

Analisis Motor Bakar

Hasan Maksum | Wawan Purwanto | Wagino,
Rahmat Desman Koto | Defelinu Harefa
Desman Telaumbanua | Sabar Jaya Zalukhu | Exaudi Ziliwu

Motor bakar adalah mesin vital yang menggerakkan kehidupan modern, dari kendaraan bermotor hingga mesin industri. Buku "Analisis Motor Bakar" menawarkan wawasan mendalam tentang teknologi yang menggerakkan dunia kita. Disusun secara sistematis, buku ini membawa pembaca melalui berbagai aspek motor bakar, mulai dari pengenalan dasar hingga analisis teknis yang kompleks.

Apa yang ada dalam buku ini?

- Pengenalan komprehensif : memahami sejarah, jenis-jenis, dan prinsip kerja motor bakar, memberikan dasar yang kuat bagi pembaca untuk mempelajari lebih lanjut.
- Proses pembakaran dan Sistem Bahan Bakar : Eksplorasi mendetail mengenai langkah-langkah pembakaran, sistem injeksi bahan bakar, dan bagaimana efisiensi penggunaan bahan bakar dapat ditingkatkan.
- Sistem Pembakaran dan Pemeliharaan : Cara mengoptimalkan performa mesin melalui sistem pembakaran yang efisien dan pemeliharaan rutin.
- Performa dan Aplikasi Industri : Panduan praktis untuk meningkatkan performa mesin dan studi kasus motor bakar dalam berbagai industri seperti otomotif, pertanian, dan maritim.

Dikembangkan oleh tim ahli yang berpengalaman, buku ini adalah sumber daya berharga bagi insinyur, mahasiswa, dan praktisi industri yang ingin memperdalam pengetahuan mereka tentang teknologi motor bakar dan aplikasinya dalam dunia nyata. Dengan penjelasan yang mudah dipahami dan ilustrasi yang mendukung, "Analisis Motor Bakar" adalah panduan lengkap menuju efisiensi energi dan inovasi teknologi.

ISBN 978-634-7173-05-8



9 786347 173058

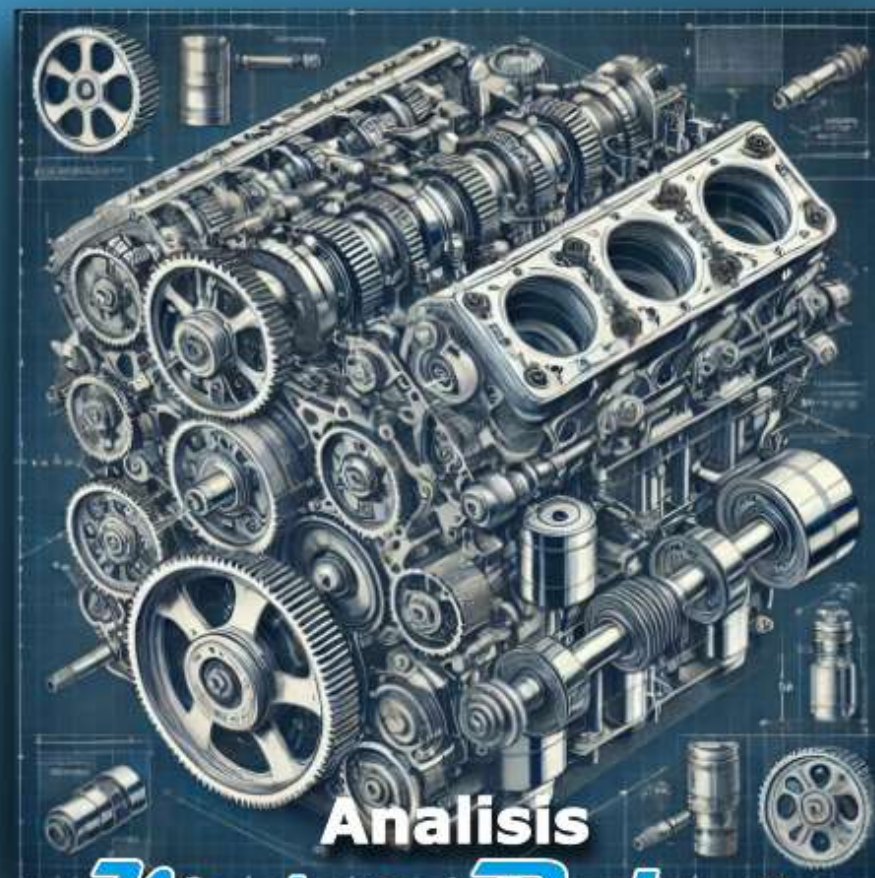
PENERBITAN & PERCETAKAN UNP PRESS
Jin. Prof. Dr. Hamka Air Tawar Padang
Sumatera Barat



UNP PRESS

Analisis
Motor Bakar

Hasan Maksum | Wawan Purwanto | Wagino,
Rahmat Desman Koto | Defelinu Harefa
Desman Telaumbanua | Sabar Jaya Zalukhu | Exaudi Ziliwu



Analisis Motor Bakar

Penerbitan & Percetakan
UNP PRESS

Hasan Maksum | Wawan Purwanto | Wagino,
Rahmat Desman Koto | Defelinu Harefa
Desman Telaumbanua | Sabar Jaya Zalukhu | Exaudi Ziliwu

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

ANALISIS MOTOR BAKAR

**Hasan Maksum, Wawan Purwanto, Wagino, Rahmat
Desman Koto, Defelinu Harefa, Desman Telaumbanua,
Sabar Jaya Zalukhu, Exaudi Ziliwu**

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

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).

ANALISIS MOTOR BAKAR

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

**Hasan Maksum, Wawan Purwanto, Wagino, Rahmat
Desman Koto, Defelinu Harefa, Desman Telaumbanua,
Sabar Jaya Zalukhu, Exaudi Ziliwu**

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS



2025

ANALISIS MOTOR BAKAR

editor, Tim editor UNP Press

Penerbit UNP Press, Padang, 2025

1 (satu) jilid; 17.6 × 25 cm (B5)

Jumlah Halaman xi + 204 Halaman Buku

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

ISBN : 978-634-7173-05-8

DUMMY

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

ANALISIS MOTOR BAKAR

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis

Hak penerbitan pada UNP Press

Penyusun: Hasan Maksum, Wawan Purwanto, Wagino, Rahmat

Desman Koto, Defelinu Harefa, Desman Telaumbanua, Sabar

Jaya Zalukhu, Exaudi Ziliwu

Editor Substansi: TIM UNP Press

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

Desain Sampul & Layout: Ridha Prima Adri, S.Sos., M.I.Kom. &

Fauzziyah Irwani Putri

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku dengan judul "ANALISIS MOTOR BAKAR" ini dapat diselesaikan. Buku ini disusun dengan tujuan untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai motor bakar, mulai dari pengertian dasar hingga analisis mendalam tentang sistem pembakaran dan bahan bakar yang digunakan.

Motor bakar merupakan salah satu komponen penting dalam berbagai industri, terutama dalam bidang otomotif. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam mengenai motor bakar menjadi sangat penting bagi para praktisi, akademisi, dan mahasiswa yang tertarik dalam bidang ini.

Kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan untuk penyempurnaan buku ini di masa mendatang. Semoga buku ini bermanfaat dan dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang motor bakar.

Selamat membaca!

Padang, Mei 2025

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I. PENGENALAN MOTOR BAKAR.....	1
A. Pengertian Dasar Motor Bakar.....	1
B. Sejarah Perkembangan Motor Bakar.....	12
C. Jenis-jenis Motor Bakar	25
D. Prinsip Kerja Motor Bakar	40
BAB II. PROSES PEMBAKARAN DALAM MOTOR BAKAR	52
A. Langkah-langkah Proses Pembakaran.....	52
B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pembakaran.....	57
C. Jenis-jenis Bahan Bakar	66
D. Analisis Komponen Utama dalam Proses Pembakaran	75
BAB III. ANALISIS SISTEM BAHAN BAKAR.....	86
A. Sistem Injeksi Bahan Bakar	86
B. Karburator dan Fungsinya	93
C. Kualitas Bahan Bakar	99
D. Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar.....	103
BAB IV. ANALISIS SISTEM PEMBAKARAN.....	111
A. Sistem Pengapian	111
B. Peran Busi dalam Pembakaran.....	127

C. Pengaruh Timing Pengapian	136
D. Analisis Pengaturan Sistem Pembakaran	141
BAB V. PERFORMA DAN PEMELIHARAAN MOTOR BAKAR	149
A. Pengukuran Performa Motor Bakar	149
B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Performa.....	161
C. Pemeliharaan Rutin Motor Bakar.....	173
D. Troubleshooting dan Perbaikan Umum.....	187
BAB VI . PENUTUP.....	192
A. Rangkuman Utama.....	192
B. Tantangan dan Masa Depan Motor Bakar.....	192
C. Harapan dan Penutup	193
DAFTAR PUSTAKA	194
GLOSARIUM	204
INDEKS	204
PENULIS.....	202

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Piston	4
Gambar 1.2. Silinder.....	5
Gambar 1.3. Crankshaft.....	6
Gambar 1.4. Camshaft.....	7
Gambar 1.5. Katup intake dan exhaust.....	7
Gambar 1.6. Busi.....	8
Gambar 1.7. Proses Dasar Kerja Motor Bakar	9
Gambar 1.8. Sistem Injeksi Bahan Bakar	16
Gambar 1.9. Sistem Pengapian Elektronik.....	17
Gambar 1.10. Turbocharging.....	18
Gambar 1.11. Variable Valve Timing (VVT)	19
Gambar 1.12. Teknologi Hibrida.....	20
Gambar 1.13. Excavator	22
Gambar 1. 14. Alat dalam Pertanian.....	23
Gambar 1.15. Generator	24
Gambar 1.16. Kapal Kargo.....	25
Gambar 1.17. Motor Bensin	27
Gambar 1.18. Motor Diesel	28
Gambar 1.19. Siklus Otto	29
Gambar 1.20. Siklus Diesel	29
Gambar 1.21. Diagram Motor 2 Tak	32
Gambar 1.22. Diagram Motor Empat Tak.....	33
Gambar 1.23. Diagram Motor Listrik.....	36

Gambar 1.24. Diagram Tesla S	37
Gambar 1.25. Diagram Motor Hibrida	38
Gambar 1.26. Diagram Toyota Prius.....	39
Gambar 1.27. Overheating.....	48
Gambar 2.1. Langkah-langkah dalam Siklus Otto	52
Gambar 2.2. Langkah-langkah dalam Siklus Diesel	54
Gambar 2.3. Indikator Suhu Mesin	57
Gambar 2.4. Perbandingan Tekanan Silinder.....	59
Gambar 2.5. Ilustrator Bahan Bakar.....	61
Gambar 2.6. Rumus Stoikiometri.....	64
Gambar 2.7. Injector.....	75
Gambar 2.8. Busi.....	77
Gambar 2.9. Katup.....	80
Gambar 2.10. Turbocharger.....	82
Gambar 2. 11. Supercharger	83
Gambar 3.1. Sistem Injeksi Bahan Bakar.....	86
Gambar 3.2. Injeksi Langsung.....	88
Gambar 3.3. Injeksi Tidak Langsung	88
Gambar 3.4. Sistem Injeksi Elektronik.....	89
Gambar 3.5. Injektor.....	89
Gambar 3.6. Pompa Bahan Bakar	90
Gambar 3.7. Regulator Bahan Bakar.....	90
Gambar 3.8 Sensor-Sensor Bahan Bakar	91
Gambar 3.9. Proses Pengabutan Bahan Bakar	91
Gambar 3.10. Karburator.....	93

Gambar 3.11. Karburator Downdraft	95
Gambar 3.12. Karburator Sidedraft	95
Gambar 3.13. Karburator Updraft	96
Gambar 3. 14. Komponen Utama Karburator	96
Gambar 3.15. Desain Mesin	106
Gambar 3.16. Teknik Mengemudi.....	106
Gambar 3.17. Pemeliharaan Mesin.....	107
Gambar 3.18. Aerodinamika	107
Gambar 3.19. Sistem Injeksi Bahan Bakar Elektronik (EFI)	109
Gambar 3.20. Kendaraan Hibrida.....	110
Gambar 4.1. Sistem Pengapian Konvensional.....	113
Gambar 4.2. Sistem Pengapian Konvensional.....	114
Gambar 4.3. Sistem Pengapian Konvensional.....	115
Gambar 4.4. Baterai.....	116
Gambar 4.5. Koil Pengapian.....	117
Gambar 4.6. Distributor.....	119
Gambar 4.7. Bagian Distributor	120
Gambar 4.8. Busi	121
Gambar 4.9. Modul Pengapian	122
Gambar 4.10. Busi	130
Gambar 5.1. Dynamometer	154
Gambar 5.2. Gass Analyzer.....	154
Gambar 5.3. Pengukur Konsumsi Bahan Bakar	155
Gambar 5.4. Hasil Pengukuran Performa Mesin	161
Gambar 5.5. Simulasi Perbandingan Variasi Bahan Bakar	164

