihan 1	Pilihan 2	Pilihan 3	Pilihan 4
Mengurangi sampah masuk ke inlet	Saringan sederhana pada inlet	Penangkap sampah mudah angkat	Penutup berlubang dengan jarak lubang tertentu	Edukasi pengguna melalui tanda visual
Mempercepat aliran air	Pembersihan sedimentasi berkala	Perbaikan kemiringan lokal	Penambahan inlet pada titik rendah	Pelebaran saluran pada segmen kritis
Memantau kondisi saluran	Inspeksi manual mingguan	Formulir digital inspeksi	Foto berkala setelah hujan	Sensor tinggi muka air pada titik prioritas
Memudahkan pelaporan	Buku catatan petugas	Kode lokasi pada inlet	Formulir pelaporan berbasis QR	Grup pelaporan internal pengelola
Mengurangi risiko tersumbat ulang	Jadwal pembersihan sebelum musim hujan	Desain saringan mudah dibuka	Tempat sampah tambahan dekat area parkir	Pemeriksaan setelah hujan lebat
Menilai keberhasilan solusi	Pengukuran kedalaman genangan	Pengukuran durasi surut	Foto sebelum dan sesudah	Peta titik genangan berkala

Tabel 44 menunjukkan bahwa matriks morfologi membantu mahasiswa menghasilkan beberapa kombinasi solusi. Misalnya, alternatif pertama dapat berupa saringan sederhana, pembersihan berkala, inspeksi manual, dan pengukuran kedalaman genangan. Alternatif kedua dapat berupa penangkap sampah mudah angkat, kode lokasi inlet, formulir digital, dan foto berkala. Alternatif ketiga dapat berupa penambahan inlet pada titik rendah, sensor tinggi muka air, dan peta titik genangan. Setiap alternatif kemudian dinilai berdasarkan biaya, keselamatan, waktu, kemudahan perawatan, dan efektivitas.

Matriks morfologi tidak langsung menentukan solusi terbaik. Matriks hanya membantu menghasilkan kombinasi alternatif. Setelah alternatif terbentuk, mahasiswa harus menilai kelayakan setiap kombinasi. Kombinasi yang terlalu mahal, terlalu rumit, atau tidak sesuai kondisi lapangan dapat disingkirkan. Kombinasi yang lebih sederhana, aman, dan mudah diterapkan dapat dipilih untuk diuji.

Dalam kasus mesin panas, matriks morfologi dapat memuat fungsi seperti mengurangi panas, memperbaiki pelumasan, memantau suhu, membatasi beban, dan meningkatkan kepatuhan operator. Pilihannya dapat berupa perbaikan ventilasi, jadwal pelumasan, label titik pelumasan, indikator suhu, pembatasan durasi operasi, dan checklist sebelum penggunaan. Dari kombinasi tersebut, mahasiswa dapat menyusun beberapa alternatif solusi yang berbeda tingkat biaya dan kompleksitasnya.

Dalam kasus panel listrik sering trip, matriks morfologi dapat memuat fungsi seperti mengendalikan beban, memantau arus, mengatur prosedur penambahan alat, memberi peringatan, dan mendokumentasikan perubahan instalasi. Pilihannya dapat berupa pembagian ulang beban, pemasangan meter digital, formulir persetujuan alat baru, label kapasitas panel, dan log perubahan beban. Karena menyangkut kelistrikan, setiap ide harus dinilai oleh pihak kompeten dan mengikuti standar keselamatan.

Dalam kasus layout bengkel, matriks morfologi dapat memuat fungsi seperti mengurangi waktu mencari alat, memperbaiki alur pergerakan, meningkatkan keselamatan, mengurangi penumpukan

material, dan mempercepat pengembalian alat. Pilihannya dapat berupa shadow board, kode warna, rak dekat titik kerja, jalur satu arah, tanda area aman, dan formulir peminjaman digital. Alternatif solusi dapat diuji pada satu area terlebih dahulu.

Dalam kegiatan *brainstorming*, mahasiswa perlu menghindari dominasi satu orang. Jika satu anggota kelompok terlalu dominan, ide dari anggota lain dapat terhambat. Dosen dapat mengatur sesi dengan metode menulis ide secara diam-diam, kemudian mengumpulkan ide dalam papan tulis atau dokumen bersama. Setelah itu, kelompok menggabungkan ide yang sama dan mengembangkan ide yang menjanjikan.

Mahasiswa juga perlu menghindari kritik terlalu awal. Kritik diperlukan pada tahap seleksi, tetapi tidak pada tahap awal ideasi. Jika ide langsung dikritik, anggota kelompok menjadi ragu menyampaikan gagasan. Namun, setelah ide terkumpul, kritik teknis harus dilakukan secara serius. Kriteria seperti keselamatan, standar, biaya, waktu, sumber daya, dan dampak lingkungan perlu digunakan.

Hasil *brainstorming* dan matriks morfologi harus didokumentasikan. Dokumentasi dapat memuat rumusan masalah, peserta *brainstorming*, tanggal, daftar ide, kategori ide, matriks morfologi, alternatif kombinasi, dan alasan seleksi awal. Dokumentasi ini penting agar proses pengembangan solusi dapat ditelusuri. Dalam laporan teknik, pembaca perlu melihat mengapa suatu solusi dipilih dan mengapa alternatif lain tidak dipilih.

Brainstorming teknis dan matriks morfologi juga dapat dikombinasikan dengan metode lain. Diagram sebab akibat membantu mengidentifikasi faktor penyebab. Pareto membantu menentukan penyebab dominan. *Design thinking* membantu memahami pengguna. *Spreadsheet* membantu membandingkan biaya dan skenario. CAD dapat membantu membuat sketsa alternatif. Dengan kombinasi tersebut, pengembangan solusi menjadi lebih kuat.

Pada akhirnya, *brainstorming* teknis dan matriks morfologi membantu mahasiswa berpikir kreatif secara sistematis. *Brainstorming* membuka banyak kemungkinan. Matriks morfologi

menata kemungkinan tersebut menjadi kombinasi alternatif solusi. Keduanya membantu mahasiswa bergerak dari ide umum menuju alternatif yang dapat dinilai, diuji, dan dikembangkan lebih lanjut.

Brainstorming teknis digunakan untuk menghasilkan berbagai ide solusi berdasarkan masalah nyata, data, akar masalah, kebutuhan pengguna, dan batasan lapangan. Kegiatan ini perlu dilakukan secara terarah, tertib, dan tetap memperhatikan keselamatan. Matriks morfologi membantu menyusun kombinasi solusi berdasarkan fungsi atau komponen penyelesaian masalah. Dengan matriks morfologi, mahasiswa dapat mengembangkan beberapa alternatif solusi yang lebih sistematis sebelum memilih solusi terbaik.

D. Benchmarking Terhadap Praktik Industri

Benchmarking adalah proses membandingkan kinerja, proses, metode, produk, atau layanan dengan praktik yang dianggap unggul. Dalam *problem solving* teknik terapan, *benchmarking* membantu mahasiswa melihat bagaimana industri, organisasi, atau unit kerja lain menyelesaikan masalah serupa. Tujuannya bukan menyalin secara langsung, tetapi belajar dari praktik yang lebih baik, kemudian menyesuaikannya dengan konteks lokal.

Benchmarking penting karena masalah teknik tidak selalu harus diselesaikan dari nol. Banyak industri telah mengembangkan praktik baik untuk pemeliharaan mesin, keselamatan kerja, pengendalian mutu, manajemen energi, tata letak fasilitas, inspeksi aset, pengelolaan data, dan pengendalian proyek. Mahasiswa dapat mempelajari praktik tersebut sebagai referensi. Namun, setiap praktik harus disesuaikan dengan kondisi lapangan, sumber daya, standar, dan kemampuan pengguna.

ASQ menjelaskan *benchmarking* sebagai proses mengukur produk, layanan, dan proses terhadap organisasi yang dikenal unggul pada satu atau lebih aspek operasi. APQC juga menjelaskan *benchmarking* sebagai pembandingan proses, produk, atau metrik kinerja terhadap praktik terbaik industri, standar yang diakui, atau pesaing unggul. Dalam konteks pendidikan vokasi, pengertian ini dapat diterapkan secara sederhana melalui pembandingan prosedur,

indikator, desain kerja, atau sistem pencatatan dengan praktik yang terbukti lebih baik.

Benchmarking dapat dilakukan dalam beberapa bentuk. Bentuk pertama adalah *benchmarking* internal, yaitu membandingkan praktik antar unit dalam organisasi yang sama. Misalnya, satu laboratorium memiliki sistem peminjaman alat yang lebih rapi daripada laboratorium lain. Mahasiswa dapat mempelajari prosedur tersebut dan menyesuaikannya. Bentuk kedua adalah *benchmarking* kompetitif, yaitu membandingkan dengan organisasi sejenis. Bentuk ini sering lebih sulit karena data dapat bersifat rahasia.

Bentuk ketiga adalah *benchmarking* fungsional, yaitu membandingkan fungsi yang sama pada bidang berbeda. Misalnya, sistem pemeliharaan mesin di bengkel dapat belajar dari sistem pemeliharaan kendaraan. Sistem pengembalian alat praktik dapat belajar dari sistem inventori gudang. Bentuk keempat adalah *benchmarking* generik, yaitu mempelajari prinsip umum dari proses unggul, seperti pengendalian visual, 5S, checklist, *dashboard*, atau sistem pelaporan. Bentuk kelima adalah *benchmarking* berbasis standar, yaitu membandingkan praktik dengan persyaratan atau panduan standar yang relevan.

Benchmarking terhadap praktik industri harus dilakukan secara etis. Mahasiswa tidak boleh mengambil dokumen internal, foto fasilitas, data produksi, atau informasi rahasia tanpa izin. Jika menggunakan contoh dari industri, identitas organisasi dapat disamarkan. Data yang digunakan harus berasal dari sumber yang sah, observasi berizin, literatur, standar, publikasi, atau studi kasus yang boleh digunakan. *Benchmarking* tidak boleh menjadi kegiatan menyalin desain atau melanggar hak kekayaan intelektual.

1. Tahap pertama *benchmarking* adalah menentukan objek perbandingan. Objek harus jelas. Misalnya, prosedur perawatan mesin, sistem inspeksi saluran, layout bengkel, *dashboard* mutu, metode pencatatan gangguan, atau sistem pengendalian material. Objek yang terlalu luas akan sulit dibandingkan. Objek yang spesifik membuat *benchmarking* lebih terarah.

2. Tahap kedua adalah menentukan indikator pembandingan. Indikator dapat berupa waktu, biaya, jumlah cacat, downtime, waktu mencari alat, frekuensi kerusakan, konsumsi energi, tingkat kepatuhan prosedur, jumlah temuan keselamatan, atau kepuasan pengguna. Indikator harus dapat diamati atau diukur. Tanpa indikator, *benchmarking* hanya menjadi cerita umum.
3. Tahap ketiga adalah memilih sumber pembandingan. Sumber pembandingan dapat berupa praktik industri, standar, pedoman teknis, publikasi lembaga profesi, studi kasus, kunjungan industri, wawancara berizin, atau praktik internal yang lebih baik. Sumber harus kredibel dan relevan. Praktik dari industri besar belum tentu cocok untuk bengkel kecil. Praktik dari proyek besar perlu disesuaikan sebelum diterapkan pada laboratorium pembelajaran.
4. Tahap keempat adalah mengumpulkan data pembandingan. Data dapat berupa alur proses, formulir, indikator kinerja, foto berizin, tata letak, checklist, jadwal pemeliharaan, prosedur inspeksi, atau cara pelaporan. Data perlu dicatat secara sistematis. Mahasiswa perlu membedakan antara fakta, interpretasi, dan rekomendasi. Fakta adalah informasi yang diamati. Interpretasi adalah makna yang diberikan. Rekomendasi adalah tindakan yang diusulkan.
5. Tahap kelima adalah menganalisis kesenjangan. Kesenjangan menunjukkan perbedaan antara kondisi saat ini dan praktik pembandingan. Misalnya, kondisi saat ini belum memiliki checklist perawatan, sedangkan praktik pembandingan memiliki checklist harian, mingguan, dan bulanan. Kondisi saat ini tidak mencatat downtime, sedangkan praktik pembandingan mencatat waktu gangguan dan penyebab. Analisis kesenjangan membantu menentukan aspek yang perlu diperbaiki.
6. Tahap keenam adalah menyesuaikan praktik. Praktik industri tidak boleh disalin begitu saja. Mahasiswa perlu menyesuaikan dengan alat yang tersedia, keterampilan pengguna, biaya, waktu, keselamatan, dan budaya kerja. Misalnya, sistem *dashboard* industri yang kompleks dapat disederhanakan menjadi *spreadsheet* dan grafik mingguan. Sistem kode batang dapat disederhanakan menjadi kode QR atau label visual. Penyesuaian membuat solusi lebih realistis.

7. Tahap ketujuh adalah menguji hasil adaptasi. Praktik hasil *benchmarking* perlu diuji dalam skala kecil. Misalnya, checklist perawatan diuji pada satu mesin. Sistem penataan alat diuji pada satu rak. Formulir digital diuji pada satu kelas praktikum. Setelah diuji, data hasil dan umpan balik pengguna digunakan untuk memperbaiki solusi.

Contoh penerapan *benchmarking* dapat dilihat pada sistem perawatan mesin. Kondisi awal di laboratorium menunjukkan bahwa perawatan dilakukan ketika mesin sudah bermasalah. Dari praktik industri, mahasiswa mempelajari bahwa perawatan dilakukan berdasarkan jadwal, checklist, dan log gangguan. Mahasiswa kemudian mengadaptasi praktik tersebut menjadi checklist sederhana, label titik pelumasan, dan catatan downtime. Hasil adaptasi diuji pada satu mesin sebelum diterapkan ke mesin lain.

Pada kasus pengelolaan alat bengkel, *benchmarking* dapat dilakukan dengan mempelajari praktik 5S, pengendalian visual, atau sistem inventori sederhana. Jika industri menggunakan sistem barcode lengkap, laboratorium dapat mengadaptasinya menjadi label kode alat dan papan bayangan. Tujuannya bukan meniru sistem mahal, tetapi mengambil prinsipnya, yaitu alat memiliki tempat jelas, mudah ditemukan, dan mudah diperiksa.

Pada kasus keselamatan kerja, *benchmarking* dapat dilakukan terhadap praktik pelaporan bahaya atau near miss. Industri yang baik biasanya memiliki sistem pelaporan kondisi tidak aman. Dalam pembelajaran, sistem tersebut dapat disederhanakan menjadi formulir temuan bahaya, peta titik risiko, dan status tindakan perbaikan. Dengan cara ini, mahasiswa belajar bahwa praktik industri dapat diterjemahkan menjadi alat pembelajaran yang relevan.

Pada kasus manajemen energi, *benchmarking* dapat dilakukan dengan membandingkan konsumsi energi, pola beban, atau prosedur penggunaan alat. Industri dapat memiliki sistem *monitoring* energi. Laboratorium dapat mengadaptasi prinsipnya melalui pencatatan penggunaan alat, jadwal operasi, atau *dashboard* energi sederhana. Solusi tidak harus sama, tetapi tujuannya sama, yaitu mengurangi pemborosan energi.

Benchmarking juga dapat dilakukan terhadap standar. Misalnya, jika mahasiswa menyusun solusi untuk manajemen inovasi, ISO 56002 dapat dijadikan rujukan proses inovasi. Jika menyusun solusi berbasis sumber daya berkelanjutan, ISO 59004 dapat dijadikan rujukan prinsip ekonomi sirkular. Jika menyusun *dashboard* data, prinsip desain berpusat pada pengguna dan kualitas data dapat dijadikan pembandingan. *Benchmarking* berbasis standar membantu menjaga solusi tidak hanya berdasarkan pendapat.

Dalam *benchmarking*, mahasiswa perlu menghindari kesalahan. Kesalahan pertama adalah menyalin praktik industri tanpa memahami konteks. Praktik yang berhasil di satu tempat belum tentu berhasil di tempat lain. Kesalahan kedua adalah hanya melihat alat, bukan proses. Misalnya, industri menggunakan *dashboard* bukan karena *dashboard* itu sendiri, tetapi karena memiliki data yang rapi dan indikator yang jelas. Kesalahan ketiga adalah hanya membandingkan hasil, tanpa mempelajari cara mencapainya. Kesalahan keempat adalah mengabaikan etika data.

Kesalahan kelima adalah memilih benchmark yang terlalu tinggi tanpa strategi adaptasi. Praktik industri besar dapat menggunakan sistem mahal dan tenaga ahli khusus. Jika langsung ditiru, solusi tidak realistis. Mahasiswa perlu mengambil prinsip utama dan menyederhanakannya sesuai sumber daya. Kesalahan keenam adalah tidak mengukur hasil setelah adaptasi. *Benchmarking* harus menghasilkan perbaikan yang dapat dievaluasi, bukan hanya referensi dalam laporan.