Gambar 5.6. Tuning dan Modifikasi	167
---	-----



BAB I

PENGENALAN MOTOR BAKAR

A. Pengertian Dasar Motor Bakar

1. Definisi Motor Bakar

Motor bakar adalah mesin yang mengubah energi kimia yang tersimpan dalam bahan bakar menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan atau alat lainnya. Prinsip kerja motor bakar didasarkan pada proses pembakaran bahan bakar di dalam silinder mesin, yang menghasilkan tenaga mekanik dari energi termal hasil pembakaran. Motor bakar sering disebut sebagai mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) karena proses pembakarannya terjadi di dalam mesin itu sendiri (Najamudin, 2019).

a. Fungsi Utama Motor Bakar

Fungsi utama motor bakar adalah sebagai sumber tenaga yang menggerakkan berbagai jenis kendaraan seperti mobil, sepeda motor, truk, dan pesawat terbang. Selain itu, motor bakar juga digunakan dalam berbagai aplikasi industri, seperti generator listrik, peralatan konstruksi, dan mesin pertanian. Berikut adalah beberapa fungsi utama motor bakar dalam berbagai aplikasi (Ch. dkk., 2021):

- 1) Kendaraan Bermotor: Motor bakar digunakan untuk menggerakkan kendaraan bermotor seperti mobil, sepeda motor, truk, dan bus. Dalam kendaraan ini, motor bakar berfungsi sebagai sumber tenaga utama yang menggerakkan roda melalui sistem transmisi.
- 2) Pesawat Terbang: Motor bakar jenis turbin gas digunakan dalam pesawat terbang untuk menggerakkan baling-baling atau kipas yang menghasilkan dorongan ke depan, memungkinkan pesawat untuk terbang.
- 3) Generator Listrik: Motor bakar digunakan dalam generator listrik untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi listrik. Generator ini sering digunakan sebagai sumber daya cadangan di tempat-tempat yang membutuhkan pasokan listrik yang andal.

- 4) Mesin Pertanian dan Konstruksi: Motor bakar digunakan dalam berbagai mesin pertanian seperti traktor dan combine harvester, serta peralatan konstruksi seperti excavator dan bulldozer. Mesin-mesin ini memerlukan sumber tenaga yang kuat dan handal untuk melakukan pekerjaan berat.

b. Prinsip Kerja Motor Bakar

Proses kerja motor bakar melibatkan beberapa tahapan, yang secara kolektif disebut sebagai siklus kerja motor bakar. Siklus ini biasanya terdiri dari empat langkah utama (H. N. Gupta, 2012):

- 1) Intake (Hisap): Campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder melalui katup intake saat piston bergerak turun. Pada tahap ini, volume silinder meningkat, menciptakan tekanan rendah yang menarik campuran udara-bahan bakar masuk.
- 2) Compression (Kompresi): Piston bergerak naik, memampatkan campuran udara-bahan bakar di dalam silinder. Pada tahap ini, suhu dan tekanan campuran meningkat secara signifikan, membuatnya lebih mudah terbakar.
- 3) Power (Tenaga): Pada titik tertinggi dari kompresi, busi menyalakan campuran udara-bahan bakar, menyebabkan ledakan kecil yang mendorong piston turun dengan kekuatan besar. Gerakan turun piston ini mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik.
- 4) Exhaust (Buang): Piston bergerak naik lagi, mendorong gas hasil pembakaran keluar dari silinder melalui katup exhaust. Siklus ini kemudian dimulai kembali dengan langkah intake berikutnya.

c. Manfaat dan Keunggulan Motor Bakar

Motor bakar memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya menjadi pilihan utama dalam berbagai aplikasi (Lee dkk., 2016):

- 1) Efisiensi Energi: Motor bakar memiliki efisiensi energi yang cukup tinggi, terutama dalam motor bakar modern yang menggunakan teknologi injeksi bahan bakar dan pengapian elektronik.

- 2) Kekuatan dan Kinerja: Motor bakar mampu menghasilkan tenaga yang besar, memungkinkan kendaraan dan mesin untuk melakukan pekerjaan berat dan berkecepatan tinggi.
- 3) Fleksibilitas Penggunaan: Motor bakar dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar seperti bensin, diesel, dan gas alam, memberikan fleksibilitas dalam penggunaannya.
- 4) Keterjangkauan: Motor bakar relatif murah untuk diproduksi dan dioperasikan, membuatnya menjadi pilihan yang ekonomis untuk banyak aplikasi.

d. Tantangan dan Keterbatasan Motor Bakar

Meskipun memiliki banyak keunggulan, motor bakar juga memiliki beberapa tantangan dan keterbatasan:

- 1) Emisi Polutan: Proses pembakaran dalam motor bakar menghasilkan emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya yang berdampak negatif pada lingkungan.
- 2) Konsumsi Bahan Bakar: Motor bakar memerlukan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan, yang pasokannya terbatas dan harganya dapat berfluktuasi.
- 3) Pemeliharaan dan Perawatan: Motor bakar memerlukan pemeliharaan dan perawatan rutin untuk menjaga kinerja optimal dan memperpanjang umur mesin.

e. Kesimpulan

Motor bakar adalah mesin yang sangat penting dalam kehidupan modern, menyediakan sumber tenaga yang andal dan efisien untuk berbagai aplikasi. Dengan memahami definisi, fungsi, prinsip kerja, manfaat, dan tantangannya, kita dapat lebih menghargai teknologi yang memungkinkan kendaraan dan mesin-mesin yang kita gunakan setiap hari. Meskipun menghadapi beberapa tantangan, inovasi dan perkembangan teknologi terus mendorong motor bakar menuju kinerja yang lebih baik dan dampak lingkungan yang lebih rendah.

2. Komponen Utama Motor Bakar

Motor bakar terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja bersama untuk menghasilkan tenaga. Dalam bagian ini, kita akan membahas secara rinci setiap komponen, fungsinya, dan

cara kerjanya. Penjelasan ini akan dilengkapi dengan gambar dan diagram untuk memperjelas fungsi dan cara kerja masing-masing komponen (Dziubak, 2016).

a. Piston

1) Deskripsi dan Fungsi

Piston adalah bagian yang bergerak naik turun di dalam silinder akibat pembakaran bahan bakar. Piston bertindak sebagai komponen penggerak utama yang menerima tekanan hasil pembakaran dan mengubahnya menjadi gerakan mekanis. Piston terhubung dengan crankshaft melalui batang piston (connecting rod), yang mengubah gerakan linier piston menjadi gerakan rotasi.

2) Cara Kerja

Pada saat langkah intake, piston bergerak turun, menciptakan ruang hampa yang menarik campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder. Pada langkah kompresi, piston bergerak naik, memampatkan campuran tersebut. Saat langkah tenaga, busi menyalakan campuran yang terkompresi, menyebabkan ledakan yang mendorong piston turun. Akhirnya, pada langkah buang, piston bergerak naik kembali untuk mengeluarkan gas hasil pembakaran.



Gambar 1.1. Piston

3) Detail Teknis

- a) **Material:** Piston biasanya terbuat dari paduan aluminium karena ringan dan mampu menghantarkan panas dengan baik.
- b) **Desain:** Piston memiliki cincin piston (piston rings) yang menjaga kompresi dan mencegah kebocoran gas pembakaran.

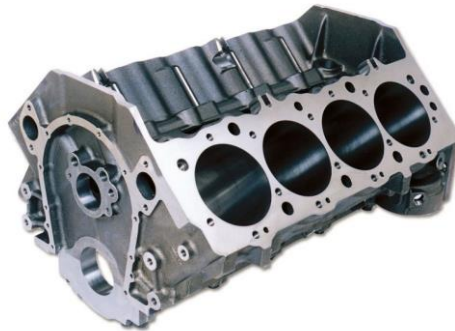
b. Silinder

1) Deskripsi dan Fungsi

Silinder adalah ruang di mana piston bergerak dan pembakaran terjadi. Silinder adalah bagian inti dari motor bakar, yang menahan tekanan dan suhu tinggi selama proses pembakaran. Silinder biasanya dibuat dari besi tuang atau paduan aluminium yang tahan panas dan aus.

2) Cara Kerja

Silinder bekerja sebagai tempat terjadinya proses pembakaran. Campuran udara dan bahan bakar dikompresi di dalam silinder, kemudian dinyalakan oleh busi, menghasilkan ledakan yang mendorong piston. Silinder juga memiliki jalur untuk katup intake dan exhaust yang mengatur aliran udara masuk dan gas buang keluar.



Gambar 1.2. Silinder

3) Detail Teknis

- a) Jumlah: Motor bakar dapat memiliki satu atau beberapa silinder, tergantung pada desain dan kebutuhan tenaga.
- b) Lapisan: Silinder sering dilapisi dengan bahan yang mengurangi gesekan dan keausan, seperti nikel atau krom.

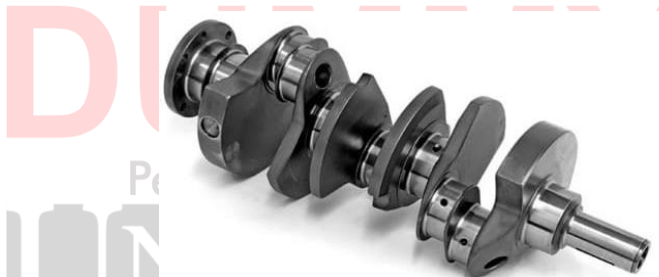
c. Crankshaft (Poros Engkol)

1) Deskripsi dan Fungsi

Crankshaft adalah komponen yang mengubah gerakan naik turun piston menjadi gerakan rotasi. *Crankshaft* terletak di bagian bawah mesin dan berfungsi untuk menggerakkan komponen lainnya seperti flywheel dan sistem transmisi.

2) Cara Kerja

Gerakan naik turun piston diteruskan ke crankshaft melalui *connecting rod*. *Crankshaft* memiliki beberapa engkol (*crank journals*) yang terhubung dengan *connecting rod*, yang mengubah gerakan linier menjadi rotasi. *Crankshaft* juga dilengkapi dengan bantalan (*bearings*) yang mengurangi gesekan selama rotasi.



Gambar 1.3. Crankshaft

3) Detail Teknis

- a) Material: *Crankshaft* biasanya dibuat dari baja tempa atau besi tuang yang sangat kuat.
- b) Desain: *Crankshaft* memiliki desain yang rumit dengan beberapa crankpin untuk mendistribusikan beban secara merata.

d. Camshaft (Poros Nok)

1) Deskripsi dan Fungsi

Camshaft adalah komponen yang mengontrol waktu pembukaan dan penutupan katup *intake* dan *exhaust*. *Camshaft* berputar setengah kecepatan *crankshaft* dan memiliki nok (*cam lobes*) yang menekan katup untuk membuka dan menutup pada waktu yang tepat.

2) Cara Kerja

Camshaft diputar oleh crankshaft melalui rantai atau sabuk timing. Saat *camshaft* berputar, nok pada *camshaft* menekan katup untuk membuka dan menutup sesuai dengan urutan pembakaran. *Timing* yang tepat sangat penting untuk efisiensi dan performa mesin.



Gambar 1.4. Camshaft

3) Detail Teknis

- a) *Material*: Camshaft biasanya dibuat dari baja tempa atau besi tuang yang dikeraskan.
- b) *Desain*: Camshaft dapat dipasang di bagian atas atau bawah mesin, tergantung pada desain mesin (OHV atau OHC).

e. Katup Intake dan Exhaust

1) Deskripsi dan Fungsi

Katup *intake* dan *exhaust* mengontrol aliran campuran udara-bahan bakar masuk ke dalam silinder dan gas buang keluar dari silinder. Katup *intake* memungkinkan campuran udara-bahan bakar masuk saat langkah *intake*, sementara katup *exhaust* memungkinkan gas hasil pembakaran keluar saat langkah buang.

2) Cara Kerja

Katup *intake* dan *exhaust* dibuka dan ditutup oleh *camshaft*. Timing pembukaan dan penutupan katup sangat penting untuk memastikan campuran udara-bahan bakar yang tepat dan pembuangan gas hasil pembakaran yang efisien.



Gambar 1.5. Katup intake dan exhaust

3) Detail Teknis

- a) Material: Katup biasanya dibuat dari paduan baja yang tahan panas dan aus.
- b) Desain: Katup memiliki batang katup (*valve stem*) yang terhubung dengan mekanisme penggerak katup (*valve lifter, rocker arm*).

f. Busi

1) Deskripsi dan Fungsi

Busi adalah komponen yang menyalakan campuran udara-bahan bakar yang terkompresi dalam silinder. Busi menghasilkan percikan api yang memulai proses pembakaran, mengubah campuran menjadi energi termal yang mendorong piston.

2) Cara Kerja

Saat langkah kompresi, busi menghasilkan percikan api pada saat yang tepat, menyalakan campuran udara-bahan bakar. Percikan api ini dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui elektroda busi.



Gambar 1.6. Busi

3) Detail Teknis

- a) Material: Busi biasanya terbuat dari paduan nikel atau iridium yang tahan panas dan korosi.
- b) Desain: Busi memiliki elektroda pusat dan elektroda ground yang membentuk celah percikan (*spark gap*).

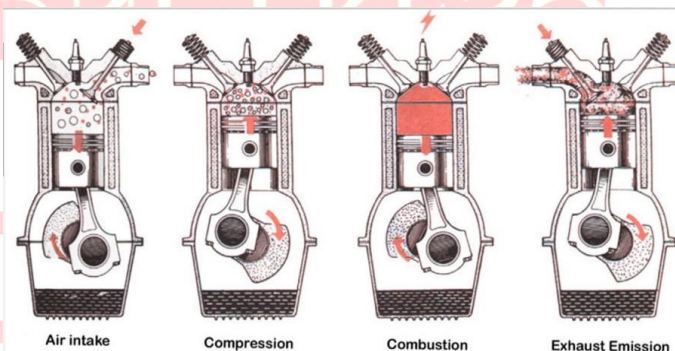
g. Kesimpulan

Setiap komponen motor bakar memiliki peran penting dalam memastikan mesin berfungsi dengan efisien dan efektif.

Dengan memahami fungsi dan cara kerja masing-masing komponen, kita dapat lebih menghargai kompleksitas dan keindahan teknologi motor bakar. Gambar dan diagram yang menyertai penjelasan ini membantu memperjelas bagaimana setiap komponen bekerja dan berinteraksi satu sama lain untuk menghasilkan tenaga yang menggerakkan kendaraan kita sehari-hari.

3. Proses Dasar Kerja Motor Bakar

Proses dasar kerja motor bakar melibatkan beberapa langkah yang terjadi dalam satu siklus pembakaran. Setiap langkah dalam proses ini berperan penting dalam memastikan mesin berfungsi dengan baik dan efisien. Berikut adalah penjelasan rinci mengenai setiap langkah dalam siklus pembakaran (Agrawal, 2006):



Gambar 1.7. Proses Dasar Kerja Motor Bakar

a. Intake (Hisap)

1) Deskripsi dan Fungsi

Langkah *intake* adalah langkah pertama dalam siklus kerja motor bakar. Pada tahap ini, campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder melalui katup *intake* yang terbuka. Piston bergerak turun dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), menciptakan ruang hampa yang menarik campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder.

2) Mekanisme yang Terjadi

- a) Katup *Intake* Terbuka: *Camshaft* memutar dan menekan nok yang membuka katup *intake*.
- b) Piston Bergerak Turun: Gerakan turun piston menciptakan tekanan negatif di dalam silinder, menarik campuran udara-bahan bakar melalui katup *intake*.
- c) Campuran Udara-Bahan Bakar: Campuran udara-bahan bakar masuk ke dalam silinder, mengisi ruang silinder.

3) Kontribusi Komponen

- a) Piston: Gerakan piston yang turun menciptakan ruang hampa yang menarik campuran udara-bahan bakar.
- b) *Camshaft* dan Katup *Intake*: *Camshaft* mengontrol pembukaan katup *intake*, memungkinkan campuran udara-bahan bakar masuk.

b. Compression (Kompresi)

1) Deskripsi dan Fungsi

Langkah kompresi adalah langkah kedua dalam siklus kerja motor bakar. Pada tahap ini, piston bergerak naik dari TMB ke TMA, memampatkan campuran udara-bahan bakar di dalam silinder. Pemampatan ini meningkatkan tekanan dan suhu campuran, membuatnya lebih mudah terbakar.

2) Mekanisme yang Terjadi

- a) Katup *Intake* dan *Exhaust* Tertutup: Semua katup tertutup untuk menjaga campuran udara-bahan bakar di dalam silinder.
- b) Piston Bergerak Naik: Piston bergerak naik, mengurangi volume ruang di dalam silinder dan memampatkan campuran udara-bahan bakar.
- c) Tekanan dan Suhu Meningkat: Pemampatan campuran menyebabkan peningkatan tekanan dan suhu, mempersiapkan campuran untuk pembakaran.

3) Kontribusi Komponen

- a) Piston: Gerakan piston yang naik memampatkan campuran udara-bahan bakar.
- b) Katup: Katup *intake* dan *exhaust* tertutup rapat untuk memastikan tidak ada kebocoran campuran.

c. **Power (Tenaga)**

1) Deskripsi dan Fungsi

Langkah *power* adalah langkah ketiga dalam siklus kerja motor bakar dan merupakan sumber utama tenaga mesin. Pada tahap ini, campuran udara-bahan bakar yang terkompresi dinyalakan oleh busi, menyebabkan ledakan kecil yang mendorong piston turun dengan kekuatan besar. Gerakan turun piston ini mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik.

2) Mekanisme yang Terjadi

- a) Busi Menyala: Busi menghasilkan percikan api yang menyalakan campuran udara-bahan bakar.
- b) Ledakan Campuran: Pembakaran campuran udara-bahan bakar menghasilkan ekspansi gas yang cepat, mendorong piston turun.
- c) Piston Bergerak Turun: Piston bergerak turun dengan kekuatan besar, menghasilkan gerakan mekanis yang digunakan untuk menggerakkan *crankshaft*.

3) Kontribusi Komponen

- a) Busi: Busi menghasilkan percikan api yang menyalakan campuran udara-bahan bakar.
- b) Piston: Piston menerima tekanan hasil pembakaran dan mengubahnya menjadi gerakan mekanis.
- c) *Crankshaft*: *Crankshaft* mengubah gerakan turun piston menjadi gerakan rotasi.

d. **Exhaust (Buang)**

1) Deskripsi dan Fungsi

Langkah *exhaust* adalah langkah keempat dan terakhir dalam siklus kerja motor bakar. Pada tahap ini, piston bergerak naik dari TMB ke TMA, mendorong gas hasil pembakaran keluar dari silinder melalui katup *exhaust* yang terbuka. Langkah ini mengeluarkan sisa-sisa pembakaran dari silinder, mempersiapkan silinder untuk langkah intake berikutnya.

2) Mekanisme yang Terjadi

- a) Katup *Exhaust* Terbuka: *Camshaft* memutar dan menekan nok yang membuka katup *exhaust*.
- b) Piston Bergerak Naik: Piston bergerak naik, mendorong gas hasil pembakaran keluar dari silinder.

- c) Pengeluaran Gas: Gas hasil pembakaran dikeluarkan melalui katup *exhaust* dan saluran pembuangan.
- 3) Kontribusi Komponen
 - a) Piston: Gerakan piston yang naik mendorong gas hasil pembakaran keluar dari silinder.
 - b) *Camshaft* dan Katup *Exhaust*: *Camshaft* mengontrol pembukaan katup *exhaust*, memungkinkan gas hasil pembakaran keluar.

e. Kesimpulan

Setiap langkah dalam siklus kerja motor bakar *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust* berperan penting dalam memastikan mesin berfungsi dengan efisien dan efektif. Masing-masing langkah melibatkan interaksi kompleks antara berbagai komponen mesin, yang bekerja bersama untuk mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik yang menggerakkan kendaraan kita sehari-hari. Gambar dan diagram yang menyertai penjelasan ini membantu memperjelas bagaimana setiap langkah dan komponen berkontribusi terhadap keseluruhan proses.

B. Sejarah Perkembangan Motor Bakar

1. Sejarah Awal Penemuan Motor Bakar

Sejarah motor bakar merupakan cerita tentang inovasi, eksperimen, dan kerja keras para pionir yang mengubah dunia melalui mesin pembakaran dalam. Di bawah ini, kita akan membahas secara rinci kontribusi beberapa ilmuwan dan insinyur yang berperan penting dalam perkembangan teknologi motor bakar, termasuk penemuan mesin empat tak oleh Nikolaus Otto dan mesin diesel oleh Rudolf Diesel (Kalghatgi, 2015).

a. Penemuan Mesin Pembakaran Dalam

1) Mesin Pembakaran Dalam Awal

Sebelum penemuan mesin pembakaran dalam, mesin uap mendominasi dunia transportasi dan industri. Mesin uap, meskipun efektif, memiliki kelemahan berupa ukuran besar dan efisiensi rendah. Kebutuhan akan mesin yang lebih kecil, lebih efisien, dan lebih kuat mendorong para

ilmuwan dan insinyur untuk mengembangkan mesin pembakaran dalam.

2) *Étienne Lenoir*

Étienne Lenoir adalah salah satu pionir awal dalam pengembangan mesin pembakaran dalam. Pada tahun 1860, ia mematenkan mesin pembakaran dalam pertama yang menggunakan gas batubara sebagai bahan bakar. Mesin ini, meskipun sederhana dan kurang efisien, menandai langkah awal dalam perjalanan menuju mesin pembakaran dalam modern.

b. Nikolaus Otto dan Mesin Empat Tak

1) Biografi Singkat Nikolaus Otto

Nikolaus Otto lahir pada tahun 1832 di Jerman. Ia adalah seorang penemu dan insinyur yang dikenal luas karena pengembangan mesin empat tak pertama. Otto bekerja di industri minuman keras sebelum beralih ke dunia mesin.

2) Pengembangan Mesin Empat Tak

Pada tahun 1864, Otto dan rekannya Eugen Langen mendirikan perusahaan N.A. Otto & Cie, yang kemudian dikenal sebagai Deutz AG. Otto mengembangkan mesin empat tak pada tahun 1876, yang dikenal sebagai siklus Otto. Mesin ini bekerja berdasarkan empat langkah: *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust*.

3) Prinsip Kerja Mesin Empat Tak

- a) *Intake*: Campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder.
- b) *Compression*: Piston naik dan memampatkan campuran udara-bahan bakar.
- c) *Power*: Campuran udara-bahan bakar yang terkompresi dinyalakan oleh busi, menyebabkan ledakan yang mendorong piston turun.
- d) *Exhaust*: Piston naik kembali untuk mengeluarkan gas hasil pembakaran melalui katup exhaust.

4) Dampak dan Pengaruh

Penemuan mesin empat tak oleh Otto membawa revolusi dalam industri otomotif. Mesin ini menjadi dasar bagi sebagian besar mesin pembakaran dalam modern dan

meningkatkan efisiensi serta performa mesin secara signifikan.

c. Rudolf Diesel dan Mesin Diesel

1) Biografi Singkat Rudolf Diesel

Rudolf Diesel lahir pada tahun 1858 di Paris, Prancis. Ia adalah seorang insinyur dan penemu yang dikenal karena pengembangan mesin diesel. Diesel memiliki latar belakang pendidikan teknik dan bekerja sebagai insinyur di perusahaan besar sebelum mengembangkan mesinnya sendiri.

2) Pengembangan Mesin Diesel

Pada akhir abad ke-19, Diesel memulai eksperimennya dengan mesin yang menggunakan kompresi tinggi untuk menyalakan bahan bakar, berbeda dengan mesin Otto yang menggunakan busi. Pada tahun 1892, Diesel menerima paten untuk mesin diesel yang menggunakan bahan bakar minyak berat.

3) Prinsip Kerja Mesin Diesel

- a) *Intake*: Udara murni masuk ke dalam silinder.
- b) *Compression*: Piston naik dan memampatkan udara hingga mencapai suhu tinggi.
- c) *Power*: Bahan bakar disuntikkan ke dalam silinder, bercampur dengan udara panas dan terbakar sendiri, mendorong piston turun.
- d) *Exhaust*: Piston naik kembali untuk mengeluarkan gas hasil pembakaran melalui katup exhaust.