Benchmarking juga harus memperhatikan budaya kerja. Praktik yang baik membutuhkan kebiasaan, disiplin, dan dukungan pengguna. Checklist yang baik tidak berguna jika tidak diisi. *Dashboard* tidak berguna jika data tidak diperbarui. Label alat tidak berguna jika alat tidak dikembalikan. Oleh karena itu, hasil *benchmarking* perlu dilengkapi prosedur, pelatihan, dan tanggung jawab pengguna.

Dalam laporan *problem solving*, bagian *benchmarking* dapat ditulis dengan struktur sederhana. Pertama, jelaskan objek yang dibandingkan. Kedua, jelaskan kondisi saat ini. Ketiga, jelaskan

sumber praktik pembandingan. Keempat, jelaskan indikator pembandingan. Kelima, jelaskan kesenjangan. Keenam, jelaskan adaptasi solusi. Ketujuh, jelaskan hasil uji atau rencana uji. Kedelapan, jelaskan keterbatasan dan etika penggunaan data.

Pada akhirnya, *benchmarking* terhadap praktik industri membantu mahasiswa mengembangkan solusi yang lebih matang. Mahasiswa tidak hanya mengandalkan ide sendiri, tetapi belajar dari praktik yang sudah terbukti. Namun, *benchmarking* harus dilakukan secara kritis. Praktik industri perlu dipahami, dibandingkan, disesuaikan, diuji, dan dievaluasi. Dengan demikian, *benchmarking* menjadi alat pembelajaran dan pengembangan solusi, bukan sekadar kegiatan meniru.

Benchmarking adalah proses membandingkan proses, kinerja, metode, atau produk dengan praktik yang dianggap unggul. Dalam *problem solving* teknik, *benchmarking* membantu mahasiswa belajar dari praktik industri, standar, atau unit kerja lain. *Benchmarking* dapat bersifat internal, kompetitif, fungsional, generik, atau berbasis standar. Prosesnya meliputi penentuan objek, indikator, sumber pembandingan, pengumpulan data, analisis kesenjangan, adaptasi lokal, uji awal, dan evaluasi. *Benchmarking* harus dilakukan secara etis dan tidak boleh menyalin praktik tanpa memahami konteks.

E. Penyusunan Alternatif Solusi yang Hemat Sumber Daya

Alternatif solusi yang hemat sumber daya adalah solusi yang mampu menyelesaikan masalah dengan penggunaan material, energi, waktu, biaya, tenaga kerja, alat, ruang, dan data secara efisien. Dalam *problem solving* teknik terapan, hemat sumber daya tidak berarti memilih solusi paling murah tanpa mempertimbangkan mutu dan keselamatan. Hemat sumber daya berarti menggunakan sumber daya secara tepat, mengurangi pemborosan, mempertahankan fungsi, dan tetap memenuhi kriteria teknis.

Penyusunan alternatif hemat sumber daya penting karena pekerjaan teknik selalu berada dalam batasan. Anggaran terbatas, waktu terbatas, alat terbatas, material tidak selalu tersedia, dan tenaga kerja memiliki kapasitas tertentu. Jika solusi tidak memperhatikan

batasan tersebut, solusi sulit diterapkan. Sebaliknya, solusi yang hemat sumber daya lebih mudah diterima, lebih cepat diuji, dan lebih mungkin dipertahankan setelah proyek selesai.

Konsep hemat sumber daya juga berkaitan dengan keberlanjutan. ISO 59004:2024 tentang ekonomi sirkular memberikan kosakata, prinsip, dan panduan untuk membantu organisasi berkontribusi pada ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan. Dalam konteks teknik terapan, prinsip ini dapat diterjemahkan menjadi upaya mengurangi pemborosan material, memperpanjang umur pakai komponen, memperbaiki sebelum mengganti, menggunakan kembali sumber daya yang masih layak, dan merancang solusi yang mudah dirawat.

Alternatif hemat sumber daya dapat muncul dalam beberapa bentuk. Bentuk pertama adalah perbaikan prosedur. Misalnya, membuat checklist perawatan untuk mencegah kerusakan mesin. Bentuk kedua adalah perbaikan layout. Misalnya, menata ulang alat agar waktu mencari berkurang. Bentuk ketiga adalah penggunaan alat bantu sederhana. Misalnya, membuat penanda visual untuk kapasitas rak atau titik inspeksi. Bentuk keempat adalah penggunaan data. Misalnya, membuat *dashboard* sederhana untuk memantau downtime. Bentuk kelima adalah modifikasi kecil. Misalnya, memperbaiki posisi inlet atau membuat saringan mudah angkat.

Dalam banyak kasus, solusi hemat sumber daya lebih efektif daripada solusi besar yang mahal. Misalnya, masalah keterlambatan praktik tidak selalu membutuhkan pembelian alat baru. Bisa jadi penyebabnya adalah alat sulit ditemukan, jadwal peminjaman tidak jelas, atau bahan praktik tidak disiapkan sebelumnya. Solusi hemat sumber daya dapat berupa sistem peminjaman alat, label rak, daftar persiapan, dan jadwal pengecekan. Jika akar masalahnya benar, solusi sederhana dapat memberi dampak besar.

1. Prinsip pertama dalam menyusun alternatif hemat sumber daya adalah menghilangkan pemborosan. Pemborosan dapat berupa waktu tunggu, gerakan tidak perlu, material terbuang, pekerjaan ulang, energi berlebih, data ganda, atau proses yang tidak memberi nilai tambah. Mahasiswa perlu mengidentifikasi bagian mana dari

proses yang tidak memberi manfaat. Setelah itu, solusi diarahkan untuk mengurangi pemborosan tersebut.

2. Prinsip kedua adalah menggunakan sumber daya yang sudah tersedia. Sebelum mengusulkan pembelian alat baru, mahasiswa perlu memeriksa alat, data, ruang, tenaga, dan prosedur yang sudah ada. Sering kali solusi dapat dilakukan melalui penataan ulang, pemeliharaan, perbaikan kecil, atau penggunaan ulang aset. Misalnya, rak lama dapat diberi label dan pembatas. *Spreadsheet* yang sudah digunakan dapat dikembangkan menjadi *dashboard* sederhana. Jadwal manual dapat diubah menjadi formulir digital tanpa sistem besar.
3. Prinsip ketiga adalah menyederhanakan proses. Proses yang terlalu panjang sering menimbulkan kesalahan. Solusi hemat sumber daya dapat berupa penyederhanaan alur, pengurangan formulir ganda, penggabungan pemeriksaan yang sejenis, atau penggunaan checklist singkat. Namun, penyederhanaan tidak boleh menghilangkan langkah keselamatan dan pemeriksaan mutu yang penting.
4. Prinsip keempat adalah memperbaiki sebelum mengganti. Dalam pekerjaan teknik, penggantian komponen sering lebih mahal daripada perbaikan atau pemeliharaan. Jika suatu alat masih layak diperbaiki, solusi perbaikan dapat lebih hemat. Namun, keputusan memperbaiki harus mempertimbangkan keselamatan, umur pakai, biaya jangka panjang, ketersediaan suku cadang, dan risiko kegagalan. Komponen kritis tidak boleh dipertahankan hanya karena ingin menghemat biaya jika sudah tidak aman.
5. Prinsip kelima adalah membuat solusi mudah dirawat. Solusi yang murah saat dibuat tetapi sulit dirawat dapat menjadi mahal dalam jangka panjang. Misalnya, alat bantu yang sulit dibersihkan akan cepat rusak. Sistem digital yang terlalu rumit akan ditinggalkan pengguna. Desain penangkap sampah yang sulit diangkat akan tidak dibersihkan. Oleh karena itu, setiap alternatif harus dinilai dari sisi perawatan.
6. Prinsip keenam adalah memanfaatkan teknologi sederhana. Teknologi hemat sumber daya tidak harus canggih. *Spreadsheet*, formulir digital, kode QR, label warna, kamera ponsel, peta sederhana, sensor murah untuk latihan, atau *dashboard* dasar dapat

membantu *problem solving*. Pemilihan teknologi harus berdasarkan fungsi dan kemampuan pengguna. Teknologi yang sederhana tetapi dipakai konsisten dapat lebih bermanfaat daripada teknologi kompleks yang tidak dirawat.

7. Prinsip ketujuh adalah mempertimbangkan biaya siklus hidup. Biaya solusi tidak hanya biaya awal. Biaya juga mencakup pemasangan, pelatihan, operasi, perawatan, perbaikan, penggantian, dan pembuangan. Solusi dengan biaya awal rendah bisa mahal jika sering rusak. Solusi dengan biaya awal lebih tinggi bisa lebih hemat jika tahan lama dan mengurangi downtime. Mahasiswa perlu melihat biaya secara lebih menyeluruh.
8. Prinsip kedelapan adalah menjaga mutu dan keselamatan. Hemat sumber daya tidak boleh menurunkan mutu dan keselamatan. Mengurangi material tidak boleh membuat struktur tidak aman. Mengurangi waktu inspeksi tidak boleh membuat bahaya tidak terdeteksi. Mengurangi biaya perawatan tidak boleh memperbesar risiko kerusakan. Efisiensi harus tetap berada dalam batas standar dan tanggung jawab teknis.

Dalam menyusun alternatif solusi, mahasiswa dapat menggunakan langkah sistematis. Langkah pertama adalah menentukan sumber daya yang paling terbatas. Apakah keterbatasan utama berupa biaya, waktu, alat, tenaga kerja, ruang, material, atau data. Langkah kedua adalah menentukan fungsi minimum yang harus dipenuhi solusi. Fungsi minimum membantu menjaga solusi tetap fokus. Langkah ketiga adalah mencari cara memenuhi fungsi tersebut dengan sumber daya yang lebih sedikit. Langkah keempat adalah memeriksa risiko mutu dan keselamatan. Langkah kelima adalah membandingkan beberapa alternatif.

1. Contoh pertama adalah kasus genangan drainase. Alternatif mahal mungkin berupa pembangunan ulang saluran. Namun, jika akar masalahnya adalah inlet tersumbat, alternatif hemat sumber daya dapat berupa desain saringan mudah angkat, jadwal pembersihan sebelum hujan, kode lokasi inlet, dan formulir pelaporan cepat. Solusi ini lebih hemat karena menggunakan perawatan, pengendalian visual, dan data sederhana. Namun, efektivitasnya harus diukur melalui kedalaman dan durasi genangan.

2. Contoh kedua adalah kasus mesin panas. Alternatif mahal mungkin berupa penggantian mesin. Jika akar masalahnya adalah pelumasan tidak rutin dan ventilasi buruk, alternatif hemat sumber daya dapat berupa checklist pelumasan, label titik pelumasan, pembersihan ventilasi, penataan ruang sekitar mesin, dan pencatatan suhu. Solusi ini lebih hemat karena memperbaiki operasi dan perawatan. Namun, jika mesin sudah rusak berat, penggantian komponen tetap perlu dipertimbangkan.
3. Contoh ketiga adalah kasus panel listrik sering trip. Alternatif langsung dapat berupa penambahan kapasitas panel. Namun, jika masalah berasal dari penambahan beban tanpa pengendalian, alternatif hemat sumber daya dapat berupa prosedur persetujuan beban baru, label kapasitas, pencatatan penggunaan alat, dan pembagian ulang beban oleh teknisi kompeten. Solusi hemat tetap harus memperhatikan standar kelistrikan dan keselamatan. Penghematan tidak boleh mengorbankan proteksi.
4. Contoh keempat adalah kasus layout bengkel tidak efisien. Alternatif mahal dapat berupa renovasi ruang. Alternatif hemat sumber daya dapat berupa penataan ulang rak, kode warna alat, jalur pergerakan, papan bayangan, dan aturan pengembalian alat. Solusi ini tidak membutuhkan perubahan besar, tetapi dapat mengurangi waktu mencari alat dan meningkatkan keteraturan. Keberhasilannya dapat diukur melalui waktu pencarian alat dan jumlah alat yang hilang.

Dalam memilih alternatif hemat sumber daya, mahasiswa dapat menggunakan matriks penilaian. Kriteria yang digunakan dapat mencakup efektivitas, biaya awal, biaya perawatan, kebutuhan alat, waktu penerapan, kemudahan penggunaan, keselamatan, dampak lingkungan, dan kemampuan evaluasi. Setiap alternatif diberi nilai. Hasil penilaian membantu memilih alternatif yang paling seimbang. Namun, skor tidak boleh menggantikan pertimbangan teknis. Jika satu alternatif berisiko keselamatan tinggi, alternatif tersebut harus ditolak meskipun murah.

Solusi hemat sumber daya juga dapat dikembangkan melalui prinsip modular. Solusi modular berarti solusi dapat diterapkan per bagian. Misalnya, *dashboard* inspeksi dapat dimulai dari satu area,

kemudian diperluas. Sistem pelabelan alat dapat dimulai dari satu rak. Sensor pemantauan dapat dimulai dari satu mesin prioritas. Pendekatan modular mengurangi risiko dan memudahkan pembelajaran.

Selain modular, solusi hemat sumber daya juga dapat dibuat bertahap. Tahap pertama adalah solusi manual sederhana. Tahap kedua adalah digitalisasi sebagian. Tahap ketiga adalah integrasi data. Misalnya, pencatatan kerusakan jalan dimulai dengan formulir kertas, kemudian *spreadsheet*, lalu peta SIG sederhana. Pendekatan bertahap membuat inovasi lebih mudah diterapkan dalam kondisi sumber daya terbatas.

Mahasiswa juga perlu memahami bahwa hemat sumber daya bukan alasan untuk mengabaikan kualitas. Solusi yang terlalu murah dapat gagal cepat dan menimbulkan biaya lebih besar. Misalnya, material saringan yang mudah berkarat akan menambah biaya perawatan. Sensor murah tanpa pelindung dapat cepat rusak. Checklist yang terlalu sederhana dapat melewati pemeriksaan penting. Oleh karena itu, hemat sumber daya harus selalu dikaitkan dengan kinerja dan umur pakai.

Dalam laporan *problem solving*, alternatif hemat sumber daya perlu dijelaskan secara lengkap. Laporan harus memuat masalah, akar masalah, alternatif solusi, sumber daya yang dibutuhkan, manfaat, risiko, perkiraan biaya, cara uji, indikator keberhasilan, dan alasan pemilihan. Jika solusi dipilih karena hemat, jelaskan sumber daya apa yang dihemat dan bagaimana penghematan tersebut tetap aman.

Pada akhirnya, penyusunan alternatif solusi yang hemat sumber daya membantu mahasiswa menghasilkan solusi yang realistis. Dalam dunia kerja, ide yang baik tidak hanya dinilai dari kecanggihan, tetapi dari kemampuan memberi hasil dengan sumber daya yang tersedia. Solusi yang hemat, aman, mudah dirawat, dan dapat dievaluasi sering lebih bernilai daripada solusi mahal yang sulit diterapkan. Dengan prinsip ini, mahasiswa belajar mengembangkan inovasi teknik yang efisien dan bertanggung jawab.

Alternatif solusi yang hemat sumber daya adalah solusi yang menggunakan material, energi, biaya, waktu, tenaga kerja, alat, ruang, dan data secara efisien tanpa mengurangi mutu dan keselamatan. Prinsipnya meliputi mengurangi pemborosan, menggunakan aset yang tersedia, menyederhanakan prosedur, memperbaiki sebelum mengganti, memilih teknologi sederhana, mengurangi pekerjaan ulang, meningkatkan perawatan preventif, memperpanjang umur pakai, mengoptimalkan energi, dan memilih material secara bijak. Solusi hemat sumber daya harus tetap berbasis akar masalah, dapat diuji, aman, dan sesuai kondisi lapangan.

F. Pembuatan Sketsa Konsep dan Portofolio Solusi

Sketsa konsep dan portofolio solusi merupakan bagian penting dalam pengembangan ide solusi inovatif. Sketsa konsep membantu mahasiswa menuangkan ide dalam bentuk visual sederhana. Portofolio solusi membantu mendokumentasikan proses pengembangan ide, alternatif yang dipertimbangkan, alasan pemilihan, prototipe, hasil uji, dan rencana penerapan. Dalam *problem solving* teknik terapan, keduanya membantu mengubah ide yang masih abstrak menjadi rancangan yang dapat dibaca, didiskusikan, diuji, dan dikembangkan.

Sketsa konsep adalah gambar awal yang menunjukkan bentuk, fungsi, hubungan komponen, posisi, alur kerja, atau prinsip kerja solusi. Sketsa tidak harus indah atau sangat rinci. Sketsa harus cukup jelas untuk menjelaskan ide. Dalam teknik, sketsa dapat berupa gambar alat bantu, layout ruang, alur proses, posisi sensor, rancangan saringan inlet, *dashboard* sederhana, diagram sistem, atau bentuk prototipe. Sketsa membantu mahasiswa berpikir secara visual.

Sketsa konsep berbeda dari gambar kerja final. Gambar kerja harus memiliki ketelitian, dimensi lengkap, simbol, skala, dan standar penggambaran yang lebih ketat. Sketsa konsep digunakan pada tahap awal untuk menjelaskan gagasan. Sketsa dapat berubah setelah mendapat umpan balik. Oleh karena itu, sketsa konsep bersifat eksploratif. Sketsa membantu mahasiswa memperlihatkan ide, bukan menetapkan desain akhir.