4) Dampak dan Pengaruh

Mesin diesel yang dikembangkan oleh Rudolf Diesel dikenal karena efisiensinya yang tinggi dan ketahanannya. Mesin ini banyak digunakan dalam aplikasi industri, kendaraan berat, dan kapal karena konsumsi bahan bakarnya yang lebih rendah dan daya tahan yang tinggi.

d. Paten-paten Penting dan Tantangan Teknis

1) Paten-paten Penting

- a) Paten Otto: Nikolaus Otto menerima beberapa paten untuk pengembangan mesin empat taknya, termasuk prinsip kerja siklus empat langkah.

- b) Paten Diesel: Rudolf Diesel menerima paten untuk mesin diesel pada tahun 1892, yang kemudian menjadi dasar bagi pengembangan mesin diesel modern.

2) Tantangan Teknis

- a) Mesin Otto: Tantangan utama dalam pengembangan mesin Otto termasuk mencapai pembakaran yang konsisten dan efisien, serta mengurangi kebocoran gas di sekitar piston.
- b) Mesin Diesel: Diesel menghadapi tantangan dalam mencapai kompresi yang cukup tinggi untuk menyalakan bahan bakar tanpa busi, serta mengembangkan sistem injeksi bahan bakar yang efektif.

e. Kesimpulan

Sejarah awal penemuan motor bakar adalah cerita tentang inovasi dan dedikasi para ilmuwan dan insinyur. Nikolaus Otto dan Rudolf Diesel memainkan peran penting dalam perkembangan mesin pembakaran dalam yang efisien dan efektif, yang telah merevolusi dunia transportasi dan industri. Penemuan mereka tidak hanya meningkatkan efisiensi dan performa mesin tetapi juga membuka jalan bagi perkembangan teknologi mesin yang lebih maju di masa depan.

2. Evolusi Teknologi Motor Bakar

a. Pengenalan

Teknologi motor bakar telah mengalami perkembangan signifikan sejak penemuan awalnya. Pada awal abad ke-20, mesin bensin mendominasi industri otomotif, sementara mesin diesel menemukan aplikasinya dalam industri dan kendaraan berat. Seiring waktu, berbagai inovasi seperti sistem injeksi bahan bakar, pengapian elektronik, dan turbocharging telah membawa perubahan besar dalam efisiensi dan performa motor bakar. Bagian ini akan membahas evolusi teknologi motor bakar, termasuk inovasi-inovasi penting dan dampaknya terhadap efisiensi, emisi, dan kinerja mesin (Sinigaglia dkk., 2022).

b. Sistem Injeksi Bahan Bakar

1) Pengembangan Awal

Sistem injeksi bahan bakar adalah salah satu inovasi terbesar dalam teknologi motor bakar. Pada awalnya, motor bakar menggunakan karburator untuk mencampur udara dan bahan bakar. Namun, sistem ini memiliki keterbatasan dalam kontrol campuran bahan bakar, terutama pada berbagai kondisi operasi.

2) Sistem Injeksi Mekanik

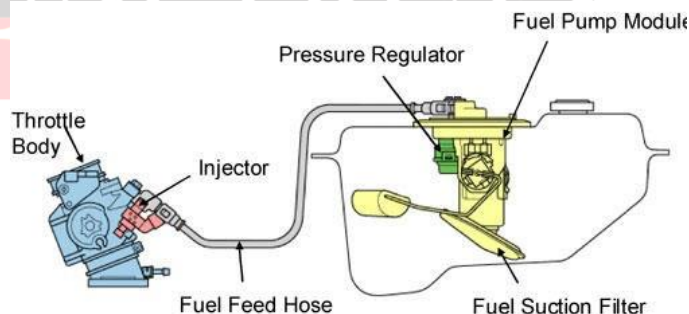
Pada tahun 1950-an, sistem injeksi bahan bakar mekanik mulai diperkenalkan. Sistem ini menggunakan pompa mekanis untuk menyuntikkan bahan bakar ke dalam silinder. Meskipun lebih efisien daripada karburator, sistem ini masih memiliki keterbatasan dalam hal presisi kontrol bahan bakar.

3) Sistem Injeksi Elektronik

Pada tahun 1980-an, sistem injeksi bahan bakar elektronik mulai menggantikan sistem mekanik. Sistem ini menggunakan sensor dan komputer untuk mengontrol jumlah bahan bakar yang disuntikkan ke dalam silinder, berdasarkan berbagai parameter seperti kecepatan mesin, suhu, dan tekanan udara.

4) Dampak Terhadap Efisiensi dan Emisi

Sistem injeksi bahan bakar elektronik meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas buang. Kontrol yang lebih presisi terhadap campuran udara-bahan bakar memungkinkan pembakaran yang lebih lengkap, mengurangi emisi hidrokarbon dan karbon monoksida.



Gambar 1.8. Sistem Injeksi Bahan Bakar

c. Pengapian Elektronik

1) Sistem Pengapian Konvensional

Sebelum pengapian elektronik, motor bakar menggunakan sistem pengapian mekanis yang terdiri dari distributor, kontak poin, dan kondensor. Sistem ini sering kali kurang andal dan memerlukan perawatan rutin.

2) Perkenalan Pengapian Elektronik

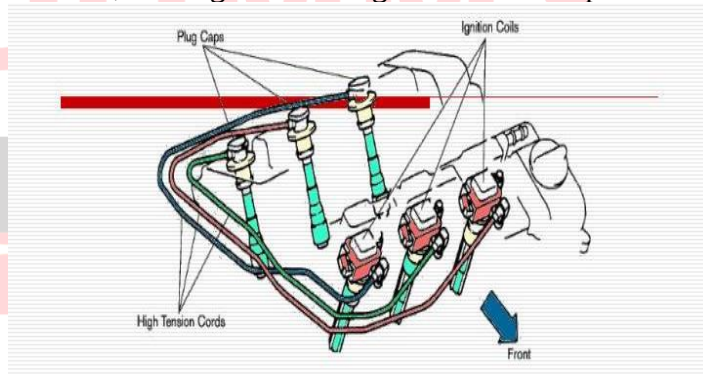
Pengapian elektronik diperkenalkan pada tahun 1970-an dan 1980-an. Sistem ini menggunakan modul elektronik untuk mengontrol waktu pengapian, menggantikan kontak poin mekanis. Hal ini meningkatkan keandalan dan akurasi waktu pengapian.

3) Keuntungan Pengapian Elektronik

- a) Keandalan: Mengurangi kebutuhan perawatan rutin karena tidak ada komponen mekanis yang aus.
- b) Akurasi: Kontrol waktu pengapian yang lebih presisi meningkatkan efisiensi pembakaran.
- c) Emisi: Pengapian yang lebih baik mengurangi emisi gas buang.

4) Dampak Terhadap Kinerja Mesin

Pengapian elektronik meningkatkan kinerja mesin dengan memastikan percikan api yang konsisten dan tepat waktu. Ini menghasilkan pembakaran yang lebih lengkap dan efisien, meningkatkan tenaga mesin dan responsivitas.



Gambar 1.9. Sistem Pengapian Elektronik

d. Turbocharging

1) Prinsip Dasar Turbocharging

Turbocharging adalah teknologi yang digunakan untuk meningkatkan daya mesin dengan memampatkan

udara masuk menggunakan turbin yang digerakkan oleh gas buang. Ini memungkinkan lebih banyak udara masuk ke dalam silinder, menghasilkan pembakaran yang lebih kuat.

2) Perkembangan *Turbocharging*

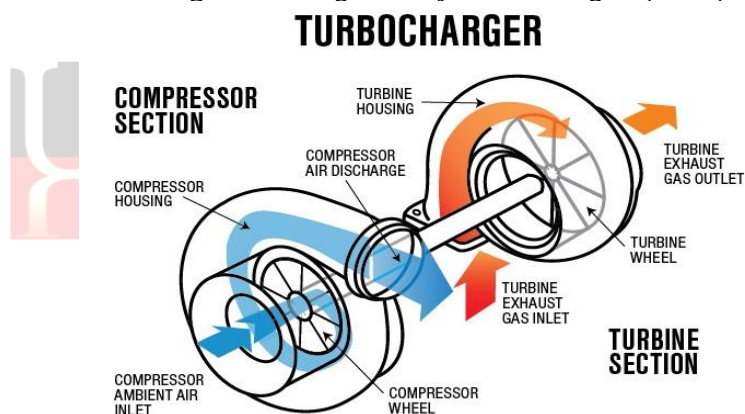
Turbocharging pertama kali digunakan dalam mesin pesawat selama Perang Dunia II. Pada tahun 1960-an, teknologi ini mulai diadopsi dalam kendaraan komersial dan mobil penumpang. *Turbocharger* modern menggunakan material yang lebih kuat dan teknologi pendinginan yang lebih baik untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan.

3) Dampak terhadap Efisiensi dan Performa

- a) Daya Lebih Tinggi: *Turbocharging* memungkinkan mesin kecil menghasilkan daya yang lebih besar.
- b) Efisiensi Bahan Bakar: Mesin *turbocharged* dapat lebih efisien karena dapat menggunakan lebih sedikit bahan bakar untuk menghasilkan daya yang sama.
- c) Pengurangan Emisi: *Turbocharging* membantu dalam pengurangan emisi dengan meningkatkan efisiensi pembakaran.

4) Tantangan dan Solusi

Lag adalah salah satu tantangan utama adalah *turbo lag*, yaitu jeda waktu antara saat pengemudi menekan pedal gas dan saat *turbocharger* mulai memberikan dorongan. Solusi modern termasuk penggunaan *turbocharger* ganda dan teknologi *variable geometry turbocharger* (VGT).



Gambar 1.10. Turbocharging

e. Teknologi VVT (*Variable Valve Timing*)

1) Konsep VVT

Variable Valve Timing (VVT) adalah teknologi yang mengubah waktu pembukaan dan penutupan katup mesin untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja pada berbagai kecepatan mesin.

2) Pengembangan VVT

Teknologi VVT pertama kali diperkenalkan oleh produsen mobil Jepang pada tahun 1980-an dan telah berkembang menjadi sistem yang lebih canggih dan umum digunakan di berbagai jenis kendaraan.

3) Dampak Terhadap Efisiensi dan Kinerja

- a) Kinerja yang Lebih Baik: VVT memungkinkan mesin untuk mengoptimalkan waktu katup untuk kondisi operasi yang berbeda, meningkatkan daya dan torsi.
- b) Efisiensi Bahan Bakar: Dengan mengoptimalkan pembukaan dan penutupan katup, VVT dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar.
- c) Pengurangan Emisi: Pembakaran yang lebih efisien mengurangi emisi gas buang.



Gambar 1.11. Variable Valve Timing (VVT)

f. Teknologi Hibrida

1) Pengenalan Mobil Hibrida

Mobil hibrida menggabungkan mesin pembakaran dalam dengan motor listrik untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi. Teknologi ini pertama

kali diperkenalkan secara luas pada akhir 1990-an dengan peluncuran Toyota Prius.

2) Prinsip Kerja Sistem Hibrida

Sistem hibrida bekerja dengan menggunakan motor listrik untuk membantu mesin pembakaran dalam selama akselerasi dan untuk menangkap energi selama pengereman. Baterai besar menyimpan energi yang digunakan oleh motor listrik.

3) Keuntungan dan Tantangan

a) Efisiensi Bahan Bakar: Mobil hibrida dapat mencapai efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dibandingkan dengan mobil konvensional.

b) Emisi Rendah: Penggunaan motor listrik mengurangi emisi gas buang.

c) Kompleksitas: Sistem hibrida lebih kompleks dan membutuhkan pemeliharaan yang lebih cermat.

4) Dampak Terhadap Industri Otomotif

Teknologi hibrida telah mengubah industri otomotif dengan menawarkan alternatif yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Banyak produsen mobil kini menawarkan model hibrida sebagai bagian dari upaya mereka untuk memenuhi standar emisi yang lebih ketat.



Gambar 1.12. Teknologi Hibrida

g. Kesimpulan

Evolusi teknologi motor bakar telah membawa perubahan besar dalam efisiensi, kinerja, dan dampak lingkungan dari mesin pembakaran dalam. Inovasi-inovasi seperti sistem injeksi bahan bakar, pengapian elektronik,

turbocharging, VVT, dan teknologi hibrida telah membuat mesin modern lebih efisien, bertenaga, dan ramah lingkungan. Masa depan teknologi motor bakar terus berkembang dengan fokus pada peningkatan lebih lanjut dalam efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi, menandakan era baru dalam desain dan aplikasi mesin pembakaran dalam.

3. Motor Bakar dalam Berbagai Industri

Motor bakar telah merevolusi banyak sektor industri dengan menawarkan sumber tenaga yang efisien dan andal. Selain kendaraan pribadi, motor bakar digunakan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk peralatan konstruksi, pertanian, dan generator listrik. Dalam bagian ini, kita akan mengeksplorasi penggunaan motor bakar dalam berbagai industri, menjelaskan bagaimana mereka telah meningkatkan produktivitas dan efisiensi kerja, dan memberikan studi kasus untuk menggambarkan penerapan praktis dari teknologi motor bakar (A. Gupta dkk., 2017).

a. Peralatan Konstruksi

1) Penggunaan Motor Bakar dalam Konstruksi

Peralatan konstruksi seperti *excavator*, *bulldozer*, dan *crane* sering kali menggunakan motor bakar sebagai sumber tenaga. Motor bakar menyediakan daya yang diperlukan untuk menggerakkan mesin-mesin berat ini, memungkinkan pekerjaan konstruksi dilakukan dengan efisiensi tinggi.

2) Dampak Terhadap Produktivitas

Motor bakar telah memungkinkan peningkatan produktivitas yang signifikan dalam industri konstruksi. Mesin-mesin yang digerakkan oleh motor bakar dapat melakukan tugas-tugas yang berat dan memakan waktu, seperti penggalian dan pemindahan material, dengan kecepatan dan efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan metode manual.

3) Efisiensi dan Keandalan

Motor bakar dalam peralatan konstruksi dirancang untuk beroperasi dalam kondisi yang keras dan memerlukan perawatan minimal. Keandalan motor bakar memastikan

bahwa peralatan konstruksi dapat beroperasi terus-menerus tanpa gangguan, yang sangat penting untuk proyek-proyek besar yang memerlukan penyelesaian tepat waktu.

4) Studi Kasus: Penggunaan *Excavator* dalam Proyek Infrastruktur

Pada tahun 2010, sebuah proyek pembangunan jalan tol besar di Indonesia menggunakan lebih dari 100 *excavator* yang digerakkan oleh motor diesel. Penggunaan motor bakar dalam *excavator* memungkinkan tim konstruksi untuk menyelesaikan proyek dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan metode manual atau mesin yang kurang efisien.



Gambar 1.13. Excavator

b. Pertanian

1) Penggunaan Motor Bakar dalam Mesin Pertanian

Mesin-mesin pertanian seperti traktor, *combine harvester*, dan mesin pemanen lainnya banyak menggunakan motor bakar sebagai sumber tenaga utama. Motor bakar memberikan daya yang diperlukan untuk menggerakkan mesin-mesin besar ini di lahan pertanian.

2) Peningkatan Produktivitas Pertanian

Motor bakar telah memungkinkan mekanisasi pertanian, yang secara signifikan meningkatkan produktivitas. Mesin pertanian yang digerakkan oleh motor bakar dapat mengolah lahan, menanam, dan memanen tanaman dalam waktu yang jauh lebih singkat dibandingkan dengan tenaga manusia atau hewan.

3) Efisiensi Bahan Bakar dan Pemeliharaan

Motor bakar dalam mesin pertanian dirancang untuk efisiensi bahan bakar dan kemudahan pemeliharaan. Traktor modern, misalnya, menggunakan teknologi injeksi bahan bakar untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi.

- 4) Studi Kasus: Penggunaan Traktor dalam Produksi Gandum
- Sebuah perusahaan pertanian besar di Amerika Serikat menggunakan traktor yang digerakkan oleh motor diesel untuk mengolah ribuan hektar lahan gandum. Penggunaan motor bakar memungkinkan perusahaan tersebut untuk meningkatkan hasil panen dan mengurangi waktu serta biaya produksi secara signifikan.



Gambar 1. 14. Alat dalam Pertanian

c. Generator Listrik

- 1) Motor Bakar dalam Generator Listrik
- Generator listrik yang digerakkan oleh motor bakar digunakan untuk menyediakan listrik di daerah-daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik utama, serta sebagai sumber daya cadangan di lokasi kritis seperti rumah sakit, pabrik, dan gedung perkantoran.
- 2) Keandalan dan Mobilitas
- Generator yang digerakkan oleh motor bakar sangat andal dan dapat dipindahkan ke lokasi yang membutuhkan. Keandalan ini sangat penting dalam situasi darurat, di mana ketersediaan listrik adalah kebutuhan mendesak.
- 3) Efisiensi dan Pengurangan Emisi

Generator modern menggunakan teknologi motor bakar yang efisien dan menghasilkan emisi yang lebih rendah. Inovasi seperti sistem injeksi bahan bakar dan kontrol emisi telah meningkatkan performa dan dampak lingkungan dari generator.

4) Studi Kasus: Penggunaan Generator dalam Bantuan Bencana

Selama bencana alam di Jepang pada tahun 2011, ribuan generator listrik yang digerakkan oleh motor diesel digunakan untuk menyediakan listrik bagi daerah-daerah yang terdampak parah. Generator ini memungkinkan tim penyelamat dan penduduk setempat untuk mendapatkan akses listrik untuk komunikasi, perawatan medis, dan kebutuhan dasar lainnya.



Gambar 1.15. Generator

d. Industri Maritim

1) Penggunaan Motor Bakar dalam Kapal dan Perahu

Motor bakar digunakan secara luas dalam industri maritim untuk menggerakkan kapal dan perahu. Mesin diesel adalah pilihan utama karena efisiensinya yang tinggi dan ketahanannya terhadap kondisi operasional yang berat.

2) Peningkatan Efisiensi Pengiriman

Penggunaan motor bakar dalam kapal telah meningkatkan efisiensi pengiriman barang secara signifikan. Kapal kontainer modern dapat mengangkut ribuan ton barang dengan efisiensi bahan bakar yang jauh lebih baik dibandingkan dengan metode pengangkutan tradisional.

3) Keandalan dan Ketahanan

Motor bakar dalam kapal dirancang untuk operasi jangka panjang dan keandalan tinggi. Mesin ini dapat beroperasi terus-menerus selama berbulan-bulan di laut tanpa memerlukan perawatan yang ekstensif.

4) Studi Kasus: Penggunaan Kapal Kargo di Samudra Pasifik

Sebuah perusahaan pelayaran besar menggunakan kapal kargo yang digerakkan oleh motor diesel untuk mengangkut barang melintasi Samudra Pasifik. Penggunaan motor bakar memungkinkan kapal-kapal ini untuk berlayar tanpa henti selama berminggu-minggu, memastikan pengiriman barang yang tepat waktu dan efisien.



Gambar 1.16. Kapal Kargo

e. Kesimpulan

Motor bakar memainkan peran penting dalam berbagai industri, mulai dari konstruksi dan pertanian hingga pengiriman dan pembangkitan listrik. Inovasi dalam teknologi motor bakar telah memungkinkan peningkatan produktivitas, efisiensi, dan keandalan di berbagai sektor industri. Studi kasus yang disertakan menggambarkan bagaimana teknologi ini diterapkan dalam praktik, menunjukkan dampak positif motor bakar terhadap ekonomi dan kehidupan sehari-hari.

C. Jenis-jenis Motor Bakar

1. Motor Bensin vs. Motor Diesel

Motor bensin dan motor diesel adalah dua jenis motor bakar yang paling umum digunakan dalam kendaraan bermotor. Meskipun keduanya berfungsi untuk mengubah energi kimia menjadi energi mekanik, ada perbedaan mendasar dalam cara

kerja, bahan bakar yang digunakan, dan aplikasinya. Bagian ini akan membahas perbedaan teknis, kelebihan, dan kekurangan masing-masing jenis motor secara rinci, dilengkapi dengan ilustrasi dan diagram untuk memperjelas konsep-konsep tersebut (Koossalapeerom dkk., 2019).

a. Motor Bensin

1) Prinsip Kerja Motor Bensin

Motor bensin bekerja berdasarkan siklus Otto, yang terdiri dari empat langkah utama: *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust*.

- a) *Intake*: Campuran udara dan bensin masuk ke dalam silinder.
- b) *Compression*: Piston naik dan memampatkan campuran udara-bahan bakar.
- c) *Power*: Campuran udara-bahan bakar yang terkompresi dinyalakan oleh busi, menyebabkan ledakan yang mendorong piston turun.
- d) *Exhaust*: Piston naik kembali untuk mengeluarkan gas hasil pembakaran melalui katup exhaust.

2) Komponen Utama Motor Bensin

- a) Busi: Menghasilkan percikan api untuk menyalakan campuran udara-bahan bakar.
- b) Karburator atau Sistem Injeksi: Mencampur udara dan bensin sebelum masuk ke silinder.
- c) Katup Intake dan Exhaust: Mengontrol aliran udara dan gas buang.

3) Kelebihan Motor Bensin

- a) Respons Cepat: Motor bensin biasanya memiliki respons akselerasi yang cepat.
- b) Pengoperasian yang Halus: Motor bensin cenderung lebih halus dan lebih tenang dibandingkan dengan motor diesel.
- c) Biaya Awal yang Lebih Rendah: Kendaraan dengan motor bensin umumnya lebih murah dibandingkan dengan kendaraan diesel.

4) Kekurangan Motor Bensin

- a) Efisiensi Bahan Bakar yang Lebih Rendah: Motor bensin biasanya kurang efisien dalam penggunaan bahan bakar dibandingkan dengan motor diesel.
- b) Emisi yang Lebih Tinggi: Motor bensin cenderung menghasilkan lebih banyak emisi karbon dioksida dan polutan lainnya.



Gambar 1.17. Motor Bensin

b. Motor Diesel

1) Prinsip Kerja Motor Diesel

Motor diesel bekerja berdasarkan siklus Diesel, yang juga terdiri dari empat langkah utama, tetapi dengan perbedaan dalam cara pembakaran terjadi.

- a) *Intake*: Udara murni masuk ke dalam silinder.
- b) *Compression*: Piston naik dan memampatkan udara hingga mencapai suhu tinggi.
- c) *Power*: Bahan bakar disuntikkan ke dalam silinder, bercampur dengan udara panas dan terbakar sendiri, mendorong piston turun.
- d) *Exhaust*: Piston naik kembali untuk mengeluarkan gas hasil pembakaran melalui katup exhaust.

2) Komponen Utama Motor Diesel

- a) Injektor Bahan Bakar: Menyuntikkan bahan bakar ke dalam silinder pada tekanan tinggi.
- b) *Glow Plug* (Jika Diperlukan): Membantu memanaskan udara dalam silinder pada suhu rendah untuk memudahkan pembakaran.

- c) *Turbocharger* (Sering Digunakan): Meningkatkan efisiensi dengan memampatkan udara masuk.
- 3) Kelebihan Motor Diesel
 - a) Efisiensi Bahan Bakar yang Lebih Tinggi: Motor diesel lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar karena kompresi yang lebih tinggi.
 - b) Torsi Lebih Tinggi: Motor diesel menghasilkan lebih banyak torsi pada putaran mesin yang lebih rendah, membuatnya ideal untuk kendaraan berat dan truk.
 - c) Daya Tahan Lebih Lama: Motor diesel cenderung lebih tahan lama karena konstruksi yang lebih kuat.
- 4) Kekurangan Motor Diesel
 - a) Biaya Awal yang Lebih Tinggi: Kendaraan dengan motor diesel biasanya lebih mahal dibandingkan dengan kendaraan bensin.
 - b) Pengoperasian yang Lebih Kasar: Motor diesel cenderung lebih berisik dan bergetar lebih banyak.
 - c) Emisi Nitrogen Oksida: Meskipun lebih efisien dalam bahan bakar, motor diesel cenderung menghasilkan lebih banyak emisi nitrogen oksida dan partikel.