Dalam pengembangan solusi, sketsa memiliki beberapa fungsi. Fungsi pertama adalah memperjelas ide. Ide yang dijelaskan dengan kata-kata sering mudah disalahpahami. Sketsa membantu anggota kelompok melihat objek yang sama. Fungsi kedua adalah mempercepat diskusi. Pengguna, teknisi, dosen, dan teman kelompok dapat memberi masukan langsung pada bagian yang digambar. Fungsi ketiga adalah menemukan kelemahan. Saat ide digambar, mahasiswa dapat melihat bagian yang belum logis, sulit dibuat, atau mengganggu penggunaan.

Fungsi keempat adalah membandingkan alternatif. Dua atau tiga alternatif dapat digambar secara sederhana lalu dibandingkan. Misalnya, tiga bentuk saringan inlet dapat dibandingkan berdasarkan kemudahan pembersihan. Tiga layout bengkel dapat dibandingkan berdasarkan jarak pergerakan. Tiga posisi sensor dapat dibandingkan berdasarkan akses perawatan. Fungsi kelima adalah menjadi dasar prototipe. Sketsa yang dipilih dapat dikembangkan menjadi model CAD, mock-up, simulasi, atau prototipe fisik.

Sketsa konsep perlu memuat beberapa informasi dasar. Informasi pertama adalah judul konsep. Judul membantu pembaca memahami fokus sketsa. Informasi kedua adalah masalah yang diselesaikan. Informasi ketiga adalah komponen utama. Informasi keempat adalah cara kerja. Informasi kelima adalah ukuran awal atau perkiraan dimensi jika diperlukan. Informasi keenam adalah bahan atau sumber daya yang mungkin digunakan. Informasi ketujuh adalah catatan risiko atau hal yang perlu diuji.

Sketsa konsep dapat dibuat secara manual atau digital. Sketsa manual dapat dibuat dengan pensil, kertas, papan tulis, atau tablet. Sketsa digital dapat dibuat dengan perangkat lunak CAD sederhana, aplikasi gambar, atau alat presentasi. Untuk tahap awal, sketsa manual sering lebih cepat. Untuk tahap lanjutan, sketsa dapat dikembangkan menjadi gambar digital agar lebih rapi dan mudah dibagikan.

Dalam konteks teknik sipil, sketsa konsep dapat berupa rancangan inlet, detail saringan, perubahan kemiringan lokal, layout drainase, titik *sampling*, atau jalur evakuasi. Dalam teknik mesin, sketsa dapat berupa alat bantu pemasangan, pelindung komponen, posisi sensor,

layout bengkel, atau rancangan jig sederhana. Dalam teknik elektro, sketsa dapat berupa tata letak panel, posisi indikator, diagram sistem *monitoring*, atau alur prosedur penambahan beban. Dalam teknik lingkungan, sketsa dapat berupa titik *sampling*, alat penampung sederhana, sistem filtrasi awal, atau alur pengolahan data.

Portofolio solusi adalah kumpulan dokumen yang menunjukkan proses pengembangan solusi dari masalah sampai rekomendasi. Portofolio bukan hanya tempat menyimpan gambar akhir. Portofolio harus menunjukkan perjalanan berpikir mahasiswa. Di dalamnya terdapat rumusan masalah, data pendukung, akar masalah, kebutuhan pengguna, ide alternatif, matriks seleksi, sketsa, prototipe, hasil uji, umpan balik, revisi, dan rencana penerapan. Portofolio membuat proses inovasi dapat ditelusuri.

Portofolio solusi penting karena *problem solving* teknik tidak hanya dinilai dari hasil akhir. Proses berpikir, proses pengujian, dan proses perbaikan juga penting. Dua kelompok mahasiswa dapat menghasilkan solusi berbeda untuk masalah yang sama. Portofolio membantu dosen melihat apakah solusi tersebut lahir dari data, melalui pertimbangan teknis, diuji, dan diperbaiki. Portofolio juga membantu mahasiswa belajar dari keputusan yang dibuat.

Portofolio solusi dapat disusun secara ringkas tetapi lengkap. Bagian pertama adalah identitas proyek. Bagian kedua adalah deskripsi masalah. Bagian ketiga adalah data dan bukti. Bagian keempat adalah akar masalah. Bagian kelima adalah kebutuhan pengguna dan kriteria solusi. Bagian keenam adalah daftar alternatif. Bagian ketujuh adalah sketsa konsep. Bagian kedelapan adalah penilaian alternatif. Bagian kesembilan adalah prototipe atau model awal. Bagian kesepuluh adalah hasil uji dan revisi. Bagian kesebelas adalah rekomendasi solusi final.

Sketsa konsep perlu diberi anotasi. Anotasi adalah keterangan singkat pada gambar. Anotasi dapat menjelaskan nama komponen, arah aliran, posisi pengguna, titik pemasangan, bahan, ukuran awal, atau catatan risiko. Tanpa anotasi, pembaca dapat salah memahami sketsa. Anotasi membuat sketsa lebih komunikatif.

Sketsa juga perlu menunjukkan hubungan dengan masalah. Misalnya, jika sketsa adalah saringan inlet, gambar harus menunjukkan bagaimana saringan menghambat sampah tetapi tetap memungkinkan aliran air. Jika sketsa adalah layout bengkel, gambar harus menunjukkan alur pergerakan dan posisi alat. Jika sketsa adalah *dashboard*, gambar harus menunjukkan indikator utama dan sumber data. Sketsa yang baik selalu menjawab masalah.

Dalam membuat sketsa, mahasiswa dapat menggunakan beberapa tampilan. Tampilan atas berguna untuk layout. Tampilan depan dan samping berguna untuk bentuk benda. Potongan berguna untuk melihat bagian dalam. Diagram alir berguna untuk prosedur. Diagram blok berguna untuk sistem digital atau IoT. Tampilan 3D sederhana berguna untuk menjelaskan bentuk kepada pengguna. Pilihan tampilan disesuaikan dengan tujuan.

Jika sketsa akan dikembangkan menjadi prototipe, mahasiswa perlu mencatat ukuran awal dan bahan. Ukuran tidak harus final, tetapi cukup untuk memperkirakan kelayakan. Misalnya, saringan inlet memiliki panjang, lebar, tinggi, ukuran lubang, dan pegangan angkat. Alat bantu bengkel memiliki dimensi, posisi pegangan, dan material. *Dashboard* memiliki ukuran tampilan, indikator, dan sumber data. Catatan ini membantu pengembangan tahap berikutnya.

Portofolio solusi dapat berbentuk dokumen cetak, dokumen digital, slide, folder proyek, atau situs sederhana. Untuk pembelajaran vokasi, dokumen digital sering lebih praktis karena dapat memuat foto, tabel, grafik, sketsa, dan lampiran. Namun, struktur tetap harus rapi. Nama file, versi, dan tanggal revisi perlu dicatat. Jika portofolio dikerjakan kelompok, kontribusi anggota juga dapat dicantumkan.

Dalam portofolio, data harus dapat ditelusuri. Foto perlu diberi tanggal, lokasi, dan keterangan. Tabel perlu memiliki sumber data. Grafik perlu memiliki satuan. Sketsa perlu memiliki versi. Hasil uji perlu mencantumkan metode. Jika data berasal dari industri atau proyek nyata, informasi sensitif harus disamarkan. Portofolio yang baik menjaga keterbukaan informasi tanpa melanggar kerahasiaan.

Portofolio juga harus menunjukkan keputusan. Misalnya, dari lima alternatif, mengapa alternatif kedua dipilih. Alasan pemilihan dapat berupa biaya lebih rendah, risiko lebih kecil, perawatan lebih mudah, atau hasil uji lebih baik. Alternatif yang tidak dipilih tetap perlu dicatat singkat. Dengan cara ini, pembaca memahami proses seleksi.

Dalam kegiatan pembelajaran, dosen dapat menilai portofolio berdasarkan beberapa aspek. Aspek pertama adalah kejelasan masalah. Aspek kedua adalah kekuatan data. Aspek ketiga adalah ketepatan akar masalah. Aspek keempat adalah keragaman alternatif. Aspek kelima adalah kualitas sketsa. Aspek keenam adalah kelayakan prototipe. Aspek ketujuh adalah hasil uji. Aspek kedelapan adalah kualitas revisi. Aspek kesembilan adalah kejelasan rekomendasi. Penilaian ini mendorong mahasiswa memperhatikan proses dan hasil.

Jika ingin menambahkan gambar riil pada subbab ini, gambar yang paling tepat adalah foto sketsa tangan mahasiswa, hasil CAD konsep, foto mock-up, atau tangkapan layar portofolio digital. Gambar harus menunjukkan proses pengembangan, bukan hanya hasil akhir. Misalnya, satu gambar dapat menampilkan tiga sketsa alternatif saringan inlet dengan anotasi. Gambar lain dapat menampilkan foto prototipe sederhana yang diuji pada satu titik. Jika menggunakan gambar proyek nyata, identitas lokasi dan data sensitif perlu disamarkan.

Sketsa konsep dan portofolio solusi juga melatih komunikasi teknis. Ide teknik sering gagal bukan karena buruk, tetapi karena tidak dikomunikasikan dengan jelas. Sketsa membantu menjelaskan bentuk dan cara kerja. Portofolio membantu menjelaskan alasan dan bukti. Dengan komunikasi yang baik, solusi lebih mudah dipahami, didiskusikan, dan disetujui.

Mahasiswa perlu menghindari beberapa kesalahan dalam sketsa dan portofolio. Kesalahan pertama adalah membuat sketsa tanpa hubungan dengan masalah. Kesalahan kedua adalah membuat gambar terlalu indah tetapi tanpa fungsi teknis. Kesalahan ketiga adalah tidak memberi anotasi. Kesalahan keempat adalah hanya menampilkan solusi final tanpa alternatif. Kesalahan kelima adalah tidak

mencantumkan hasil uji. Kesalahan keenam adalah tidak menulis keterbatasan solusi.

Keterbatasan solusi harus ditulis secara jujur. Misalnya, prototipe baru diuji pada satu titik, periode data masih pendek, material belum diuji jangka panjang, atau biaya perawatan belum diketahui. Menulis keterbatasan bukan berarti solusi lemah. Keterbatasan menunjukkan bahwa mahasiswa memahami batas penggunaan solusi dan membuka ruang perbaikan.

Pada akhirnya, sketsa konsep dan portofolio solusi membantu mahasiswa mengubah ide menjadi rancangan yang dapat dipertanggungjawabkan. Sketsa membuat ide terlihat. Portofolio membuat proses berpikir terlihat. Keduanya mendukung pengembangan solusi inovatif karena mahasiswa tidak hanya menyampaikan gagasan, tetapi juga menunjukkan data, alternatif, uji, revisi, dan rekomendasi. Dengan kemampuan ini, mahasiswa vokasi keteknikan dapat menyajikan solusi secara profesional, sistematis, dan siap dievaluasi.

Sketsa konsep adalah gambar awal yang menjelaskan bentuk, fungsi, hubungan komponen, posisi, alur kerja, atau prinsip solusi. Sketsa membantu memperjelas ide, mempercepat diskusi, menemukan kelemahan, membandingkan alternatif, dan menjadi dasar prototipe. Portofolio solusi adalah dokumentasi proses pengembangan solusi dari masalah sampai rekomendasi final. Portofolio memuat identitas proyek, masalah, data, akar masalah, kebutuhan pengguna, kriteria, alternatif, sketsa, penilaian, prototipe, hasil uji, revisi, dan rekomendasi. Sketsa dan portofolio membantu mahasiswa mengomunikasikan solusi secara sistematis dan bertanggung jawab.

DAFTAR PUSTAKA

- ABET. (2025). *Criteria for accrediting engineering technology programs, 2025–2026*. Accreditation Board for Engineering and Technology.
- American Society for Quality. (2026). *What is benchmarking Technical and competitive benchmarking process*. ASQ.
- Andersen, B., & Fagerhaug, T. (2006). *Root cause analysis: Simplified tools and techniques* (2nd ed.). ASQ Quality Press.
- APQC. (2026). *Benchmarking*. American Productivity & Quality Center.
- Autodesk. (2025). *CAD design software Computer-aided design*. Autodesk.
- Autodesk. (2025). *What is CAD Understand CAD A comprehensive guide for design and drafting professionals*. Autodesk.
- Brown, T. (2009). *Change by design How design thinking creates new alternatives for business and society*. HarperBusiness.
- BuildingSMART International. (n.d.). *Industry Foundation Classes IFC*. buildingSMART International.
- Camp, R. C. (1989). *Benchmarking The search for industry best practices that lead to superior performance*. ASQC Quality Press.
- Clough, D. E., & Chapra, S. C. (2023). *Spreadsheet problem solving and programming for engineers and scientists*. CRC Press.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Cross, N. (2008). *Engineering design methods Strategies for product design* (4th ed.). Wiley.
- Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process*. D. C. Heath and Company.

- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley.
- Engineering LibreTexts. (n.d.). *Spreadsheet modeling*. Engineering LibreTexts.
- Few, S. (2013). *Information dashboard design Displaying data for at-a-glance monitoring* (2nd ed.). Analytics Press.
- Gamil, Y., & Rahman, I. A. (2023). Studying the relationship between causes and effects of poor communication in construction projects using PLS-SEM approach. *Journal of Facilities Management*, 21(1), 102–148. <https://doi.org/10.1108/JFM-04-2021-0039>
- IDEO. (2026). *Design thinking by IDEO Human-centered innovation*. IDEO.
- INCOSE. (2023). *Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities* (5th ed.). Wiley.
- International Labour Organization. (2022). *A safe and healthy working environment is a fundamental principle and right at work*. International Labour Organization.
- International Organization for Standardization. (2003). *ISO 10012:2003 Measurement management systems: Requirements for measurement processes and measuring equipment*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/26033.html>
- International Organization for Standardization. (2008). *ISO/IEC 25012:2008 Software engineering Software product Quality Requirements and Evaluation SQuaRE Data quality model*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2015). *ISO 9001:2015 Quality management systems: Requirements*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 15489-1:2016 Information and documentation: Records management, Part*

1: *Concepts and principles*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2017). *ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/66912.html>

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling BIM Information management using building information modelling Part 1 Concepts and principles*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000:2018 Risk management: Guidelines*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/65694.html>

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems: Requirements with guidance for use*. ISO. <https://www.iso.org/standard/63787.html>

International Organization for Standardization. (2019). *ISO 56002:2019 Innovation management Innovation management system Guidance*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2019). *ISO 56002:2019 Innovation management Innovation management system Guidance*. International Organization for Standardization.

International Organization for Standardization. (2019). *ISO 7870-1:2019 Control charts: Part 1: General guidelines*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/69639.html>

International Organization for Standardization. (2019). *ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction: Part 210: Human-centred design for interactive systems*. International Organization for Standardization.

- International Organization for Standardization. (2022). *ISO/IEC 27400:2022 Cybersecurity IoT security and privacy Guidelines*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO 5725-1:2023 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results: Part 1: General principles and definitions*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/69418.html>
- International Organization for Standardization. (2023). *ISO/IEC 42001:2023 Information technology: Artificial intelligence management system*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/42001>
- International Organization for Standardization. (2024). *ISO 59004:2024 Circular economy Vocabulary, principles and guidance for implementation*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2024). *ISO/IEC 30141:2024 Internet of Things IoT Reference architecture*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2026). *ISO 10012:2026 Quality management: Requirements for measurement management systems*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/10012>
- International Organization for Standardization. (2026). *ISO 10012:2026 Quality management: Requirements for measurement management systems*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2026). *ISO 2859-1:2026 Sampling procedures for inspection by attributes: Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/85464.html>
- Ishikawa, K. (1986). *Guide to quality control* (2nd rev. ed.). Asian Productivity Organization.

- ISO/IEC/IEEE. (2023). *ISO/IEC/IEEE 15288:2023 Systems and software engineering: System life cycle processes*. International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standard/81702.html>
- Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (JCGM 100:2008). Joint Committee for Guides in Metrology.
- Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (JCGM 100:2008). Joint Committee for Guides in Metrology.
- Jonassen, D. H. (2011). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203847527>
- Jonassen, D. H. (2011). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge.
- Juran, J. M., & Godfrey, A. B. (1999). *Juran's quality handbook* (5th ed.). McGraw-Hill.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. acatech.
- Kawulich, B. B. (2005). Participant observation as a data collection method. *Forum Qualitative Sozialforschung Forum Qualitative Social Research*, 6(2), Article 43. <https://doi.org/10.17169/fqs-6.2.466>
- Kawulich, B. B. (2005). Participant observation as a data collection method. *Forum Qualitative Sozialforschung Forum Qualitative Social Research*, 6(2), Article 43.
- Kerzner, H. (2022). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (13th ed.). Wiley.