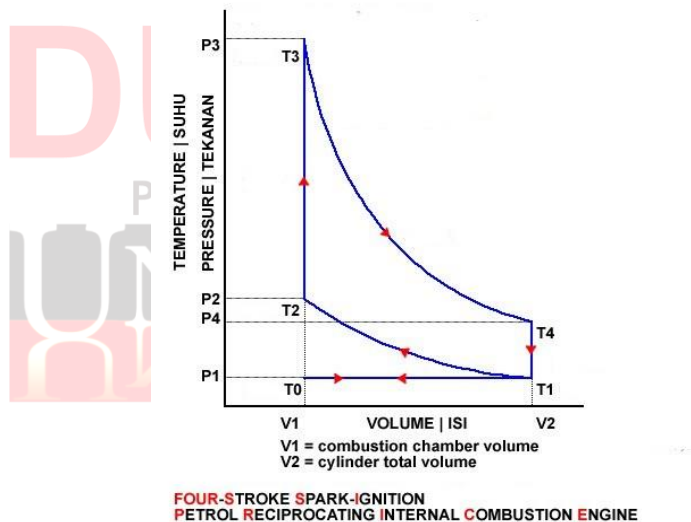
Gambar 1.18. Motor Diesel

c. Perbandingan Teknis

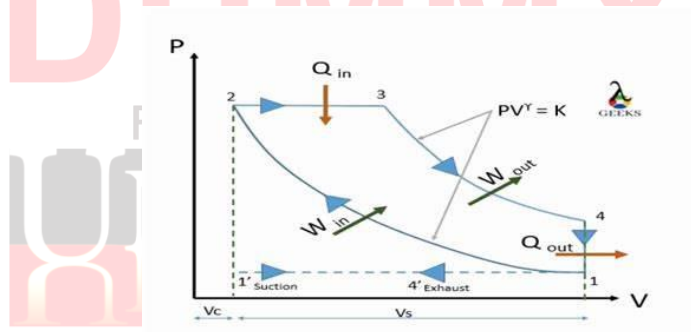
- 1) Siklus Kerja
 - a) Motor Bensin (Siklus Otto): Siklus Otto menggunakan busi untuk menyalakan campuran udara-bahan bakar. Ini

melibatkan empat langkah: intake, compression, power, dan exhaust.

- b) Motor Diesel (Siklus Diesel): Siklus Diesel menggunakan kompresi tinggi untuk menyalakan bahan bakar, juga terdiri dari empat langkah yang sama, tetapi dengan cara pembakaran yang berbeda.



Gambar 1.19. Siklus Otto



Gambar 1.20. Siklus Diesel

2) Efisiensi Termal

- a) Motor Bensin: Efisiensi termal motor bensin biasanya lebih rendah karena rasio kompresi yang lebih rendah.

- b) Motor Diesel: Motor diesel memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi karena rasio kompresi yang lebih tinggi, yang memungkinkan pembakaran yang lebih lengkap.
- 3) Emisi dan Lingkungan
 - a. Motor Bensin: Menghasilkan lebih banyak emisi karbon dioksida dan hidrokarbon.
 - b. Motor Diesel: Menghasilkan lebih banyak nitrogen oksida dan partikel, meskipun ada teknologi untuk mengurangi emisi ini, seperti sistem SCR (*Selective Catalytic Reduction*) dan filter partikel diesel (DPF).
- 4) Biaya Operasional
 - a) Motor Bensin: Biasanya memiliki biaya operasional yang lebih rendah dalam hal perawatan dan bahan bakar.
 - b) Motor Diesel: Meskipun lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar, biaya perawatan dan pembelian awal lebih tinggi.

d. Studi Kasus: Aplikasi Motor Bensin dan Diesel

- 1) Kendaraan Penumpang
 - a) Motor Bensin: Banyak digunakan dalam mobil penumpang karena respons akselerasi yang cepat dan pengoperasian yang halus.
 - b) Motor Diesel: Digunakan dalam beberapa mobil penumpang, terutama di Eropa, karena efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi.
- 2) Kendaraan Berat dan Industri
 - a) Motor Bensin: Jarang digunakan dalam kendaraan berat karena torsi yang lebih rendah.
 - b) Motor Diesel: Pilihan utama untuk truk, bus, dan peralatan konstruksi karena torsi yang tinggi dan efisiensi bahan bakar.
- 3) Generasi Listrik
 - a) Motor Bensin: Digunakan dalam generator portabel untuk kebutuhan listrik sementara.
 - b) Motor Diesel: Digunakan dalam generator stasioner untuk pasokan listrik yang andal dan efisien dalam jangka panjang.

e. Kesimpulan

Motor bensin dan motor diesel masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang membuatnya lebih cocok untuk aplikasi tertentu. Motor bensin menawarkan respons cepat dan operasi halus, sedangkan motor diesel memberikan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dan torsi yang lebih besar. Memahami perbedaan teknis dan aplikasi praktis dari kedua jenis motor ini membantu dalam memilih motor yang tepat untuk kebutuhan spesifik.

2. Motor Dua Tak dan Empat Tak

Motor dua tak dan empat tak memiliki perbedaan mendasar dalam cara kerja mereka, jumlah langkah dalam siklus pembakaran, dan aplikasi penggunaannya. Berikut adalah penjelasan rinci tentang mekanisme kerja, kelebihan, dan kekurangan kedua jenis motor ini (Alturki, 2017).

a. Motor Dua Tak

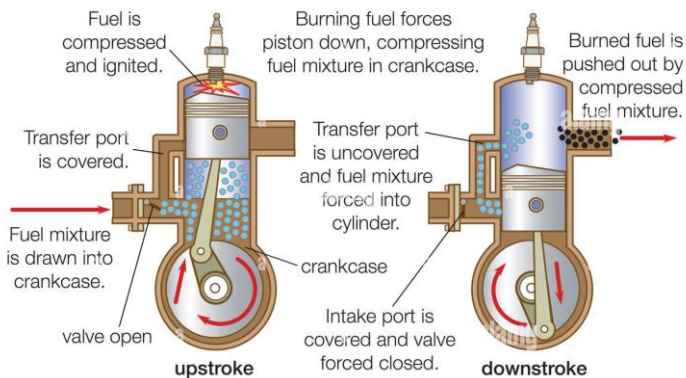
1) Prinsip Kerja Motor Dua Tak

Motor dua tak menyelesaikan satu siklus pembakaran dalam dua langkah piston: langkah kompresi dan langkah tenaga. Setiap putaran poros engkol (*crankshaft*) menghasilkan satu siklus pembakaran.

2) Langkah-Langkah Siklus Dua Tak

a) Langkah Kompresi: Piston bergerak naik dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), memampatkan campuran udara-bahan bakar di dalam silinder. Pada saat yang sama, campuran udara-bahan bakar baru ditarik ke dalam ruang crankcase di bawah piston.

b) Langkah Tenaga: Pada titik TMA, busi menyalakan campuran udara-bahan bakar yang terkompresi, menyebabkan ledakan yang mendorong piston turun. Saat piston turun, gas buang keluar melalui port exhaust, dan campuran udara-bahan bakar baru dari crankcase masuk ke dalam silinder melalui port transfer.



Gambar 1.21. Diagram Motor 2 Tak

3) Kelebihan Motor Dua Tak

- Desain Sederhana:** Motor dua tak memiliki lebih sedikit komponen daripada motor empat tak, membuatnya lebih sederhana dan lebih mudah dirawat.
- Kompak dan Ringan:** Karena desain yang lebih sederhana, motor dua tak biasanya lebih ringan dan lebih kompak.
- Tenaga Lebih Tinggi per Volume:** Motor dua tak menghasilkan lebih banyak tenaga per volume silinder karena setiap putaran crankshaft menghasilkan langkah tenaga.

4) Kekurangan Motor Dua Tak

- Efisiensi Bahan Bakar Lebih Rendah:** Motor dua tak cenderung kurang efisien dalam penggunaan bahan bakar karena sebagian bahan bakar dapat terbuang selama siklus.
- Emisi Lebih Tinggi:** Motor dua tak menghasilkan lebih banyak emisi karena pembakaran yang kurang sempurna dan kebocoran bahan bakar.
- Kehidupan Mesin Lebih Pendek:** Karena proses pembakaran yang lebih sering, komponen motor dua tak cenderung lebih cepat aus.

b. Motor Empat Tak

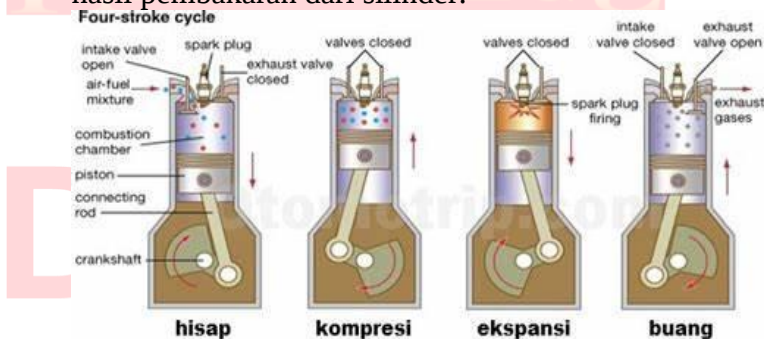
1) Prinsip Kerja Motor Empat Tak

Motor empat tak menyelesaikan satu siklus pembakaran dalam empat langkah piston: langkah intake,

langkah kompresi, langkah tenaga, dan langkah buang. Setiap siklus pembakaran membutuhkan dua putaran poros engkol.

2) Langkah-Langkah Siklus Empat Tak

- a) Langkah Intake: Katup intake terbuka, dan piston bergerak turun dari TMA ke TMB, menarik campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder.
- b) Langkah Kompresi: Katup intake dan exhaust tertutup, dan piston bergerak naik dari TMB ke TMA, memampatkan campuran udara-bahan bakar.
- c) Langkah Tenaga: Pada titik TMA, busi menyalakan campuran udara-bahan bakar yang terkompresi, menyebabkan ledakan yang mendorong piston turun dari TMA ke TMB.
- d) Langkah Buang: Katup exhaust terbuka, dan piston bergerak naik dari TMB ke TMA, mengeluarkan gas hasil pembakaran dari silinder.



Gambar 1.22. Diagram Motor Empat Tak

3) Kelebihan Motor Empat Tak

- a) Efisiensi Bahan Bakar Lebih Tinggi: Motor empat tak lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar karena setiap langkah pembakaran lebih sempurna.
- b) Emisi Lebih Rendah: Motor empat tak menghasilkan emisi yang lebih rendah karena pembakaran yang lebih lengkap.
- c) Kehidupan Mesin Lebih Panjang: Motor empat tak memiliki siklus pembakaran yang lebih lambat, sehingga komponen mesin lebih tahan lama.

- 4) Kekurangan Motor Empat Tak
 - a) Desain Lebih Kompleks: Motor empat tak memiliki lebih banyak komponen, seperti katup dan *camshaft*, membuatnya lebih kompleks dan lebih sulit dirawat.
 - b) Berat Lebih Besar: Karena desain yang lebih kompleks, motor empat tak biasanya lebih berat.
 - c) Ukuran Lebih Besar: Motor empat tak cenderung lebih besar dan kurang kompak dibandingkan motor dua tak.

c. Perbandingan Teknis

- 1) Siklus Kerja
 - a) Motor Dua Tak: Menyelesaikan satu siklus pembakaran dalam dua langkah, dengan langkah tenaga setiap putaran crankshaft.
 - b) Motor Empat Tak: Menyelesaikan satu siklus pembakaran dalam empat langkah, dengan langkah tenaga setiap dua putaran crankshaft.
- 2) Efisiensi Bahan Bakar dan Emisi
 - a) Motor Dua Tak: Kurang efisien dalam penggunaan bahan bakar dan menghasilkan emisi lebih tinggi.
 - b) Motor Empat Tak: Lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar dan menghasilkan emisi lebih rendah.
- 3) Desain dan Komponen
 - a) Motor Dua Tak: Lebih sederhana dengan lebih sedikit komponen.
 - b) Motor Empat Tak: Lebih kompleks dengan lebih banyak komponen.
- 4) Aplikasi dan Penggunaan
 - a) Motor Dua Tak: Banyak digunakan dalam aplikasi yang memerlukan mesin ringan dan berdaya tinggi, seperti sepeda motor kecil, mesin gergaji, dan alat pemotong rumput.
 - b) Motor Empat Tak: Digunakan dalam kendaraan bermotor, mobil, truk, dan mesin industri yang memerlukan efisiensi bahan bakar dan emisi rendah.

d. Studi Kasus: Aplikasi Praktis

- 1) Motor Dua Tak dalam Sepeda Motor

Sepeda motor dua tak sering digunakan di daerah pedesaan dan medan berat karena tenaga tinggi dan

perawatan yang mudah. Misalnya, sepeda motor Yamaha RX-King yang terkenal di Indonesia.

2) Motor Empat Tak dalam Kendaraan Penumpang

Motor empat tak banyak digunakan dalam mobil penumpang karena efisiensi bahan bakar dan emisi yang lebih rendah. Contohnya adalah mesin V6 dalam mobil Toyota Camry yang memberikan kombinasi antara tenaga dan efisiensi bahan bakar.

e. Kesimpulan

Motor dua tak dan empat tak masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang membuatnya lebih cocok untuk aplikasi tertentu. Motor dua tak menawarkan desain sederhana dan tenaga tinggi per volume, sementara motor empat tak menawarkan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dan emisi yang lebih rendah. Memahami perbedaan teknis dan aplikasi praktis dari kedua jenis motor ini membantu dalam memilih motor yang tepat untuk kebutuhan spesifik.

3. Motor Listrik dan Hibrida

a. Pengenalan

Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan lingkungan, motor listrik dan hibrida semakin populer sebagai alternatif untuk motor bakar konvensional. Motor listrik mengandalkan energi listrik untuk menggerakkan kendaraan, sedangkan motor hibrida menggabungkan motor bakar dan motor listrik untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi. Bagian ini akan membahas teknologi di balik motor listrik dan hibrida, serta keunggulan dan tantangan yang dihadapi dalam penggunaannya (Zahedi dkk., 2024).

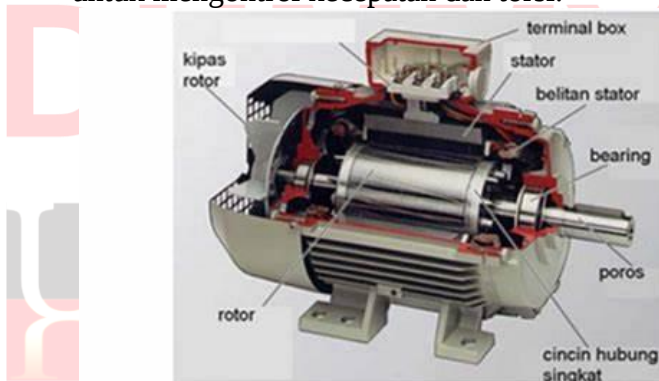
b. Motor Listrik

1) Prinsip Kerja Motor Listrik

Motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kendaraan. Prinsip dasar motor listrik didasarkan pada medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui kumparan.

2) Komponen Utama Motor Listrik

- a) Stator: Bagian statis dari motor yang menghasilkan medan magnet.
- b) Rotor: Bagian berputar yang berinteraksi dengan medan magnet untuk menghasilkan gerakan.
- c) Baterai: Sumber energi listrik yang menyimpan dan menyediakan listrik untuk motor.
- d) Kontroler: Mengatur aliran listrik dari baterai ke motor untuk mengontrol kecepatan dan torsi.



Gambar 1.23. Diagram Motor Listrik

3) Keunggulan Motor Listrik

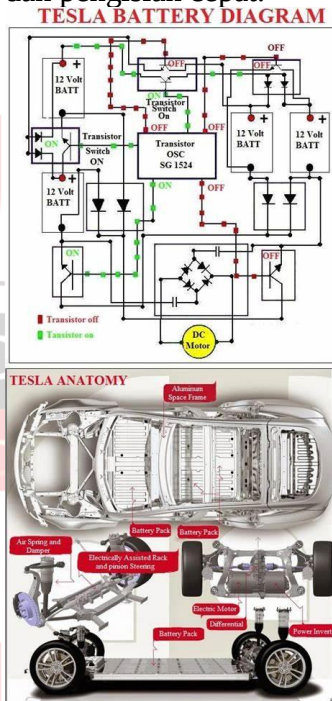
- a) Efisiensi Tinggi: Motor listrik memiliki efisiensi konversi energi yang sangat tinggi, sering kali di atas 90%.
- b) Emisi Nol: Motor listrik tidak menghasilkan emisi gas buang saat beroperasi.
- c) Perawatan Rendah: Motor listrik memiliki lebih sedikit komponen bergerak dibandingkan motor bakar, sehingga memerlukan perawatan yang lebih sedikit.
- d) Operasi Tenang: Motor listrik beroperasi dengan sangat tenang, mengurangi polusi suara.

4) Tantangan Motor Listrik:

- a) Keterbatasan Jarak Tempuh: Keterbatasan kapasitas baterai membatasi jarak tempuh kendaraan listrik.
- b) Waktu Pengisian: Pengisian baterai membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan pengisian bahan bakar konvensional.
- c) Infrastruktur Pengisian: Ketersediaan infrastruktur pengisian yang masih terbatas di beberapa daerah.

5) Studi Kasus: Tesla Model S

Tesla Model S adalah salah satu contoh sukses dari kendaraan listrik yang memadukan performa tinggi dengan efisiensi. Model S memiliki jarak tempuh yang lebih jauh per pengisian dan dilengkapi dengan fitur-fitur canggih seperti autopilot dan pengisian cepat.



Gambar 1.24. Diagram Tesla S

c. Motor Hibrida

1) Prinsip Kerja Motor Hibrida

Motor hibrida menggabungkan motor bakar dengan motor listrik untuk memaksimalkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi. Sistem hibrida dapat bekerja dalam beberapa mode, termasuk hanya motor listrik, hanya motor bakar, atau kombinasi keduanya.

2) Komponen Utama Motor Hibrida:

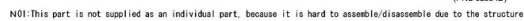
- a) Motor Bakar: Mesin konvensional yang menggunakan bahan bakar.
- b) Motor Listrik: Menggerakkan kendaraan dan dapat berfungsi sebagai generator untuk mengisi baterai.
- c) Baterai: Menyimpan energi listrik yang digunakan oleh motor listrik.

- d) Kontroler Hibrida: Mengelola interaksi antara motor bakar dan motor listrik untuk optimalisasi performa.



Gambar 1.25. Diagram Motor Hibrida

- 3) Keunggulan Motor Hibrida:
- a) Efisiensi Bahan Bakar Lebih Tinggi: Kombinasi motor bakar dan motor listrik meningkatkan efisiensi bahan bakar, terutama dalam kondisi mengemudi yang bervariasi.
 - b) Emisi Rendah: Penggunaan motor listrik untuk sebagian besar perjalanan mengurangi emisi gas buang.
 - c) Jarak Tempuh Lebih Panjang: Kendaraan hibrida memiliki jarak tempuh yang lebih panjang dibandingkan kendaraan listrik murni karena dapat menggunakan bahan bakar konvensional.
- 4) Tantangan Motor Hibrida:
- a) Kompleksitas Sistem: Sistem hibrida lebih kompleks dan memerlukan teknologi canggih untuk mengelola interaksi antara dua jenis motor.
 - b) Biaya Produksi Lebih Tinggi: Kendaraan hibrida biasanya lebih mahal untuk diproduksi karena memerlukan komponen tambahan seperti baterai besar dan motor listrik.
 - c) Keterbatasan Penggunaan Motor Listrik: Motor listrik pada kendaraan hibrida biasanya memiliki jarak tempuh terbatas saat bekerja secara eksklusif.
- 5) Studi Kasus: Toyota Prius
- Toyota Prius adalah salah satu kendaraan hibrida paling populer dan dianggap sebagai pelopor dalam



845769C

- a) Motor Listrik: Efisiensi energi yang sangat tinggi, hampir tidak ada energi yang terbuang sebagai panas.
- b) Motor Hibrida: Efisiensi bahan bakar lebih tinggi dibandingkan kendaraan konvensional, tetapi masih lebih rendah dari setinggi kendaraan listrik murni.

2) Emisi dan Lingkungan

- a) Motor Listrik: Emisi nol saat beroperasi, sangat ramah lingkungan.
- b) Motor Hibrida: Emisi lebih rendah dari kendaraan konvensional, tetapi masih menghasilkan emisi saat menggunakan motor bakar.

- 2) Emisi dan Lingkungan
- a) Motor Listrik: Emisi nol saat beroperasi, sangat ramah lingkungan.
 - b) Motor Hibrida: Emisi lebih rendah dibandingkan kendaraan konvensional, tetapi masih memiliki emisi saat menggunakan motor bakar.

e. Kesimpulan

Motor listrik dan hibrida menawarkan solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan dengan motor bakar konvensional. Motor listrik memberikan emisi nol dan efisiensi tinggi, tetapi menghadapi tantangan dalam hal jarak tempuh dan waktu pengisian. Motor hibrida menggabungkan keunggulan motor bakar dan motor listrik untuk memberikan efisiensi bahan bakar yang lebih baik dan emisi yang lebih rendah. Studi kasus dari kendaraan seperti Tesla Model S dan Toyota Prius menggambarkan penerapan praktis dari teknologi ini dan menunjukkan potensi mereka untuk masa depan kendaraan bermotor yang lebih hijau dan efisien.

D. Prinsip Kerja Motor Bakar

1. Siklus Otto dan Siklus Diesel

Siklus Otto dan Siklus Diesel adalah dua prinsip dasar yang digunakan dalam motor bakar untuk mengubah energi kimia menjadi energi mekanik. Keduanya memiliki langkah-langkah yang mirip namun dengan beberapa perbedaan signifikan yang mempengaruhi efisiensi, karakteristik pembakaran, dan aplikasi penggunaannya. Dalam bagian ini, kita akan membahas secara rinci perbedaan antara kedua siklus ini, termasuk efisiensi termal dan karakteristik pembakaran (Chen dkk., 2003).

a. Siklus Otto

1) Prinsip Kerja Siklus Otto

Siklus Otto digunakan dalam motor bensin dan terdiri dari empat langkah utama: *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust*. Setiap langkah memiliki peran penting dalam siklus pembakaran.

2) Langkah-Langkah Siklus Otto

- a) *Intake* (Hisap): Campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder melalui katup *intake* saat piston bergerak turun dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB).
- b) *Compression* (Kompresi): Piston bergerak naik dari TMB ke TMA, memampatkan campuran udara-bahan

bakar di dalam silinder. Pada saat ini, katup *intake* dan *exhaust* tertutup.

c) *Power* (Tenaga): Pada titik TMA, busi menyalakan campuran udara-bahan bakar yang terkompresi, menyebabkan ledakan yang mendorong piston turun dari TMA ke TMB.

d) *Exhaust* (Buang): Katup *exhaust* terbuka, dan piston bergerak naik dari TMB ke TMA, mengeluarkan gas hasil pembakaran dari silinder.

3) Efisiensi Termal Siklus Otto

Efisiensi termal Siklus Otto ditentukan oleh rasio kompresi dan sifat termodinamika dari proses pembakaran. Efisiensi termal teoritis dari Siklus Otto dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\eta_{Otto} = 1 - \left(\frac{1}{r^{y-1}} \right)$$

Di mana r adalah rasio kompresi dan y adalah rasio spesifik panas.

4) Karakteristik Pembakaran dalam Siklus Otto

a) Penggunaan Busi: Pembakaran dimulai oleh busi yang menghasilkan percikan api.

b) Pembakaran Cepat: Proses pembakaran cepat dan terjadi pada volume yang hampir konstan.

c) Rasio Kompresi: Motor bensin biasanya memiliki rasio kompresi antara 8:1 hingga 12:1.

5) Aplikasi dan Kelebihan Siklus Otto

a) Kendaraan Penumpang: Digunakan secara luas dalam mobil, sepeda motor, dan kendaraan penumpang lainnya.

b) Operasi Halus: Motor bensin dengan Siklus Otto cenderung beroperasi dengan lebih halus dan menghasilkan lebih sedikit getaran.

c) Biaya Produksi Lebih Rendah: Teknologi yang sudah mapan dengan biaya produksi yang lebih rendah dibandingkan dengan motor diesel.

b. Siklus Diesel

1) Prinsip Kerja Siklus Diesel

Siklus Diesel digunakan dalam motor diesel dan juga terdiri dari empat langkah utama: *intake*, *compression*, *power*, dan *exhaust*. Namun, ada perbedaan penting dalam cara pembakaran terjadi.

2) Langkah-Langkah Siklus Diesel

a) *Intake* (Hisap): Udara murni masuk ke dalam silinder melalui katup *intake* saat piston bergerak turun dari TMA ke TMB.

b) *Compression* (Kompresi): Piston bergerak naik dari TMB ke TMA, memampatkan udara di dalam silinder hingga mencapai suhu dan tekanan tinggi.

c) *Power* (Tenaga): Pada titik TMA, bahan bakar disuntikkan ke dalam silinder, bercampur dengan udara panas dan terbakar sendiri (*self-ignition*), menyebabkan ledakan yang mendorong piston turun dari TMA ke TMB.

d) *Exhaust* (Buang): Katup *exhaust* terbuka, dan piston bergerak naik dari TMB ke TMA, mengeluarkan gas hasil pembakaran dari silinder.