- Knafllic, C. N. (2015). *Storytelling with data A data visualization guide for business professionals*. Wiley.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Prentice Hall.
- Lean Enterprise Institute. (n.d.). *5 whys*. Lean Enterprise Institute. <https://www.lean.org/lexicon-terms/5-whys/>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Madakam, S., Ramaswamy, R., & Tripathi, S. (2015). *Internet of Things IoT A literature review*. *Journal of Computer and Communications*, 3(5), 164–173.
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Chelsea Green Publishing.
- Microsoft. (2025). *Intro to dashboards for Power BI designers*. Microsoft Learn.
- Microsoft. (n.d.). *Excel functions by category*. Microsoft Support.
- Microsoft. (n.d.). *Overview of formulas in Excel*. Microsoft Support.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook* (4th ed.). SAGE Publications.
- Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to statistical quality control* (8th ed.). Wiley.
- National Institute of Building Sciences. (n.d.). *National BIM Standard United States Version 4*. National Institute of Building Sciences.
- National Institute of Standards and Technology. (2020). *NISTIR 8259A IoT device cybersecurity capability core baseline*. National Institute of Standards and Technology.

- National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST Cybersecurity Framework 2.0*. National Institute of Standards and Technology.
- National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST Cybersecurity Framework CSF 2.0*. National Institute of Standards and Technology.
- National Institute of Standards and Technology. (2024). *The NIST Cybersecurity Framework CSF 2.0*. National Institute of Standards and Technology.
- National Society of Professional Engineers. (2019). *NSPE code of ethics for engineers*. NSPE.
- NIST/SEMATECH. (2022). *NIST/SEMATECH e-Handbook of statistical methods*. National Institute of Standards and Technology.
- OECD. (2024). *Do adults have the skills they need to thrive in a changing world? Survey of Adult Skills 2023*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b263dc5d-en>
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.
- Osborn, A. F. (1953). *Applied imagination Principles and procedures of creative problem-solving*. Charles Scribner's Sons.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K. H. (2007). *Engineering design A systematic approach* (3rd ed.). Springer.
- Panko, R. R. (1998). What we know about *spreadsheet errors*. *Journal of End User Computing*, 10(2), 15–21.
- Panko, R. R., & Aurigemma, S. (2010). Revising the Panko Halverson taxonomy of *spreadsheet errors*. *Decision Support Systems*, 49(2), 235–244.
- Patton, M. Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice* (4th ed.). SAGE Publications.
- Polya, G. (1973). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (2nd ed.). Princeton University Press. Original work published 1945.

- Powell, S. G., & Baker, K. R. (2014). *Management science the art of modeling with spreadsheets* (4th ed.). Wiley.
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge and the standard for project management* (7th ed.). Project Management Institute.
- Reason, J. (1997). *Managing the risks of organizational accidents*. Ashgate.
- Republik Indonesia. (1970). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja*. <https://peraturan.go.id/id/uu-no-1-tahun-1970>
- Rittel, H. W. J., & Webber, M. M. (1973). Dilemmas in a general theory of planning. *Policy Sciences*, 4(2), 155–169.
- Robson, C., & McCartan, K. (2016). *Real world research* (4th ed.). Wiley.
- Rooney, J. J., & Vanden Heuvel, L. N. (2004). Root cause analysis for beginners. *Quality Progress*, 37(7), 45–53.
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). Wiley.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic Books.
- Sears, S. K., Sears, G. A., Clough, R. H., Rounds, J. L., & Segner, R. O. (2015). *Construction project management: A practical guide to field construction management* (6th ed.). Wiley.
- Sekaran, U., & Bougie, R. (2016). *Research methods for business: A skill-building approach* (7th ed.). Wiley.
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization* (Rev. ed.). Doubleday.
- Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). Internet of Things Architectures, protocols, and applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017, Article 9324035.

- Sink, D. S., & Tuttle, T. C. (1989). *Planning and measurement in your organization of the future*. Industrial Engineering and Management Press.
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Irwin/McGraw-Hill.
- Tableau. (2026). *Dashboards*. Tableau Help.
- Taylor, B. N., & Kuyatt, C. E. (1994). *Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results* (NIST Technical Note 1297). National Institute of Standards and Technology.
- Tufte, E. R. (2001). *The visual display of quantitative information* (2nd ed.). Graphics Press.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2020). *Product design and development* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- UNESCO. (2022). *Transforming technical and vocational education and training for successful and just transitions: UNESCO strategy 2022–2029*. UNESCO.
- Walker, A. (2015). *Project management in construction* (6th ed.). Wiley Blackwell.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., & Gordon Becker, S. E. (2004). *An introduction to human factors engineering* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
- World Bank, UNESCO, & International Labour Organization. (2023). *Building better formal TVET systems: Principles and practice in low- and middle-income countries*. World Bank, UNESCO, and ILO. <https://doi.org/10.1596/978-92-2-039357-4>
- World Economic Forum. (2025). *The future of jobs report 2025*. World Economic Forum.
- Zwicky, F. (1969). *Discovery, invention, research through the morphological approach*. Macmillan.

GLOSARIUM

A

Adaptasi

Proses penyesuaian individu, organisasi, atau sistem terhadap perubahan kondisi, teknologi, lingkungan kerja, maupun kebutuhan operasional agar tetap mampu mencapai tujuan secara efektif dan efisien.

Adaptive Problem Solving (Pemecahan Masalah Adaptif)

Kemampuan menyesuaikan strategi penyelesaian masalah ketika menghadapi kondisi yang berubah, informasi yang tidak lengkap, atau situasi baru yang belum memiliki prosedur penyelesaian baku.

Akar Masalah (*Root Cause*)
Penyebab utama yang mendasari terjadinya suatu masalah. Identifikasi akar masalah bertujuan agar solusi yang diterapkan mampu menghilangkan penyebab sebenarnya, bukan hanya mengatasi gejala.

Akurasi (*Accuracy*)
Tingkat kedekatan hasil pengukuran, perhitungan, atau analisis terhadap nilai sebenarnya sehingga menghasilkan informasi yang dapat dipercaya sebagai dasar pengambilan keputusan.

Analisis (*Analysis*)
Proses menguraikan suatu

permasalahan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil untuk memahami hubungan antarunsur, menemukan penyebab, dan merumuskan solusi yang tepat.

Analisis Akar Masalah (*Root Cause Analysis*)

Metode sistematis untuk menemukan penyebab utama suatu masalah melalui pengumpulan data, identifikasi faktor penyebab, serta evaluasi hubungan sebab-akibat.

Analisis Data (*Data Analysis*)

Proses mengumpulkan, mengolah, menginterpretasikan, dan menyajikan data menjadi informasi yang berguna dalam mendukung pengambilan keputusan teknis.

***Analytical Thinking* (Berpikir Analitis)**

Kemampuan berpikir secara logis, sistematis, dan objektif dalam memahami suatu masalah serta menyusun alternatif penyelesaiannya berdasarkan bukti.

***Artificial Intelligence* (AI)** (Kecerdasan Buatan)

Teknologi komputer yang mampu meniru sebagian kemampuan berpikir manusia, seperti mengenali pola, belajar dari data, melakukan prediksi, dan membantu pengambilan keputusan.

Asumsi Teknis (Technical Assumption)

Dugaan awal yang disusun berdasarkan teori, pengalaman, atau fakta lapangan sebagai dasar dalam melakukan analisis sebelum dilakukan proses verifikasi.

Audit Teknis (*Technical Audit*)
Pemeriksaan sistematis terhadap kondisi, prosedur, dan hasil pekerjaan teknik untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar yang berlaku.

B

Benchmarking

Proses membandingkan metode, proses kerja, atau kinerja suatu organisasi dengan praktik terbaik sebagai dasar peningkatan mutu dan efisiensi.

Big Data

Kumpulan data berukuran sangat besar, beragam, dan berkembang secara cepat sehingga memerlukan teknologi khusus untuk penyimpanan dan analisis.

BIM (*Building Information Modeling*)

Sistem pemodelan digital yang mengintegrasikan informasi geometri, material, biaya, waktu, dan pemeliharaan bangunan dalam satu model terpadu.

Brainstorming

Teknik menghasilkan berbagai ide

atau alternatif solusi secara bebas melalui diskusi kelompok sebelum dilakukan proses evaluasi.

Bukti Teknis (*Technical Evidence*)
Data, hasil pengukuran, dokumentasi, atau informasi lain yang digunakan sebagai dasar dalam membuktikan suatu kondisi atau permasalahan teknik.

C

CAD (*Computer-Aided Design*)

Perangkat lunak yang digunakan untuk membuat, mengedit, menganalisis, dan mendokumentasikan gambar teknik secara digital.

Cause and Effect Diagram (Diagram Sebab Akibat)
Diagram yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara suatu masalah dengan berbagai faktor penyebabnya secara sistematis.

Cloud Computing (Komputasi Awan)

Teknologi yang memungkinkan penyimpanan, pengolahan, dan pengelolaan data melalui jaringan internet tanpa bergantung pada perangkat lokal.

Collaborative Problem Solving (Pemecahan Masalah Kolaboratif)
Pendekatan penyelesaian masalah yang melibatkan kerja sama

beberapa individu dengan latar belakang keahlian yang berbeda.

Corrective Action (Tindakan Perbaikan)

Langkah yang dilakukan untuk menghilangkan penyebab suatu ketidaksesuaian sehingga masalah tidak terulang kembali.

D

Dashboard

Tampilan visual yang menyajikan informasi penting dalam bentuk grafik, tabel, indikator, atau diagram sehingga memudahkan proses pemantauan dan pengambilan keputusan.

Data

Sekumpulan fakta, angka, hasil pengukuran, atau informasi yang menjadi dasar dalam proses analisis.

Data Lapangan (Field Data)

Informasi yang diperoleh secara langsung melalui observasi, pengukuran, inspeksi, atau pengujian di lokasi pekerjaan.

Decision Making (Pengambilan Keputusan)

Proses memilih alternatif tindakan terbaik berdasarkan hasil analisis data, pertimbangan teknis, dan tujuan yang ingin dicapai.

Design Thinking

Pendekatan inovatif dalam menyelesaikan masalah yang

berorientasi pada kebutuhan pengguna melalui proses empati, perumusan masalah, ideasi, prototipe, dan pengujian.

Diagnosis

Proses mengidentifikasi penyebab suatu gangguan atau kerusakan berdasarkan hasil observasi dan analisis.

Digitalisasi (*Digitalization*)

Proses mengubah sistem atau prosedur manual menjadi berbasis teknologi digital untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi kerja.

Dokumentasi Teknis (*Technical Documentation*)

Kumpulan dokumen yang berisi data, gambar, laporan, foto, maupun hasil pengujian sebagai bukti pelaksanaan pekerjaan teknik.

E

Efektivitas (*Effectiveness*)

Tingkat keberhasilan suatu kegiatan dalam mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

Efisiensi (*Efficiency*)

Kemampuan memperoleh hasil terbaik dengan penggunaan waktu, biaya, tenaga, dan sumber daya seminimal mungkin.

Empati (*Empathy*)

Kemampuan memahami kebutuhan, kondisi, dan sudut

pandangan pengguna sebagai dasar normal sehingga memerlukan dalam merancang solusi yang tepat. analisis lebih lanjut.

Evaluasi (*Evaluation*) GIS (*Geographic Information System*)
Proses menilai hasil pekerjaan Sistem informasi berbasis lokasi berdasarkan indikator atau standar geografis yang digunakan untuk tertentu untuk mengetahui tingkat mengelola, menganalisis, dan keberhasilan suatu kegiatan. memvisualisasikan data spasial.

F Green Technology (Teknologi Hijau)
Failure (Kegagalan) Teknologi yang dirancang untuk Kondisi ketika suatu sistem, mengurangi dampak negatif komponen, atau proses tidak terhadap lingkungan melalui mampu menjalankan fungsi penggunaan sumber daya yang sebagaimana mestinya. lebih efisien.

Failure Mode (Mode Kegagalan) **H**
Bentuk atau cara terjadinya kegagalan pada suatu komponen atau sistem. *Human Error* (Kesalahan Manusia)

Fishbone Diagram (Diagram Tulang Ikan)
Diagram yang digunakan untuk mengidentifikasi berbagai faktor penyebab suatu masalah berdasarkan kategori tertentu. Kesalahan yang disebabkan oleh tindakan, keputusan, atau kelalaian manusia dalam menjalankan suatu pekerjaan.

I *Flowchart* (Diagram Alir)
Representasi grafis yang menggambar urutan langkah suatu proses menggunakan simbol-simbol standar. Identifikasi Masalah (Problem Identification)
Tahap awal dalam proses *problem solving* untuk mengenali, mendefinisikan, dan memahami karakteristik suatu masalah.

G Implementasi (*Implementation*)
Gejala Masalah (Problem Symptoms)
Tahap penerapan solusi yang telah Indikasi awal yang menunjukkan adanya penyimpangan dari kondisi dirancang ke dalam kondisi nyata sesuai prosedur yang ditetapkan.

Indikator Kinerja (*Performance Indicator*)

Ukuran yang digunakan untuk menilai tingkat pencapaian tujuan atau keberhasilan suatu proses.

Industri 4.0 (*Industry 4.0*)

Era revolusi industri yang ditandai dengan integrasi teknologi digital, *Internet of Things*, kecerdasan buatan, dan otomatisasi dalam proses produksi.

Inovasi (*Innovation*)

Pengembangan ide, metode, produk, atau proses baru yang memberikan nilai tambah terhadap efektivitas, efisiensi, maupun kualitas pekerjaan.

Inspeksi (*Inspection*)

Pemeriksaan sistematis terhadap kondisi objek atau proses untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar.

Internet of Things (IoT)

Jaringan perangkat fisik yang saling terhubung melalui internet sehingga mampu mengirimkan dan menerima data secara otomatis.

Investigasi Teknis (*Technical Investigation*)

Proses penyelidikan terhadap penyebab suatu masalah teknik berdasarkan data dan bukti lapangan.

K

Kalibrasi (*Calibration*)

Proses membandingkan hasil pengukuran suatu alat dengan standar acuan untuk memastikan tingkat akurasi alat ukur.

Kapabilitas (*Capability*)

Kemampuan suatu individu, organisasi, atau sistem dalam melaksanakan fungsi tertentu secara konsisten.

Keandalan (*Reliability*)

Kemampuan suatu sistem atau peralatan untuk bekerja secara konsisten dalam jangka waktu tertentu tanpa mengalami kegagalan.

Keputusan Teknis (*Technical Decision*)

Keputusan yang diambil berdasarkan hasil analisis data, pertimbangan teknis, standar, serta kondisi lapangan.

Keselamatan Kerja (*Occupational Safety*)

Upaya mencegah kecelakaan kerja melalui penerapan prosedur keselamatan, penggunaan alat pelindung diri, dan pengendalian risiko.

Kolaborasi (*Collaboration*)

Kerja sama antara dua pihak atau lebih dalam mencapai tujuan bersama melalui pembagian tugas dan tanggung jawab.

Kompetensi (Competency)

Kombinasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang diperlukan seseorang untuk melaksanakan pekerjaan sesuai standar.

Komunikasi Teknis (*Technical Communication*)

Proses penyampaian informasi teknik secara jelas, sistematis, dan dapat dipahami oleh seluruh pihak yang terlibat.

Kondisi Lapangan (*Field Condition*)

Keadaan nyata yang ditemukan di lokasi pekerjaan dan menjadi dasar dalam proses identifikasi serta analisis masalah.

Konstruktif (Constructive)

Sifat atau pendekatan yang berorientasi pada perbaikan, pengembangan, dan penyelesaian masalah secara positif.

L

Learning Analytics (Analitik Pembelajaran)

Proses pengumpulan, pengukuran, analisis, dan pelaporan data pembelajaran untuk meningkatkan kualitas proses belajar.

Log Digital (*Digital Log*)

Catatan elektronik yang merekam aktivitas, perubahan, atau kejadian tertentu dalam suatu sistem.

M

Maintenance (Pemeliharaan)

Serangkaian kegiatan untuk menjaga kondisi peralatan, mesin, atau sistem agar tetap berfungsi secara optimal.

Manajemen Risiko (*Risk Management*)

Proses sistematis dalam mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, dan mengendalikan risiko yang dapat memengaruhi keberhasilan suatu pekerjaan.

Material

Bahan utama yang digunakan dalam proses produksi, konstruksi, maupun pekerjaan teknik lainnya.

Metode (Method)

Serangkaian langkah atau prosedur yang digunakan secara sistematis untuk mencapai tujuan tertentu.

Monitoring (Pemantauan)

Kegiatan mengamati dan mencatat perkembangan suatu proses secara berkala untuk memastikan kesesuaiannya dengan rencana.

Mutu (Quality)

Tingkat kesesuaian suatu produk, layanan, atau proses terhadap standar, spesifikasi, dan kebutuhan pengguna.

N

Neural Network (Jaringan Saraf Tiruan)

Model komputasi dalam kecerdasan buatan yang meniru cara kerja jaringan saraf manusia untuk mengenali pola, melakukan klasifikasi, dan membuat prediksi berdasarkan data.

Normalisasi Data (Data Normalization)

Proses mengubah data ke dalam skala atau format yang seragam agar lebih mudah dibandingkan dan dianalisis.

Notifikasi Digital (Digital Notification)

Pemberitahuan yang dikirimkan secara otomatis oleh sistem kepada pengguna ketika terjadi perubahan kondisi, kesalahan, atau kejadian tertentu.

O

Objek Pengamatan (*Observation Object*)

Komponen, proses, atau kondisi yang menjadi fokus dalam kegiatan observasi dan analisis.

Observasi (*Observation*)

Proses pengumpulan informasi melalui pengamatan langsung terhadap suatu objek, proses, atau kondisi tertentu.

Operasional (*Operational*)

Seluruh aktivitas yang berkaitan dengan pelaksanaan pekerjaan sehari-hari sesuai prosedur dan standar kerja.

Optimalisasi (*Optimization*)

Proses meningkatkan kinerja suatu sistem agar memperoleh hasil terbaik dengan penggunaan sumber daya yang efisien.

Otomasi (*Automation*)

Penggunaan teknologi untuk menjalankan suatu proses secara otomatis dengan intervensi manusia yang minimal.

Output

Hasil akhir yang dihasilkan dari suatu proses, sistem, atau kegiatan.

P

Panel Kendali (*Control Panel*)

Perangkat yang berfungsi sebagai pusat pengendalian dan pemantauan sistem teknik.

Parameter

Nilai acuan yang digunakan dalam proses pengukuran, analisis, atau evaluasi suatu sistem.

Pareto *Analysis* (Analisis Pareto)

Metode analisis yang digunakan untuk menentukan penyebab dominan suatu masalah berdasarkan prinsip 80/20.

Pemantauan (*Monitoring*)

Kegiatan mengawasi

perkembangan suatu proses secara berkala untuk memastikan kesesuaiannya dengan rencana.

Pemecahan Masalah (*Problem Solving*)

Proses sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis, mengevaluasi, dan menyelesaikan suatu masalah sehingga diperoleh solusi yang efektif dan dapat dipertanggungjawabkan.

Pengambilan Keputusan (*Decision Making*)

Proses memilih alternatif tindakan terbaik berdasarkan hasil analisis, data, dan pertimbangan teknis.

Pengendalian Mutu (*Quality Control*)

Serangkaian kegiatan untuk memastikan bahwa hasil pekerjaan memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan.

Pengujian (*Testing*)

Proses mengevaluasi kinerja suatu alat, sistem, atau produk untuk mengetahui tingkat kesesuaiannya terhadap spesifikasi.

Pengukuran (*Measurement*)

Proses menentukan nilai suatu besaran menggunakan alat ukur yang sesuai.

Pengetahuan Teknis (*Technical Knowledge*)

Pemahaman mengenai konsep, prinsip, metode, dan prosedur yang

digunakan dalam bidang keteknikan.

Peralatan Ukur (*Measuring Instrument*)

Alat yang digunakan untuk memperoleh data kuantitatif mengenai suatu objek atau proses.

Perawatan (*Maintenance*)

Kegiatan menjaga kondisi mesin, alat, atau sistem agar tetap berfungsi dengan baik.

Perbaikan Berkelanjutan (*Continuous Improvement*)

Pendekatan peningkatan mutu secara terus-menerus melalui evaluasi dan penyempurnaan proses kerja.

Perencanaan (*Planning*)

Tahap penyusunan tujuan, strategi, jadwal, dan sumber daya sebelum pelaksanaan pekerjaan.

Persyaratan Teknis (*Technical Requirement*)

Ketentuan atau spesifikasi yang harus dipenuhi dalam suatu pekerjaan teknik.

Produktivitas (*Productivity*)

Kemampuan menghasilkan *output* secara optimal dengan penggunaan sumber daya yang efisien.

Problem Solving Teknik Terapan

Pendekatan sistematis dalam menyelesaikan masalah teknik berdasarkan data, bukti lapangan, analisis ilmiah, serta penerapan

solusi yang sesuai dengan kondisi nyata.

Prosedur (Procedure)

Urutan langkah kerja yang telah ditetapkan sebagai pedoman pelaksanaan suatu kegiatan.

Proses Bisnis (Business Process)

Rangkaian aktivitas yang saling berkaitan untuk menghasilkan suatu produk atau layanan.

Prototipe (Prototype)

Model awal suatu produk atau sistem yang dibuat untuk diuji sebelum dikembangkan menjadi produk akhir.

Q

Quality Assurance (Jaminan Mutu)

Sistem pengelolaan mutu yang bertujuan menjamin seluruh proses berjalan sesuai standar sejak tahap perencanaan hingga evaluasi.

Quality Control (Pengendalian Mutu)

Kegiatan pemeriksaan terhadap hasil pekerjaan untuk memastikan kualitas sesuai spesifikasi.

R

Rasio Efisiensi (Efficiency Ratio)

Perbandingan antara hasil yang diperoleh dengan sumber daya yang digunakan.

Rekomendasi Teknis (Technical Recommendation)

Saran atau tindakan yang disusun berdasarkan hasil analisis untuk memperbaiki kondisi tertentu.

Reliabilitas (Reliability)

Kemampuan suatu alat, sistem, atau instrumen memberikan hasil yang konsisten dalam kondisi yang sama.

Rekayasa (Engineering)

Penerapan ilmu pengetahuan, matematika, dan teknologi untuk merancang, membangun, serta memelihara sistem atau produk.

Rendering

Proses menghasilkan visualisasi digital dari suatu model tiga dimensi menggunakan perangkat lunak komputer.

Resiko (Risk)

Kemungkinan terjadinya kerugian atau kegagalan akibat suatu kejadian yang tidak diinginkan.

Respon Sistem (System Response)

Reaksi suatu sistem terhadap masukan atau perubahan kondisi tertentu.

Root Cause Analysis (RCA)

Metode analisis yang digunakan untuk menemukan penyebab utama suatu masalah sehingga solusi yang diterapkan bersifat permanen.

S

Sampling

Teknik pengambilan sebagian data yang mewakili keseluruhan populasi.

Sensor

Perangkat yang berfungsi mendeteksi perubahan kondisi fisik atau lingkungan dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat diproses.

Simulasi (Simulation)

Proses meniru kondisi nyata menggunakan model tertentu untuk tujuan pembelajaran atau analisis.

Sistem

Sekumpulan komponen yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan tertentu.

Smart Technology

Teknologi yang mampu melakukan pemrosesan data secara otomatis serta memberikan respons berdasarkan kondisi tertentu.

Software

Perangkat lunak yang digunakan untuk menjalankan fungsi tertentu pada komputer atau perangkat digital.

Solusi

Alternatif tindakan yang dipilih untuk menyelesaikan suatu masalah.

Spesifikasi Teknis (Technical Specification)

Dokumen yang menjelaskan karakteristik, standar, atau persyaratan suatu produk atau pekerjaan.

Spreadsheet

Perangkat lunak pengolah data berbentuk lembar kerja elektronik yang digunakan untuk perhitungan dan analisis.

Standar

Ketentuan resmi yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan pekerjaan.

Standar Operasional Prosedur (SOP)

Dokumen yang berisi langkah-langkah baku dalam melaksanakan suatu pekerjaan.

Studi Kasus (Case Study)

Metode pembelajaran yang menggunakan permasalahan nyata sebagai bahan analisis.

Supervisor

Personel yang bertanggung jawab mengawasi pelaksanaan pekerjaan agar sesuai dengan rencana dan standar.

Sustainability (Keberlanjutan)

Prinsip pengelolaan sumber daya yang memperhatikan keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan.

T

Teknik *Sampling*

Metode yang digunakan dalam memilih sampel sebagai representasi populasi.

Teknologi Digital

Teknologi berbasis sistem elektronik yang digunakan untuk mengolah, menyimpan, dan menyampaikan informasi.

Teknologi Informasi (Information Technology)

Bidang teknologi yang berkaitan dengan pengelolaan data menggunakan perangkat komputer dan jaringan.

Troubleshooting

Proses mencari, menganalisis, dan memperbaiki penyebab gangguan pada suatu sistem.

U

Uji Coba (*Testing Trial*)

Tahap awal penerapan suatu metode atau sistem untuk mengetahui tingkat keberhasilannya.

Uji Fungsional (*Functional Testing*)

Pengujian untuk memastikan seluruh fungsi suatu sistem bekerja sesuai tujuan.

Umpan Balik (*Feedback*)

Informasi yang diberikan sebagai

hasil evaluasi untuk memperbaiki proses atau kinerja.

V

Validasi (*Validation*)

Proses memastikan bahwa metode, alat, atau solusi telah sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Validitas (*Validity*)

Tingkat ketepatan suatu data, instrumen, atau metode dalam mengukur apa yang seharusnya diukur.

Variabel

Karakteristik atau faktor yang dapat berubah dan memengaruhi hasil suatu proses atau penelitian.

Verifikasi (*Verification*)

Proses memeriksa kesesuaian hasil pekerjaan terhadap spesifikasi atau standar yang telah ditetapkan.

Visualisasi Data (*Data Visualization*)

Penyajian data dalam bentuk grafik, diagram, peta, atau *dashboard* sehingga lebih mudah dipahami.

W

Workflow (Alur Kerja)

Urutan aktivitas yang harus dilakukan dalam suatu proses pekerjaan.

Work Instruction (Instruksi Kerja)

Dokumen yang menjelaskan

langkah-langkah rinci dalam yang memiliki tingkat potensi melaksanakan suatu pekerjaan. bahaya lebih tinggi sehingga memerlukan pengendalian khusus.

X

X-Bar Chart

Diagram kendali statistik yang digunakan untuk memantau rata-rata hasil suatu proses produksi.

XML (Extensible Markup Language)

Bahasa markah yang digunakan untuk menyimpan dan bertukar data antar sistem komputer.

Y

Yield

Tingkat hasil yang diperoleh dibandingkan dengan target atau jumlah input yang digunakan.

Z

Zero Defect

Konsep manajemen mutu yang menargetkan tidak adanya cacat dalam hasil pekerjaan melalui pencegahan kesalahan sejak awal proses.

Zona Kerja (Work Zone)

Area yang telah ditentukan sebagai lokasi pelaksanaan suatu pekerjaan dengan aturan keselamatan tertentu.

Zona Risiko (Risk Zone)

Wilayah atau bagian pekerjaan

INDEKS

5

5 Why, 385

5M, 193

A

ABET, 1, 2, 8, 19, 23, 40, 49, 56,
380

Adaptasi, 60, 67, 98, 366, 367,
368, 389

Adaptive Problem Solving, 8, 9,
17, 24, 53, 389

Agenda Observasi, viii, xii, 54, 55,
102, 103, 104, 106, 108, 109,
110, 111

AI, xi, 93, 95, 98, 257, 259, 262,
307, 308, 309, 310, 311, 312,
313, 314, 315, 316, 317, 318,
319, 337, 356, 389

Akar Masalah, v, viii, x, xiii, 2, 5,
7, 24, 27, 29, 50, 51, 55, 79, 83,
92, 112, 143, 147, 148, 149, 151,
152, 158, 165, 185, 192, 193,
194, 195, 196, 197, 198, 199,
200, 201, 202, 203, 204, 205,
208, 209, 212, 214, 215, 216,
220, 222, 225, 226, 228, 230,
231, 232, 233, 234, 238, 241,
242, 243, 244, 245, 246, 247,
248, 249, 250, 251, 252, 253,
254, 255, 257, 260, 274, 278,
292, 308, 313, 332, 333, 335,

336, 337, 338, 339, 342, 347,
351, 353, 358, 363, 369, 371,
372, 373, 374, 376, 378, 379,
389, 416

Alat Bantu, viii, xiv, 6, 10, 11, 62,
87, 95, 102, 134, 177, 179, 216,
217, 231, 256, 269, 273, 281,
307, 311, 316, 319, 341, 343,
345, 347, 351, 369, 370, 374,
375, 377

Alat Digital, 101, 154, 167, 257,
356

Alat Inspeksi, 160, 350

Alat Ukur, viii, xiii, 2, 8, 24, 27,
32, 44, 50, 57, 59, 70, 74, 77, 80,
91, 102, 105, 108, 132, 150, 152,
157, 159, 160, 161, 165, 166,
167, 168, 169, 170, 171, 172,
183, 189, 200, 207, 209, 212,
218, 220, 221, 241, 251, 253,
256, 257, 260, 294, 336, 351,
393, 396

Analisis, i, iii, iv, v, viii, x, xi, xii,
xiii, xiv, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 14, 15,
17, 19, 21, 22, 23, 24, 27, 32, 34,
35, 36, 37, 38, 39, 42, 46, 53, 55,
56, 74, 76, 77, 79, 81, 85, 87, 88,
89, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98,
100, 101, 102, 103, 104, 107,
108, 109, 110, 111, 112, 114,
115, 116, 117, 118, 120, 122,
123, 124, 125, 126, 127, 128,
129, 131, 132, 133, 142, 143,
144, 145, 146, 147, 148, 149,

- 150, 151, 152, 156, 158, 159, 160, 161, 165, 168, 172, 175, 176, 177, 178, 179, 182, 183, 184, 185, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 201, 202, 204, 205, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 219, 220, 221, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 249, 251, 252, 253, 254, 257, 259, 260, 261, 263, 264, 269, 270, 272, 273, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 289, 292, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 307, 308, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 318, 320, 321, 322, 324, 325, 327, 330, 333, 335, 337, 338, 349, 351, 357, 359, 365, 368, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 416
- Analisis Akar Masalah, v, viii, xiii, 5, 7, 55, 92, 143, 147, 148, 151, 152, 158, 165, 192, 193, 194, 196, 198, 201, 202, 204, 205, 208, 215, 216, 226, 234, 238, 243, 257, 260, 278, 337, 351, 389, 416
- Analisis Data, 2, 3, 14, 23, 56, 101, 129, 133, 212, 299, 307, 389, 391, 393
- Analisis Pareto, viii, xiii, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 249, 313, 395
- Analisis Pola, viii, x, 205, 208, 209, 210, 211, 212, 214, 215, 220, 223, 224, 231, 234, 244, 259, 260, 263, 296, 303, 307, 316
- Analisis Sebab Akibat, 76, 215, 242, 244
- Analytical Thinking*, 12, 27, 93, 257, 334, 339, 389
- Anomali, xi, 95, 97, 181, 205, 207, 208, 215, 259, 260, 287, 294, 296, 307, 309, 311, 317, 318, 319, 321, 330
- Artificial Intelligence*, xi, 307, 383, 389
- Asumsi, viii, xiii, 4, 51, 58, 65, 66, 67, 69, 73, 113, 115, 116, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 158, 159, 165, 176, 177, 178, 183, 185, 189, 192, 195, 205, 211, 227, 260, 262, 265, 266, 267, 268, 271, 272, 273, 274, 275, 342, 390
- Asumsi Teknis, viii, xiii, 65, 113, 115, 116, 129, 130, 131, 132, 133, 143, 145, 146, 148, 149, 159, 165, 176, 189, 195, 390
- Audit, 132, 190, 229, 313, 390
- Audit Teknis, 313, 390
- ## B
- Bahan, viii, xii, 10, 16, 21, 22, 23, 27, 31, 42, 44, 52, 54, 55, 56, 59, 63, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77,

- 78, 79, 80, 81, 82, 85, 86, 89, 103, 106, 107, 110, 114, 120, 124, 125, 126, 130, 131, 133, 137, 147, 151, 192, 194, 196, 205, 216, 217, 218, 219, 220, 222, 225, 253, 281, 290, 313, 349, 358, 359, 369, 375, 376, 377, 394, 398
- Batas Masalah, viii, xiii, 33, 112, 115, 116, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 143, 145, 146, 148, 151, 203
- Benchmarking*, ix, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 380, 390
- Bengkel, vii, xii, 8, 18, 25, 27, 49, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 70, 77, 84, 86, 89, 103, 174, 175, 201, 235, 237, 269, 277, 281, 291, 293, 300, 305, 334, 341, 344, 345, 349, 351, 352, 355, 356, 361, 364, 365, 366, 372, 375, 376, 377
- Berpikir Analitis, 334, 339, 348, 389, 416
- Berpikir Kreatif, viii, xiv, 332, 338, 339, 342, 344, 346, 347, 348, 362
- Berpikir Sistem, v, vii, x, xii, 1, 7, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 94, 97
- Big Data*, 93, 257, 390
- BIM, viii, xi, xiv, 93, 94, 96, 99, 257, 260, 264, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 337, 356, 381, 382, 385, 387, 390
- Brainstorming*, ix, xiv, 224, 346, 357, 358, 359, 360, 362, 363, 390
- Budaya Kerja, v, 10, 43, 75, 219, 365, 367
- Building Information Modeling*, 92, 256, 257, 276, 381, 387, 390
- ## C
- CAD, viii, xi, xiv, 257, 258, 260, 264, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 334, 337, 341, 345, 352, 356, 362, 375, 378, 380, 390
- Calibration, 382, 393
- Case Study*, 398
- Cause and Effect, 390
- Checklist, 59, 63, 67, 70, 73, 78, 82, 87, 105, 106, 107, 125, 126, 155, 156, 161, 164, 174, 180, 182, 202, 203, 229, 232, 233, 242, 250, 253, 260, 262, 310, 312, 317, 342, 344, 347, 350, 352, 353, 354, 355, 361, 364, 365, 366, 367, 369, 370, 372, 373
- Cloud Computing*, 92, 390
- Collaborative Problem Solving*, 390
- Computer-Aided Design*, 276, 380, 390
- Continuous Improvement*, 396
- Control Panel*, 395

Corrective Action, 391

Creative Thinking, 334, 339

D

Dashboard, viii, xi, xiv, 27, 91, 93, 96, 97, 99, 100, 154, 256, 257, 258, 260, 263, 264, 288, 291, 293, 294, 295, 296, 301, 307, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 337, 347, 351, 352, 353, 355, 356, 364, 365, 366, 367, 369, 370, 372, 374, 377, 381, 391, 399

Dashboard Data, viii, xi, xiv, 27, 319, 320, 323, 330, 331, 367

Data, v, viii, x, xi, xiii, xiv, 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 137, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165,

166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 344, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 373, 374, 376, 377, 378, 379, 381, 384, 385, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 398, 399, 400, 416

Data Digital, 52, 91, 94, 99, 100, 152, 154, 181, 188, 256, 258, 261, 262, 263, 264, 288, 294, 296

- Data Lapangan, viii, x, xiii, 4, 13, 22, 71, 95, 106, 110, 111, 118, 149, 150, 152, 155, 165, 178, 181, 185, 188, 191, 192, 193, 205, 215, 216, 223, 226, 231, 235, 259, 262, 265, 275, 278, 280, 281, 286, 300, 307, 308, 314, 316, 319, 320, 335, 351, 354, 357, 358, 391
- Data Primer, 152, 153
- Data Sekunder, 152, 153, 154
- Data Sensor, xi, 32, 43, 96, 99, 100, 126, 149, 178, 245, 257, 258, 288, 289, 292, 293, 294, 296, 297, 304, 311, 317, 320, 327
- Decision Making*, 391, 396
- Design Thinking*, viii, xiv, 333, 340, 348, 349, 350, 351, 353, 354, 355, 356, 357, 362, 380, 381, 391
- Diagnosis, viii, xiv, 18, 95, 98, 127, 169, 259, 307, 308, 309, 311, 312, 315, 316, 317, 318, 319, 391
- Diagram, viii, x, xiii, 38, 62, 151, 154, 193, 194, 210, 213, 216, 217, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 231, 234, 236, 239, 241, 243, 244, 249, 254, 257, 260, 262, 263, 267, 270, 277, 316, 320, 322, 324, 352, 362, 374, 376, 377, 390, 391, 392, 399, 400
- Diagram Alir, 38, 352, 377, 392
- Diagram Pareto, 210, 213, 239, 257, 260, 262, 263, 267, 270, 322, 324
- Diagram Sebab Akibat, viii, x, xiii, 151, 193, 194, 216, 217, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 231, 234, 236, 241, 244, 249, 254, 316, 362, 390
- Digitalisasi, v, viii, xii, 6, 10, 17, 52, 54, 55, 92, 93, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 256, 373, 391
- Dokumentasi, viii, x, xiii, 5, 7, 10, 26, 27, 46, 48, 52, 58, 60, 63, 71, 73, 78, 82, 84, 96, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 123, 124, 126, 128, 132, 149, 150, 151, 152, 153, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 229, 232, 253, 257, 258, 260, 262, 263, 264, 267, 268, 272, 275, 299, 346, 356, 362, 379, 390, 391
- Dokumentasi Digital, 63, 98, 102, 258, 264
- Dokumentasi Lapangan, x, 153, 179, 183, 184
- Dunia Industri, 1
- E**
- Efektivitas, 120, 207, 260, 337, 345, 347, 351, 361, 372, 391, 393
- Efisiensi, v, 13, 14, 63, 88, 135, 136, 263, 267, 310, 337, 371, 390, 391, 393, 397

Empati, 391

Engineering, 1, 266, 380, 381, 382,
384, 386, 387, 388, 397

Evaluasi, 4, 5, 6, 9, 10, 14, 23, 26,
43, 46, 47, 52, 69, 71, 72, 73, 75,
78, 82, 90, 101, 107, 108, 110,
112, 134, 137, 144, 150, 193,
231, 257, 260, 261, 264, 278,
296, 313, 321, 331, 336, 337,
354, 356, 368, 372, 389, 390,
392, 395, 396, 397, 399

F

Failure, 392

Failure Mode, 392

Feedback, 399

Fishbone Diagram, 216, 392

Flowchart, 392

Formulir, viii, xiii, 4, 6, 10, 11, 46,
52, 63, 86, 97, 99, 101, 105, 108,
152, 157, 161, 162, 164, 178,
180, 181, 182, 183, 184, 185,
189, 204, 205, 242, 245, 256,
257, 258, 259, 262, 264, 305,
324, 343, 347, 352, 354, 355,
360, 361, 362, 365, 366, 370,
371, 373

Formulir Digital, 11, 97, 101, 181,
256, 257, 258, 259, 262, 264,
305, 324, 343, 352, 360, 361,
366, 370

Framework, 94, 258, 308, 386

Fungsi Alat, 60, 131

G

Gangguan, xi, 6, 26, 29, 35, 49, 51,
64, 66, 81, 85, 92, 94, 97, 100,
104, 107, 112, 113, 117, 120,
121, 125, 132, 141, 144, 150,
176, 178, 188, 207, 209, 210,
211, 212, 222, 227, 235, 237,
239, 240, 248, 251, 258, 259,
273, 285, 288, 290, 294, 307,
308, 309, 310, 311, 312, 315,
316, 318, 328, 334, 336, 341,
364, 365, 366, 391, 399

Gangguan Mesin, xi, 51, 307, 310,
315

Gejala, viii, x, xi, xii, xiii, 1, 2, 5,
9, 16, 24, 25, 27, 31, 34, 35, 36,
37, 38, 39, 40, 42, 46, 50, 51, 53,
54, 55, 63, 74, 82, 83, 84, 85, 86,
87, 88, 89, 90, 91, 92, 100, 102,
104, 107, 108, 110, 112, 114,
115, 116, 117, 118, 119, 120,
121, 122, 129, 130, 131, 132,
133, 134, 143, 144, 145, 146,
151, 179, 181, 190, 192, 193,
194, 195, 196, 197, 198, 199,
200, 201, 202, 203, 204, 205,
206, 207, 208, 209, 213, 217,
225, 226, 227, 228, 230, 234,
235, 249, 251, 252, 254, 257,
259, 261, 278, 289, 291, 296,
298, 301, 302, 305, 307, 308,
310, 311, 312, 318, 319, 321,
331, 335, 336, 339, 342, 351,
389, 392

Gejala Masalah, viii, x, xii, 1, 36,
40, 42, 46, 53, 54, 55, 63, 82, 83,
84, 85, 86, 87, 90, 91, 92, 102,

104, 114, 179, 181, 193, 259,
335, 392
Geographic Information System,
297, 392
GIS, xi, 297, 392
Green Technology, 392

H

Human Error, 392

I

Identifikasi, i, iii, iv, v, 10, 16, 46,
58, 76, 96, 100, 106, 108, 113,
122, 133, 139, 144, 151, 155,
156, 162, 175, 193, 217, 257,
259, 262, 264, 278, 293, 298,
299, 302, 321, 389, 392, 394,
416
Identifikasi Masalah, i, iii, iv, v,
44, 46, 55, 100, 257, 264, 278,
321, 392, 416
Implementasi, 37, 101, 260, 264,
321, 334, 336, 341, 343, 354,
356, 392
Indikator, 54, 55, 63, 64, 68, 77,
78, 84, 90, 136, 246, 248, 254,
320, 321, 322, 324, 325, 326,
329, 330, 331, 340, 341, 343,
344, 346, 347, 352, 353, 354,
355, 361, 364, 365, 367, 368,
373, 376, 377, 391, 392, 393
Indikator Kinerja, 54, 320, 341,
365, 393
Industri, v, viii, ix, xii, 1, 6, 7, 8,
11, 14, 18, 19, 27, 30, 47, 51, 52,
54, 55, 92, 93, 94, 95, 97, 101,
102, 188, 189, 256, 275, 279,
294, 296, 301, 303, 306, 318,
319, 329, 363, 364, 365, 366,
367, 368, 377, 393, 416
Industri 4.0, 93, 256, 393
Informasi, viii, xi, xiv, 9, 24, 26,
27, 34, 43, 46, 51, 57, 63, 66, 91,
92, 93, 94, 98, 99, 100, 102, 106,
107, 109, 112, 114, 115, 116,
118, 122, 135, 144, 146, 152,
153, 159, 164, 165, 169, 179,
180, 181, 182, 183, 187, 188,
189, 205, 231, 245, 257, 258,
259, 260, 277, 278, 279, 280,
281, 283, 284, 285, 286, 294,
296, 297, 298, 299, 300, 306,
307, 310, 314, 317, 318, 319,
320, 321, 322, 323, 325, 326,
327, 328, 329, 330, 344, 356,
364, 365, 375, 377, 389, 390,
391, 392, 394, 395, 399
Inovasi, v, 6, 10, 11, 12, 14, 15,
44, 332, 333, 336, 337, 340, 342,
346, 348, 349, 356, 367, 373,
376, 393, 415
Inovasi Terapan, 10, 11, 14, 15
Inspection, 383, 393
Inspeksi, viii, xi, xiii, 3, 6, 10, 11,
12, 17, 25, 26, 29, 32, 43, 46, 51,
52, 59, 69, 70, 71, 73, 77, 78, 81,
82, 87, 88, 95, 96, 98, 99, 100,
105, 117, 125, 131, 132, 140,
141, 149, 150, 152, 153, 155,
159, 160, 161, 162, 163, 164,

- 165, 172, 174, 178, 180,
181, 182, 197, 199, 200, 204,
205, 210, 216, 220, 222, 226,
229, 231, 232, 235, 236, 242,
244, 245, 247, 250, 252, 254,
262, 263, 278, 296, 297, 298,
300, 301, 302, 303, 304, 305,
306, 307, 308, 310, 311, 312,
313, 316, 319, 320, 321, 324,
327, 328, 329, 330, 336, 339,
340, 345, 347, 350, 353, 354,
360, 361, 363, 364, 365, 369,
371, 372, 391, 393
- Instruksi Kerja, 12, 41, 46, 60, 63,
75, 77, 82, 133, 155, 164, 200,
201, 203, 211, 218, 220, 229,
277, 399
- Internet of Things*, viii, xi, 92, 154,
256, 287, 383, 385, 387, 393
- Investigasi, 140, 141, 393
- IoT, xi, xiv, 287, 288, 290, 291,
292, 293, 294, 295, 296, 304,
326, 327, 337, 356, 377, 383,
385, 393
- ## K
- Kalibrasi, viii, 38, 56, 57, 59, 65,
74, 78, 82, 94, 120, 131, 132,
141, 149, 152, 154, 157, 165,
166, 167, 169, 170, 171, 172,
181, 186, 199, 201, 211, 218,
220, 224, 225, 245, 288, 289,
291, 294, 296, 313, 393
- Kapasitas, 17, 21, 32, 35, 38, 69,
74, 77, 78, 79, 80, 82, 88, 100,
105, 118, 120, 123, 126, 137,
146, 160, 163, 166, 167, 168,
169, 171, 176, 192, 195, 200,
208, 210, 211, 218, 220, 222,
224, 228, 229, 233, 244, 247,
248, 252, 258, 267, 271, 288,
290, 292, 313, 347, 355, 359,
361, 368, 369, 372
- Kasus Teknik, viii, xiii, 131, 136,
197, 216, 217, 218, 220, 222,
229, 230, 300, 317, 323, 335
- Keamanan, 16, 18, 22, 93, 94, 95,
97, 99, 101, 102, 164, 183, 188,
189, 191, 257, 258, 260, 264,
274, 288, 293, 294, 296, 308,
314, 315, 318, 319, 329, 335,
352
- Keandalan, 30, 59, 63, 65, 79, 124,
126, 141, 171, 257, 393
- Keberlanjutan, 6, 14, 16, 37, 38,
74, 95, 97, 98, 113, 332, 337,
369, 398
- Kebutuhan Pengguna, viii, xiii, 4,
12, 37, 51, 53, 57, 59, 66, 72, 83,
91, 113, 115, 116, 134, 135, 136,
137, 138, 143, 145, 146, 148,
151, 274, 282, 285, 321, 331,
332, 333, 335, 336, 338, 339,
340, 348, 349, 351, 353, 358,
363, 376, 379, 391, 394
- Kecerdasan Buatan, viii, xiv, 52,
92, 93, 95, 98, 102, 256, 259,
264, 307, 308, 311, 318, 319,
389, 393, 395
- Keputusan, v, x, 2, 3, 4, 9, 10, 11,
12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21,
22, 23, 24, 27, 30, 31, 32, 33, 34,
37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 47,

48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 57, Keselamatan, v, viii, xii, 1, 2, 4, 6,
 58, 59, 61, 64, 65, 67, 71, 73, 74, 8, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21,
 89, 90, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 33, 34, 35,
 101, 106, 116, 139, 140, 142, 37, 39, 40, 41, 42, 44, 47, 48, 49,
 143, 144, 147, 149, 151, 152, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 60, 61,
 153, 157, 159, 165, 168, 171, 63, 65, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75,
 172, 175, 178, 184, 185, 186, 76, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86,
 187, 189, 191, 215, 240, 244, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 95, 96, 98,
 245, 252, 259, 261, 262, 263, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 106,
 265, 266, 267, 269, 271, 274, 108, 109, 110, 111, 113, 121,
 275, 280, 285, 286, 287, 293, 124, 126, 127, 133, 135, 136,
 297, 303, 306, 308, 309, 314, 137, 138, 139, 140, 141, 142,
 315, 316, 317, 319, 321, 322, 143, 149, 151, 152, 153, 155,
 326, 328, 330, 370, 376, 378, 156, 158, 159, 160, 162, 163,
 389, 391, 392, 393, 396, 416 164, 165, 167, 168, 169, 172,
 176, 177, 187, 193, 196, 199,
 Keputusan Teknis, x, 18, 33, 39, 200, 215, 217, 219, 227, 232,
 40, 41, 46, 49, 53, 54, 56, 59, 65, 240, 243, 244, 246, 253, 256,
 73, 89, 99, 106, 116, 142, 144, 258, 259, 262, 263, 271, 274,
 152, 157, 168, 171, 175, 185, 285, 286, 290, 291, 295, 296,
 187, 189, 191, 244, 267, 269, 303, 304, 308, 314, 315, 316,
 286, 308, 317, 389, 393 318, 319, 328, 330, 332, 333,
 Kerja Lapangan, 27, 63, 134, 340 334, 336, 337, 338, 339, 340,
 Kesalahan, 12, 13, 17, 22, 25, 26, 341, 343, 345, 346, 347, 348,
 27, 30, 38, 42, 43, 46, 47, 50, 52, 349, 351, 355, 357, 358, 359,
 56, 57, 59, 60, 63, 64, 67, 69, 70, 361, 362, 363, 365, 366, 368,
 71, 74, 75, 77, 80, 85, 95, 96, 98, 370, 371, 372, 374, 387, 393,
 105, 113, 119, 120, 126, 134, 400
 148, 150, 163, 164, 165, 166, Keselamatan Kerja, 1, 6, 26, 41,
 167, 169, 171, 187, 190, 196, 44, 48, 58, 63, 70, 75, 85, 96,
 201, 202, 203, 207, 209, 212, 102, 113, 139, 340, 363, 366,
 222, 235, 238, 243, 244, 253, 387, 393
 254, 265, 267, 268, 269, 271,
 272, 275, 276, 277, 278, 283,
 288, 299, 301, 304, 308, 309,
 314, 315, 319, 323, 326, 329,
 336, 341, 345, 346, 355, 367,
 370, 378, 379, 392, 395, 400

Kesiapan Kerja, 7, 8, 11, 14, 55
 Keterampilan, v, 2, 3, 4, 6, 8, 9,
 12, 14, 17, 19, 23, 24, 27, 40, 49,
 56, 59, 61, 65, 76, 92, 93, 95, 98,
 99, 102, 111, 114, 122, 201, 222,
 241, 257, 262, 273, 334, 339,
 356, 365, 394

Keterampilan Praktik, 3, 14

Kinerja, viii, xiii, 16, 24, 25, 34, 35, 42, 50, 54, 58, 75, 79, 104, 113, 115, 116, 117, 119, 121, 134, 136, 137, 138, 143, 145, 146, 148, 151, 152, 164, 166, 210, 246, 251, 258, 260, 282, 290, 320, 336, 341, 363, 365, 368, 373, 390, 393, 395, 396, 399

Kolaborasi, 11, 30, 264, 333, 337, 340, 349, 356, 393

Kompetensi, v, vi, vii, x, xii, 1, 2, 7, 8, 12, 14, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 41, 42, 44, 48, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 69, 74, 79, 82, 86, 90, 97, 102, 123, 149, 151, 162, 166, 168, 169, 172, 181, 218, 220, 245, 253, 256, 257, 281, 284, 394, 416

Kompetensi Analitis, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31

Kompetensi Praktis, v, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 31

Kompetensi Teknis, vii, xii, 7, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 56, 61

Komponen, xiv, 17, 24, 29, 31, 33, 35, 43, 56, 59, 62, 63, 64, 74, 75, 77, 79, 84, 85, 86, 88, 104, 108, 120, 124, 131, 141, 146, 147, 162, 167, 171, 199, 200, 208, 211, 218, 220, 222, 223, 229, 233, 242, 245, 247, 248, 250, 251, 252, 253, 258, 276, 277, 278, 280, 281, 282, 285, 288, 289, 292, 311, 322, 323, 351, 355, 359, 363, 369, 370, 372, 374, 375, 376, 379, 392, 395, 398

Komunikasi, 2, 3, 4, 7, 11, 14, 18, 19, 23, 26, 30, 40, 43, 46, 48, 50, 52, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 65, 67, 70, 73, 74, 75, 77, 80, 82, 96, 98, 101, 102, 107, 108, 121, 144, 148, 153, 156, 178, 192, 193, 200, 218, 219, 220, 254, 260, 263, 277, 279, 281, 282, 286, 287, 290, 293, 296, 306, 310, 312, 319, 343, 356, 378, 394

Komunikasi Teknis, 2, 4, 14, 19, 23, 26, 43, 46, 48, 50, 56, 59, 61, 65, 96, 98, 156, 254, 260, 263, 279, 286, 310, 312, 319, 378, 394

Konsep, v, ix, 3, 7, 9, 10, 15, 18, 19, 20, 22, 23, 25, 29, 31, 47, 56, 57, 99, 114, 138, 167, 179, 207, 241, 256, 271, 277, 285, 344, 369, 374, 375, 376, 378, 379, 396, 400, 416

Konseptual, 7, 19, 125

Konstruksi, 1, 26, 31, 38, 49, 57, 66, 67, 70, 79, 85, 94, 96, 109, 127, 128, 147, 162, 235, 276, 279, 394, 414

Kontrol, 6, 93, 94, 95, 96, 98, 100, 102, 134, 147, 181, 183, 189, 260, 271, 272, 293, 294

Kontrol Mutu, 6

Kualitas, vi, 18, 21, 32, 35, 38, 39, 47, 66, 72, 84, 88, 93, 95, 96, 99, 100, 110, 118, 120, 149, 154, 164, 178, 183, 189, 190, 191,

239, 242, 254, 258, 263, 270,
275, 282, 283, 285, 288, 289,
291, 292, 297, 299, 300, 303,
304, 305, 308, 309, 311, 314,
315, 317, 318, 321, 322, 324,
327, 329, 330, 331, 352, 367,
373, 378, 393, 394, 396, 397,
415

L

Laboratorium, vii, xii, 8, 18, 21,
25, 26, 38, 39, 40, 47, 49, 51, 52,
54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62,
63, 64, 65, 70, 77, 78, 84, 86, 89,
95, 100, 101, 103, 106, 107, 114,
124, 125, 132, 137, 140, 144,
145, 149, 157, 166, 181, 192,
201, 211, 218, 219, 222, 223,
227, 232, 235, 242, 245, 248,
250, 253, 258, 267, 274, 285,
290, 291, 292, 293, 295, 313,
329, 347, 349, 350, 355, 356,
364, 365, 366

Learning Analytics, 394

Log Digital, viii, xiii, 152, 161,
178, 179, 181, 182, 183, 184,
185, 189, 204, 205, 209, 236,
242, 245, 254, 311, 320, 394

M

Maintenance, 93, 99, 229, 394,
396

Manajemen, 11, 31, 42, 50, 58, 66,
67, 72, 75, 76, 83, 85, 90, 95, 98,
99, 108, 122, 127, 130, 133, 139,
140, 144, 161, 166, 186, 192,

196, 208, 217, 219, 227, 229,
245, 256, 259, 260, 277, 281,
284, 286, 308, 333, 340, 342,
363, 366, 367, 394, 400

Manajemen Risiko, 76, 108, 127,
130, 133, 144, 217, 227, 394

Material, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 16, 18,
20, 21, 23, 25, 27, 31, 33, 34, 35,
38, 40, 41, 46, 47, 49, 52, 57, 58,
60, 62, 66, 67, 68, 69, 70, 72, 74,
75, 78, 80, 83, 84, 85, 86, 87, 88,
89, 90, 91, 101, 113, 115, 118,
119, 120, 121, 131, 132, 136,
137, 140, 142, 151, 153, 156,
157, 159, 160, 163, 164, 169,
172, 173, 181, 195, 196, 197,
203, 209, 211, 212, 217, 218,
220, 221, 237, 238, 240, 241,
242, 263, 265, 266, 267, 269,
270, 271, 273, 277, 278, 280,
282, 291, 295, 299, 300, 310,
313, 328, 332, 335, 337, 341,
343, 362, 364, 368, 369, 371,
373, 374, 377, 379, 390, 394

Measurement, 217, 381, 383, 384,
388, 396

Metode, viii, x, xii, xiii, 2, 4, 6, 10,
11, 16, 17, 21, 23, 24, 31, 34, 35,
37, 41, 42, 47, 49, 52, 54, 55, 56,
60, 65, 66, 68, 69, 70, 71, 72, 73,
74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82,
83, 85, 86, 87, 89, 90, 102, 103,
104, 105, 107, 114, 120, 128,
129, 130, 131, 133, 144, 150,
155, 157, 160, 161, 162, 163,
164, 165, 166, 167, 182, 186,
187, 189, 190, 191, 192, 194,
195, 200, 205, 208, 209, 212,

- 216, 217, 218, 219, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 241, 244, 246, 249, 251, 259, 263, 269, 292, 294, 299, 302, 313, 316, 320, 330, 332, 341, 342, 346, 349, 358, 359, 362, 363, 364, 368, 377, 389, 390, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399
- Metode Kerja, 2, 4, 6, 10, 16, 21, 23, 42, 56, 60, 65, 66, 69, 73, 75, 78, 80, 85, 86, 87, 90, 103, 155, 200, 212, 221, 263, 269, 332, 342
- Metode Lima Mengapa, viii, x, xiii, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 241, 244, 249
- Monitoring, xi, 11, 52, 93, 94, 100, 154, 181, 248, 251, 257, 258, 259, 260, 301, 307, 343, 366, 376, 381, 394, 395
- Mutu, v, viii, xii, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 33, 34, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 47, 49, 50, 52, 54, 55, 57, 59, 60, 63, 65, 66, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 88, 90, 91, 92, 95, 105, 110, 113, 115, 118, 119, 121, 124, 126, 130, 134, 136, 139, 140, 141, 142, 143, 149, 151, 156, 165, 166, 171, 172, 187, 192, 193, 196, 202, 207, 208, 213, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 227, 232, 243, 245, 263, 267, 270, 271, 278, 328, 335, 336, 341, 363, 364, 368, 370, 371, 374, 390, 394, 396, 397, 400
- ## O
- Observasi, viii, xii, 3, 10, 18, 19, 21, 22, 26, 51, 52, 54, 55, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65, 73, 77, 78, 81, 82, 87, 90, 91, 92, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 115, 117, 123, 125, 126, 127, 128, 129, 131, 132, 133, 135, 140, 143, 145, 146, 147, 149, 151, 153, 157, 161, 162, 173, 179, 180, 182, 195, 201, 219, 231, 233, 236, 242, 296, 298, 310, 319, 353, 354, 356, 357, 364, 391, 395
- Observasi Lapangan, viii, xii, 54, 55, 62, 73, 87, 90, 102, 103, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 173, 179, 231, 296, 319, 353
- OECD, 8, 17, 24, 52, 309, 332, 342, 386
- Operasional, 4, 6, 11, 18, 27, 33, 35, 56, 59, 61, 65, 66, 72, 75, 119, 321, 329, 333, 337, 338, 389, 395, 398
- Optimalisasi, 395
- Optimasi, 6, 95, 98
- Otomasi, viii, xii, 52, 54, 55, 92, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 256, 279, 395
- Output, 68, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 136, 158, 263, 266, 269, 395, 396

P

- Panel Listrik, x, 2, 9, 10, 17, 26,
29, 35, 39, 50, 51, 77, 80, 81, 94,
112, 125, 127, 132, 133, 137,
142, 150, 151, 160, 162, 176,
192, 195, 200, 205, 208, 211,
217, 219, 221, 229, 236, 244,
245, 248, 250, 251, 279, 290,
292, 308, 313, 315, 333, 340,
347, 349, 355, 361, 372
- Parameter, 94, 95, 97, 100, 160,
161, 162, 163, 165, 168, 169,
180, 182, 186, 187, 188, 189,
209, 258, 266, 267, 270, 273,
289, 290, 291, 295, 296, 300,
334, 395
- Pareto, viii, xiii, 210, 213, 235,
236, 237, 238, 239, 240, 241,
242, 243, 244, 249, 254, 257,
260, 262, 263, 267, 270, 275,
313, 316, 322, 324, 326, 328,
331, 362, 395
- Peralatan, 2, 17, 35, 50, 56, 72, 94,
117, 119, 120, 121, 135, 161,
162, 195, 200, 201, 206, 224,
228, 229, 248, 250, 253, 269,
285, 393, 394, 396
- Perawatan, 1, 3, 21, 24, 25, 33, 35,
38, 39, 43, 46, 49, 59, 65, 66, 69,
71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80,
82, 83, 85, 87, 98, 100, 104, 105,
107, 108, 109, 110, 113, 117,
118, 119, 120, 131, 133, 135,
138, 149, 150, 151, 153, 155,
169, 174, 175, 176, 195, 196,
197, 200, 202, 204, 205, 207,
208, 212, 218, 220, 222, 229,
231, 232, 233, 235, 241, 245,
246, 250, 253, 254, 258, 265,
274, 285, 294, 295, 301, 310,
311, 312, 313, 317, 325, 328,
335, 336, 337, 341, 342, 343,
344, 347, 351, 352, 360, 361,
364, 365, 366, 369, 370, 371,
372, 373, 374, 375, 378, 379,
396
- Perbaikan, v, 3, 4, 6, 10, 11, 12,
13, 25, 26, 29, 32, 34, 35, 37, 41,
44, 52, 56, 59, 62, 64, 66, 72, 73,
76, 82, 87, 89, 90, 119, 125, 137,
169, 171, 192, 196, 197, 202,
208, 226, 235, 236, 238, 240,
248, 253, 254, 274, 280, 282,
300, 318, 320, 332, 337, 338,
339, 340, 342, 343, 344, 345,
350, 351, 357, 359, 360, 361,
366, 367, 369, 370, 371, 376,
379, 391, 394, 396
- Perbaikan Berkelanjutan, v, 4, 13,
66, 72, 76, 208, 226, 396
- Perencanaan, viii, xii, xiii, 11, 54,
55, 57, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72,
73, 84, 85, 114, 120, 142, 150,
152, 155, 159, 161, 162, 163,
164, 165, 203, 233, 241, 242,
258, 270, 276, 292, 303, 310,
311, 396, 397
- Performa, 57
- Performance*, 380, 393
- Permasalahan, v, 389, 390, 398,
416
- Permasalahan Teknik, 390, 416

Pernyataan Masalah, viii, xii, 3,
 21, 107, 112, 115, 116, 117, 118,
 119, 120, 121, 122, 143, 145,
 146, 148, 217, 226
 Persyaratan Teknis, 83, 396
 Pola Data, xiii, 151, 206, 208, 209,
 212, 220, 225, 231, 259, 274
 Populasi, 173, 174, 177, 398, 399
 Prediksi, 95, 98, 260, 262, 307,
 308, 310, 311, 319, 389, 395
 Prioritas, viii, xiii, 10, 66, 69, 81,
 86, 87, 89, 90, 113, 116, 121,
 131, 139, 140, 141, 142, 143,
 145, 146, 148, 204, 206, 212,
 213, 220, 223, 225, 234, 238,
 239, 240, 241, 243, 244, 251,
 298, 299, 300, 301, 302, 303,
 304, 306, 307, 321, 322, 323,
 324, 325, 326, 328, 329, 330,
 331, 337, 356, 360, 373
 Prioritas Masalah, viii, xiii, 113,
 116, 139, 140, 141, 143, 145,
 304
Problem Solving, i, iii, iv, v, vi, vii,
 viii, x, xi, xii, xiii, xiv, 1, 2, 3, 4,
 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,
 15, 17, 23, 24, 25, 26, 29, 30, 40,
 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51,
 52, 53, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 70,
 73, 74, 76, 79, 81, 86, 92, 93,
 100, 101, 102, 108, 109, 111,
 112, 115, 116, 118, 122, 129,
 130, 132, 134, 143, 144, 147,
 148, 149, 151, 152, 155, 157,
 158, 166, 172, 178, 185, 186,
 189, 191, 194, 199, 204, 205,
 234, 235, 240, 244, 254, 256,
 257, 258, 259, 261, 262, 263,
 264, 265, 266, 267, 269, 272,
 274, 275, 276, 277, 278, 279,
 280, 281, 283, 284, 285, 286,
 287, 289, 290, 291, 294, 295,
 296, 298, 300, 301, 305, 306,
 307, 308, 311, 314, 317, 319,
 320, 321, 322, 323, 331, 332,
 333, 334, 336, 338, 339, 349,
 356, 358, 363, 367, 368, 371,
 373, 374, 376, 380, 389, 390,
 392, 396, 416
Problem Solving Teknik Terapan,
 i, iii, iv, v, vi, vii, x, xii, xiii, xiv,
 1, 2, 4, 5, 6, 7, 14, 15, 30, 41, 42,
 45, 46, 47, 48, 61, 64, 65, 70, 73,
 74, 76, 79, 86, 92, 100, 102, 108,
 109, 111, 112, 116, 122, 129,
 134, 148, 152, 158, 172, 178,
 185, 189, 191, 204, 205, 234,
 235, 244, 256, 259, 261, 263,
 265, 267, 275, 276, 298, 300,
 307, 311, 319, 320, 323, 332,
 338, 339, 358, 363, 368, 374,
 396, 416
 Produk, 2, 24, 31, 37, 50, 57, 66,
 75, 79, 83, 84, 87, 120, 134, 137,
 166, 173, 175, 194, 196, 202,
 206, 232, 241, 269, 308, 332,
 342, 352, 363, 368, 393, 394,
 396, 397, 398
 Produktivitas, viii, xii, 2, 6, 18, 33,
 34, 54, 55, 65, 67, 68, 69, 71, 73,
 74, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 87, 88,
 89, 90, 91, 92, 97, 107, 110, 113,
 121, 124, 126, 132, 136, 140,
 143, 157, 158, 160, 174, 192,
 206, 212, 219, 232, 263, 265,

266, 267, 269, 273, 275, 310,
340, 396

Prosedur, v, 1, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 11,
12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22,
23, 25, 26, 27, 29, 31, 33, 38, 40,
41, 42, 43, 44, 47, 49, 50, 51, 55,
56, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 68,
69, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 79,
80, 81, 82, 83, 86, 91, 96, 100,
101, 103, 107, 117, 118, 120,
121, 125, 132, 137, 138, 149,
151, 152, 153, 156, 159, 161,
166, 169, 175, 179, 181, 186,
195, 196, 199, 200, 201, 203,
211, 217, 218, 220, 221, 222,
224, 228, 229, 231, 232, 242,
246, 248, 250, 251, 253, 256,
262, 263, 274, 285, 332, 334,
338, 340, 341, 342, 345, 347,
348, 351, 352, 355, 357, 358,
361, 363, 364, 365, 366, 367,
369, 370, 372, 374, 376, 377,
389, 390, 391, 392, 393, 394,
395, 396, 397, 398

Proses, v, 1, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 12,
13, 15, 16, 20, 21, 24, 25, 26, 29,
30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 40,
42, 43, 46, 47, 51, 54, 56, 60, 61,
64, 66, 74, 75, 78, 79, 80, 82, 84,
86, 88, 89, 93, 95, 96, 97, 104,
105, 107, 108, 112, 113, 114,
115, 116, 118, 121, 123, 124,
127, 128, 129, 130, 131, 132,
133, 134, 137, 143, 144, 147,
149, 151, 160, 161, 166, 169,
172, 178, 181, 182, 185, 186,
188, 189, 193, 194, 196, 200,
201, 202, 203, 207, 208, 219,
221, 231, 240, 241, 242, 244,

254, 256, 262, 263, 265, 266,
275, 277, 278, 287, 307, 309,
312, 314, 317, 318, 322, 325,
332, 333, 334, 336, 337, 342,
346, 348, 349, 356, 357, 358,
362, 363, 364, 365, 367, 368,
369, 370, 374, 376, 378, 379,
389, 390, 391, 392, 393, 394,
395, 396, 397, 398, 399, 400

Prototipe, 125, 257, 260, 334, 336,
337, 338, 341, 343, 345, 346,
349, 350, 351, 352, 353, 354,
355, 356, 357, 374, 375, 376,
377, 378, 379, 391, 397

Q

Quality, 172, 216, 236, 291, 380,
381, 383, 384, 385, 387, 394,
396, 397

Quality Assurance, 397

Quality Control, 383, 385, 396,
397

R

Rantai Sebab Akibat, 228, 234

RCA, 397

Rekomendasi, 1, 3, 4, 19, 23, 26,
28, 29, 62, 73, 95, 98, 107, 110,
123, 125, 126, 127, 128, 151,
163, 170, 193, 194, 256, 259,
262, 280, 298, 300, 302, 307,
314, 316, 320, 321, 327, 356,
365, 376, 378, 379, 397

Rekomendasi Teknis, 26, 62, 98,
125, 126, 262, 280, 397

- Reliabilitas, viii, x, xiii, 150, 152, 166, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 246, 294, 397
- Reliability*, 393, 397
- Rendering*, 397
- Resiko, 397
- Respon Sistem, 397
- Review, 385
- Risk*, 308, 382, 394, 397, 400
- Risk Management*, 308, 382, 394
- Root Cause*, 202, 380, 387, 389, 397
- Root Cause Analysis*, 202, 380, 387, 389, 397
- ## S
- Sampling*, viii, xiii, 104, 109, 147, 150, 152, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 186, 190, 221, 258, 270, 289, 290, 291, 292, 296, 297, 298, 300, 301, 305, 307, 375, 376, 383, 398, 399
- Sensor, viii, xi, xiv, 6, 10, 27, 32, 43, 52, 54, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100, 101, 126, 149, 154, 156, 169, 178, 181, 182, 240, 241, 245, 256, 257, 258, 260, 262, 264, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 304, 307, 309, 311, 313, 317, 320, 324, 326, 327, 328, 329, 330, 334, 335, 337, 351, 353, 355, 356, 360, 361, 370, 373, 374, 375, 398
- Siklus, 6, 37, 88, 94, 105, 136, 155, 158, 160, 206, 279, 280, 281, 286, 371
- Simulasi, 3, 19, 22, 27, 28, 57, 100, 101, 256, 257, 258, 259, 260, 262, 264, 312, 334, 336, 338, 341, 343, 345, 352, 375, 398
- Sistem, v, vii, viii, x, xi, xii, xiv, 1, 6, 7, 10, 11, 23, 24, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 49, 50, 51, 52, 54, 57, 58, 62, 66, 71, 72, 74, 75, 76, 79, 80, 83, 85, 86, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 104, 106, 109, 119, 124, 126, 130, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 144, 147, 154, 155, 156, 161, 166, 180, 181, 182, 183, 185, 186, 188, 192, 195, 196, 197, 200, 201, 202, 208, 211, 217, 226, 227, 229, 231, 232, 234, 242, 245, 253, 256, 257, 258, 259, 264, 266, 269, 278, 280, 283, 287, 288, 291, 292, 293, 294, 295, 297, 299, 300, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 314, 317, 318, 321, 322, 332, 333, 336, 340, 341, 342, 343, 344, 349, 350, 351, 355, 356, 357, 358, 360, 364, 365, 366, 367, 369, 370, 373, 374, 376, 377, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400
- Sistem Digital, 54, 93, 94, 188, 258, 307, 370, 377

Sistem Informasi, viii, xi, xiv, 27, 92, 93, 258, 297, 300, 306, 307, 322, 392

Sistem Informasi Geografis, viii, xi, xiv, 93, 258, 297, 300, 306, 307

Sistem Kerja, 23, 33, 43, 62, 72, 74, 79, 86, 196, 197, 201, 212, 229, 231, 232, 349

Smart Technology, 398

Software, 260, 380, 381, 384, 398

Solusi, i, iii, iv, v, viii, ix, x, xiv, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 55, 57, 58, 63, 67, 69, 73, 79, 82, 83, 92, 100, 102, 112, 114, 115, 116, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 128, 129, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 143, 145, 147, 149, 151, 152, 158, 177, 183, 185, 191, 192, 193, 194, 197, 198, 202, 203, 204, 244, 254, 256, 257, 259, 260, 262, 263, 264, 274, 276, 278, 282, 285, 286, 293, 296, 321, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 389, 390, 392, 396, 397, 398, 399, 416

Solusi Inovatif, v, viii, x, xiv, 5, 6, 7, 9, 15, 44, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 341, 342, 348, 374, 379, 416

SOP, 3, 21, 43, 52, 78, 81, 82, 105, 131, 132, 151, 153, 155, 160, 164, 201, 210, 218, 219, 221, 223, 224, 229, 242, 245, 246, 250, 251, 311, 313, 398

Spesifikasi, 3, 9, 12, 18, 21, 23, 24, 25, 26, 40, 41, 52, 57, 58, 59, 60, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 74, 75, 77, 78, 80, 83, 84, 87, 88, 90, 92, 131, 134, 136, 153, 155, 156, 163, 164, 165, 167, 168, 195, 203, 210, 218, 220, 245, 246, 251, 263, 267, 271, 277, 280, 282, 285, 289, 394, 396, 397, 398, 399

Spesifikasi Teknis, 23, 153, 398

Spreadsheet, viii, xi, xiv, 97, 101, 243, 256, 257, 260, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 305, 311, 326, 334, 336, 337, 341, 345, 352, 356, 362, 365, 370, 373, 380, 381, 386, 398

Standar, vi, 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 33, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 56, 58, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 75, 77, 80, 83, 87, 88, 90, 92, 95, 96, 99, 100, 103, 113, 114, 127, 129, 130, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 151, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 161, 163, 164,

- 165, 166, 169, 170, 172, 175,
176, 178, 192, 209, 210, 215,
216, 219, 222, 246, 248, 251,
256, 259, 262, 267, 269, 275,
279, 281, 285, 286, 288, 291,
293, 300, 304, 306, 308, 311,
314, 319, 330, 332, 333, 335,
339, 341, 348, 349, 350, 357,
361, 362, 363, 364, 365, 367,
368, 371, 372, 374, 390, 392,
393, 394, 395, 396, 397, 398,
399, 416
- Standar Kerja, 11, 25, 47, 96, 103,
395
- Standard*, 279, 381, 382, 383, 384,
385, 387
- Statistik, 243, 270, 400
- Studi Kasus, 3, 6, 12, 13, 15, 19,
22, 27, 30, 33, 91, 202, 337, 364,
365, 398
- Supervisor*, vii, xii, 39, 41, 42, 43,
44, 46, 47, 48, 94, 106, 108, 114,
116, 122, 144, 233, 277, 321,
333, 337, 356, 398
- Sustainability*, 398
- ## T
- Tahapan, xiv, 2, 8, 10, 60, 336,
353
- Target, 51, 66, 68, 72, 79, 86, 88,
89, 91, 232, 267, 323, 400
- Teknik, i, iii, iv, v, vi, vii, viii, x,
xi, xii, xiii, xiv, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,
8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17,
19, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,
30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38,
39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47,
48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56,
57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67,
68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76,
77, 79, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 91,
92, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100,
102, 103, 104, 106, 108, 109,
111, 112, 113, 114, 115, 116,
117, 118, 119, 120, 121, 122,
123, 125, 127, 129, 131, 134,
136, 137, 138, 139, 140, 143,
146, 147, 148, 149, 150, 151,
152, 153, 154, 155, 156, 157,
158, 159, 165, 168, 169, 171,
172, 173, 174, 175, 177, 178,
179, 180, 181, 183, 185, 186,
187, 188, 189, 191, 192, 193,
194, 197, 199, 200, 202, 204,
205, 206, 207, 208, 212, 215,
216, 217, 218, 219, 220, 222,
225, 226, 229, 230, 231, 234,
235, 236, 243, 244, 245, 252,
256, 257, 258, 259, 261, 262,
263, 264, 265, 266, 267, 269,
270, 271, 272, 273, 275, 276,
277, 279, 280, 281, 282, 286,
287, 288, 290, 291, 296, 297,
298, 299, 300, 301, 305, 306,
307, 308, 309, 311, 312, 314,
315, 317, 319, 320, 321, 322,
323, 327, 330, 331, 332, 333,
334, 335, 336, 337, 338, 339,
340, 341, 342, 344, 346, 348,
349, 350, 352, 353, 354, 356,
357, 358, 359, 362, 363, 368,
369, 370, 373, 374, 375, 376,
378, 390, 391, 393, 394, 395,
396, 398, 399, 414, 416
- Teknik Analisis, 7, 215, 226, 234

Teknik Sampling, viii, xiii, 150,
152, 172, 174, 175, 177, 178,
399

Teknisi, vii, xii, 37, 39, 40, 41, 42,
43, 44, 46, 47, 48, 62, 74, 94, 95,
97, 100, 106, 108, 114, 116, 121,
122, 125, 127, 134, 138, 144,
162, 229, 233, 246, 248, 259,
277, 292, 306, 313, 315, 321,
325, 333, 337, 340, 342, 344,
345, 347, 350, 354, 355, 356,
372, 375

Teknologi, v, vi, viii, x, xiii, 1, 6,
7, 8, 10, 14, 19, 27, 40, 47, 49,
50, 52, 56, 92, 93, 94, 95, 96, 97,
98, 99, 100, 101, 102, 256, 257,
258, 259, 261, 262, 263, 264,
265, 276, 287, 296, 297, 307,
332, 337, 338, 339, 340, 345,
346, 349, 355, 356, 358, 359,
370, 371, 374, 389, 390, 391,
392, 393, 395, 397, 398, 399,
414, 415, 416

Teknologi Digital, v, viii, x, xiii, 1,
7, 95, 97, 100, 256, 257, 258,
259, 261, 262, 263, 264, 265,
276, 287, 297, 332, 337, 356,
358, 359, 391, 393, 399, 416

Teknologi Informasi, 94, 399

Temuan, viii, xi, xiv, 12, 27, 28,
40, 46, 60, 64, 67, 93, 106, 108,
110, 210, 212, 257, 284, 298,
310, 311, 312, 319, 320, 322,
323, 324, 326, 327, 328, 330,
331, 365, 366

Temuan Lapangan, 46, 212, 311

Theory, 386, 387

Troubleshooting, 10, 399

U

Uji, 4, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 21,
26, 30, 38, 40, 43, 46, 50, 52, 57,
59, 69, 76, 78, 82, 84, 87, 88, 91,
100, 105, 112, 117, 118, 120,
121, 125, 126, 129, 130, 131,
132, 133, 136, 137, 140, 141,
145, 149, 151, 153, 155, 156,
163, 166, 171, 174, 187,
192, 194, 196, 197, 199, 201,
204, 205, 206, 207, 209, 210,
211, 212, 217, 218, 219, 221,
222, 224, 232, 235, 245, 250,
251, 252, 253, 254, 274, 291,
292, 300, 308, 312, 313, 316,
334, 335, 336, 338, 341, 343,
345, 346, 347, 349, 353, 354,
355, 356, 357, 368, 373, 374,
376, 377, 378, 379, 399

Uji Coba, 69, 78, 82, 151, 252,
253, 254, 312, 334, 335, 336,
338, 341, 399

Uji Fungsional, 399

UNESCO, 1, 8, 17, 25, 49, 55, 93,
256, 309, 388

V

Validasi, 3, 26, 48, 56, 59, 69, 73,
97, 102, 123, 151, 193, 194, 216,
220, 223, 224, 225, 233, 234,
244, 256, 263, 264, 267, 271,
275, 282, 294, 295, 296, 311,
326, 329, 331, 338, 356, 399

Validitas, viii, x, xiii, 126, 150,
152, 165, 166, 171, 185, 186,
187, 188, 189, 190, 191, 242,
246, 399

Variabel, 270, 323, 399

Verifikasi, viii, x, xiii, 98, 99, 109,
141, 158, 204, 227, 244, 245,
246, 247, 248, 249, 251, 252,
253, 254, 259, 260, 278, 280,
286, 291, 293, 306, 309, 312,
313, 315, 316, 317, 319, 328,
330, 331, 357, 390, 399

Visualisasi, xi, 57, 59, 65, 99, 210,
256, 263, 264, 277, 280, 282,
285, 286, 293, 297, 323, 325,
326, 327, 329, 330, 331, 397,
399

Visualisasi Data, 264, 399

Vocational Education, 1, 49, 388

Vokasi, v, vi, vii, x, xii, 1, 2, 3, 4,
6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15,
16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26,
27, 28, 30, 31, 32, 33, 37, 39, 41,
42, 47, 49, 50, 55, 56, 57, 58, 62,
64, 67, 70, 71, 73, 80, 82, 83, 84,
89, 92, 93, 95, 99, 100, 101, 102,
103, 111, 114, 122, 123, 126,
128, 133, 138, 143, 149, 150,

157, 161, 166, 168, 171, 173,
177, 178, 179, 186, 190, 191,
202, 207, 213, 215, 223, 226,
241, 243, 253, 254, 256, 259,
262, 263, 265, 275, 279, 283,
285, 286, 288, 293, 295, 296,
299, 305, 309, 330, 333, 334,
338, 345, 347, 349, 356, 357,
363, 377, 379, 415, 416

W

Work Instruction, 399

Workflow, 399

World Bank, 1, 388

World Economic Forum, 12, 27,
93, 257, 334, 339, 388

Y

Yield, 400

Z

Zero Defect, 400

Zona Kerja, 400

Zona Risiko, 400

TENTANG PENULIS

© Agri Americo Agamuddin, S.Pd. M.Pd.T.



Agri Americo Agamuddin, S.Pd, M.Pd.T. adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan (S1) Fakultas Teknik UNP. Saya lahir pada 13 Agustus 1987 di Columbus, Ohio, USA, dan saat ini menjabat sebagai Asisten Ahli di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang (UNP). Saya menyelesaikan studi magister di Pendidikan Teknologi dan Kejuruan pada 2017. Fokus utama saya adalah pada pengajaran mata kuliah seperti Mekanika Tanah, Struktur Beton, Gambar Bestek Bangunan, dan bidang kependidikan kejuruan serta terlibat aktif dalam penelitian terkait stabilisasi tanah dan pengaruh model pembelajaran kooperatif terhadap hasil belajar siswa. Selain itu, saya juga berkontribusi dalam berbagai program pengabdian masyarakat, seperti pelatihan untuk guru teknik konstruksi dan sosialisasi pembangunan rumah aman gempa di daerah rawan bencana. Melalui pengalaman ini, saya berharap dapat terus memberikan kontribusi pada pengembangan pendidikan teknik sipil dan masyarakat..
Email: agriagamuddin@ft.unp.ac.id.

© Firdaus, S.Pd. M.Pd.T.



Firdaus, S.Pd., M.Pd.T., lahir di Parit Rodi pada tanggal 17 Oktober 1998. Beliau adalah seorang mahasiswa pada program studi Doktor (S3) Pendidikan Teknologi dan Kejuruan di Universitas Negeri Padang. Firdaus menyelesaikan pendidikan Sarjana Pendidikan (S.Pd.) di Universitas Negeri Padang dengan fokus pada bidang Pendidikan Teknik Informatika. Selanjutnya, beliau meraih gelar Magister Pendidikan (M.Pd.T.) di universitas yang sama dengan bidang keahlian dalam Pendidikan Teknologi dan Kejuruan. Dengan latar belakang akademik yang kuat di bidang teknologi dan pendidikan

kejuruan, Firdaus memiliki minat yang mendalam terhadap pengembangan teknologi dalam pembelajaran serta peningkatan kualitas pendidikan vokasi di Indonesia. Saat ini, Firdaus berkomitmen untuk memperluas wawasan dan keahliannya melalui penelitian dan inovasi yang relevan di bidang ini. Firdaus dapat dihubungi melalui email: firdaus171098@gmail.com.

© **Elsa Sabrina, S.Pd. M.Pd.T.**



Elsa Sabrina S.Pd., M.Pd.T., lahir di Liwa pada tanggal 02 Maret 2000. Beliau memperoleh gelar Magister Pendidikan Teknik pada tahun 2023 dan saat ini sedang menempuh gelar Doktor di Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia. Beliau adalah seorang dosen di Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Indonesia. Minat penelitian utamanya berfokus pada pendidikan teknologi vokasional, sistem pengambilan keputusan, dan sistem rekayasa. Beliau dapat dihubungi melalui: elsasabrina@unimed.ac.id.

RINGKASAN ISI BUKU

Buku *Problem Solving* Teknik Terapan Identifikasi Masalah dan Analisis Lapangan Menuju Solusi Teknik membahas konsep, prinsip, dan penerapan pemecahan masalah dalam berbagai bidang keteknikan dengan pendekatan yang sistematis dan berbasis kondisi nyata di lapangan. Materi disusun mulai dari pemahaman dasar *problem solving*, identifikasi dan perumusan masalah, pengumpulan data teknis, analisis akar masalah, pemanfaatan teknologi digital, hingga pengembangan solusi inovatif yang efektif, efisien, dan sesuai standar profesi.

Disajikan dengan bahasa yang mudah dipahami, dilengkapi tabel, gambar, ilustrasi, dan contoh penerapan, buku ini dirancang untuk membantu mahasiswa, dosen, guru vokasi, praktisi, serta tenaga profesional dalam mengembangkan kemampuan berpikir analitis, mengambil keputusan berbasis data, dan menyelesaikan berbagai permasalahan teknik secara tepat. Buku ini diharapkan menjadi referensi yang mendukung peningkatan kompetensi lulusan pendidikan vokasi dan kesiapan menghadapi tantangan dunia kerja serta perkembangan teknologi di era industri modern.