3) Efisiensi Termal Siklus Diesel

Efisiensi termal Siklus Diesel lebih tinggi dibandingkan dengan Siklus Otto karena rasio kompresi yang lebih tinggi. Efisiensi termal teoritis dari Siklus Diesel dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\eta_{\text{Diesel}} = 1 - \left(\frac{1}{r^{y-1}} \right) - \left(\frac{p^{y-1}}{y(p-1)} \right)$$

Di mana r adalah rasio kompresi dan y adalah rasio spesifik panas, sedangkan p adalah rasio pemotongan.

4) Karakteristik Pembakaran dalam Siklus Diesel

a) Pembakaran dengan Kompresi: Bahan bakar terbakar sendiri akibat suhu dan tekanan tinggi hasil kompresi.

b) Pembakaran Bertahap: Proses pembakaran lebih lambat dan terjadi selama langkah ekspansi.

c) Rasio Kompresi: Motor diesel biasanya memiliki rasio kompresi antara 14:1 hingga 22:1.

5) Aplikasi dan Kelebihan Siklus Diesel

- a) Kendaraan Berat: Digunakan secara luas dalam truk, bus, kapal, dan peralatan berat lainnya.
- b) Efisiensi Bahan Bakar Tinggi: Motor diesel lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar.
- c) Daya Tahan: Motor diesel dikenal lebih tahan lama dan andal dalam kondisi kerja yang berat.

c. Perbandingan Teknis

- 1) Efisiensi Termal
 - a) Siklus Otto: Efisiensi termal lebih rendah karena rasio kompresi yang lebih rendah.
 - b) Siklus Diesel: Efisiensi termal lebih tinggi karena rasio kompresi yang lebih tinggi.
- 2) Rasio Kompresi
 - a) Siklus Otto: Rasio kompresi antara 8:1 hingga 12:1.
 - b) Siklus Diesel: Rasio kompresi antara 14:1 hingga 22:1.
- 3) Pembakaran
 - a) Siklus Otto: Pembakaran dimulai oleh busi.
 - b) Siklus Diesel: Pembakaran dimulai oleh kompresi tinggi yang menyebabkan self-ignition.
- 4) Aplikasi
 - a) Siklus Otto: Kendaraan penumpang, sepeda motor, alat-alat kecil.
 - b) Siklus Diesel: Kendaraan berat, peralatan industri, generator listrik.

d. Studi Kasus: Aplikasi Praktis

- 1) Kendaraan Penumpang
 - a) Siklus Otto: Mobil penumpang seperti Toyota Corolla menggunakan motor bensin dengan Siklus Otto untuk menyediakan performa yang halus dan responsif.
 - b) Siklus Diesel: Mobil penumpang seperti Volkswagen Golf TDI menggunakan motor diesel dengan Siklus Diesel untuk efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dan daya tahan yang lebih lama.

2) Kendaraan Berat

- a) Siklus Otto: Jarang digunakan dalam kendaraan berat karena efisiensi bahan bakar yang lebih rendah dan torsi yang lebih kecil.
- b) Siklus Diesel: Truk seperti Ford F-250 Super Duty menggunakan motor diesel dengan Siklus Diesel untuk memberikan torsi tinggi dan efisiensi bahan bakar dalam pengangkutan beban berat.

e. Kesimpulan

Siklus Otto dan Siklus Diesel masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan yang membuatnya lebih cocok untuk aplikasi tertentu. Siklus Otto menawarkan operasi yang halus dan responsif dengan biaya produksi yang lebih rendah, sedangkan Siklus Diesel menawarkan efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dan daya tahan yang lebih baik dalam kondisi kerja yang berat. Memahami perbedaan teknis dan karakteristik pembakaran dari kedua siklus ini membantu dalam memilih jenis motor yang tepat untuk kebutuhan spesifik.

2. Fase-fase dalam Siklus Pembakaran

Setiap siklus pembakaran dalam motor bakar melibatkan beberapa fase penting yang bekerja secara berurutan untuk mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Fase-fase ini adalah *intake* (hisap), *compression* (kompresi), *power* (tenaga), dan *exhaust* (buang). Berikut adalah penjelasan mendalam tentang setiap fase, mekanisme yang terlibat, dan kontribusi masing-masing fase terhadap keseluruhan siklus pembakaran (Barbella dkk., 1990).

a. Intake (Hisap)

1) Pengertian dan Fungsi

Fase *intake* adalah fase pertama dalam siklus pembakaran. Pada fase ini, campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder melalui katup *intake* yang terbuka. Tujuan dari fase ini adalah untuk mengisi silinder dengan campuran yang tepat untuk proses pembakaran.

- 2) Mekanisme yang Terlibat
 - a) Katup *Intake*: Katup intake terbuka pada awal fase ini, memungkinkan campuran udara-bahan bakar masuk ke dalam silinder.
 - b) Gerakan Piston: Piston bergerak turun dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), menciptakan ruang hampa yang menarik campuran udara-bahan bakar ke dalam silinder.
 - c) Tekanan Negatif: Gerakan turun piston menciptakan tekanan negatif di dalam silinder, yang membantu menarik campuran udara-bahan bakar.
- 3) Kontribusi terhadap Siklus Pembakaran
 - a) Pengisian Silinder: Fase intake memastikan bahwa silinder terisi dengan campuran udara-bahan bakar yang diperlukan untuk pembakaran.
 - b) Persiapan Pembakaran: Campuran yang tepat di dalam silinder sangat penting untuk pembakaran yang efisien dan optimal pada fase berikutnya.

b. Compression (Kompresi)

- 1) Pengertian dan Fungsi

Fase kompresi adalah fase kedua dalam siklus pembakaran. Pada fase ini, piston naik dari TMB ke TMA, memampatkan campuran udara-bahan bakar di dalam silinder. Pemampatan ini meningkatkan tekanan dan suhu campuran, membuatnya lebih mudah terbakar.
- 2) Mekanisme yang Terlibat
 - a) Katup Tertutup: Pada fase ini, katup *intake* dan *exhaust* tertutup rapat untuk memastikan campuran udara-bahan bakar tetap di dalam silinder.
 - b) Gerakan Piston: Piston bergerak naik, mengurangi volume ruang di dalam silinder dan memampatkan campuran udara-bahan bakar.
 - c) Peningkatan Tekanan dan Suhu: Pemampatan campuran menyebabkan peningkatan tekanan dan suhu, yang mempersiapkan campuran untuk pembakaran yang efisien.
- 3) Kontribusi terhadap Siklus Pembakaran
 - a) Peningkatan Efisiensi Pembakaran: Pemampatan campuran meningkatkan efisiensi pembakaran karena

campuran yang lebih padat terbakar lebih cepat dan lebih lengkap.

- b) Persiapan untuk Fase Tenaga: Tekanan dan suhu tinggi di akhir fase kompresi penting untuk memastikan pembakaran yang kuat pada fase tenaga.

c. **Power (Tenaga)**

1) Pengertian dan Fungsi

Fase tenaga adalah fase ketiga dan merupakan sumber utama tenaga dalam siklus pembakaran. Pada fase ini, campuran udara-bahan bakar yang terkompresi dinyalakan oleh busi, menyebabkan ledakan kecil yang mendorong piston turun dengan kekuatan besar.

2) Mekanisme yang Terlibat

- a) Busi: Busi menghasilkan percikan api yang menyalakan campuran udara-bahan bakar pada titik TMA.
- b) Pembakaran: Ledakan hasil pembakaran menghasilkan ekspansi gas yang cepat, mendorong piston turun dari TMA ke TMB.
- c) Gerakan Piston: Gerakan turun piston mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan *crankshaft*.

3) Kontribusi terhadap Siklus Pembakaran

- a) Penghasilan Tenaga: Fase tenaga adalah sumber utama tenaga yang menggerakkan mesin.
- b) Konversi Energi: Proses pembakaran mengubah energi kimia menjadi energi mekanik yang digunakan untuk berbagai aplikasi.

d. **Exhaust (Buang)**

1) Pengertian dan Fungsi

Fase buang adalah fase keempat dan terakhir dalam siklus pembakaran. Pada fase ini, piston bergerak naik dari TMB ke TMA, mengeluarkan gas hasil pembakaran dari silinder melalui katup exhaust yang terbuka.

2) Mekanisme yang Terlibat

- a) Katup *Exhaust*: Katup exhaust terbuka pada awal fase ini, memungkinkan gas hasil pembakaran keluar dari silinder.

- b) Gerakan Piston: Piston bergerak naik, mendorong gas hasil pembakaran keluar dari silinder.
- c) Pembuangan Gas: Gas hasil pembakaran dikeluarkan melalui sistem *exhaust* dan katalis untuk mengurangi emisi berbahaya.
- 3) Kontribusi terhadap Siklus Pembakaran
 - a) Pembersihan Silinder: Fase buang membersihkan silinder dari gas hasil pembakaran, mempersiapkannya untuk fase *intake* berikutnya.
 - b) Pengurangan Emisi: Sistem *exhaust* dan katalis membantu mengurangi emisi gas buang yang berbahaya.

e. Kesimpulan

Setiap fase dalam siklus pembakaran memainkan peran penting dalam memastikan bahwa mesin berfungsi dengan efisien dan efektif. Fase *intake* memastikan silinder terisi dengan campuran udara-bahan bakar yang tepat, fase kompresi meningkatkan tekanan dan suhu campuran untuk pembakaran yang efisien, fase tenaga menghasilkan tenaga utama yang menggerakkan mesin, dan fase buang membersihkan silinder dari gas hasil pembakaran. Memahami mekanisme yang terlibat dalam setiap fase dan kontribusi masing-masing terhadap keseluruhan siklus pembakaran membantu dalam perawatan dan optimalisasi performa mesin.

3. Pengaruh Kondisi Operasional

Kinerja motor bakar sangat dipengaruhi oleh berbagai kondisi operasional seperti suhu, tekanan, dan kualitas bahan bakar. Setiap faktor ini dapat mempengaruhi efisiensi pembakaran, performa mesin, dan emisi gas buang. Dalam bagian ini, kita akan membahas secara mendalam bagaimana berbagai kondisi operasional mempengaruhi kinerja motor bakar, termasuk studi kasus dan contoh praktis untuk memperjelas dampaknya (Amador Diaz dkk., 2019).

a. Suhu

1) Pengaruh Suhu Terhadap Kinerja Motor Bakar

Suhu operasional motor bakar memainkan peran penting dalam kinerja dan efisiensi pembakaran. Suhu yang

terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat menyebabkan masalah pada mesin

a) Suhu Tinggi: Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *knocking* (detonasi) karena campuran udara-bahan bakar terbakar sebelum busi menyalakannya. *Knocking* dapat merusak komponen mesin seperti piston dan katup.

b) Suhu Rendah: Suhu yang terlalu rendah dapat menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna, menghasilkan emisi hidrokarbon yang tinggi dan menyebabkan penumpukan karbon di dalam silinder.

2) Manajemen Suhu

a) Sistem Pendingin: Menggunakan sistem pendingin cairan atau udara untuk menjaga suhu mesin dalam rentang yang optimal.

b) Termostat: Mengontrol aliran cairan pendingin berdasarkan suhu mesin, menjaga suhu operasi yang stabil.

3) Studi Kasus: *Overheating* pada Kendaraan

Kasus *overheating* sering terjadi pada kendaraan yang mengalami masalah dengan sistem pendingin. Sebagai contoh, sebuah kendaraan dengan radiator yang tersumbat mungkin mengalami peningkatan suhu yang berlebihan, menyebabkan *knocking* dan akhirnya kerusakan mesin.



Gambar 1.27. Overheating

b. Tekanan

1) Pengaruh Tekanan Terhadap Kinerja Motor Bakar

Tekanan di dalam silinder saat proses pembakaran juga mempengaruhi efisiensi dan performa mesin. Tekanan yang tepat diperlukan untuk memastikan pembakaran yang efisien.

- a) Tekanan Tinggi: Tekanan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko *knocking* dan keausan komponen mesin.
- b) Tekanan Rendah: Tekanan yang terlalu rendah mengurangi efisiensi pembakaran, menyebabkan kehilangan daya dan peningkatan emisi.
- 2) Pengelolaan Tekanan
 - a) *Supercharger* dan *Turbocharger*: Alat ini meningkatkan tekanan udara masuk untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan tenaga mesin.
 - b) Pemeliharaan Katup: Katup yang bocor atau tidak sejajar dapat menyebabkan penurunan tekanan dan efisiensi.
- 3) Studi Kasus: Penggunaan *Turbocharger*
 Pada kendaraan dengan *turbocharger*, peningkatan tekanan udara masuk memungkinkan pembakaran yang lebih efisien, meningkatkan tenaga mesin tanpa meningkatkan konsumsi bahan bakar secara proporsional. Misalnya, kendaraan *sport* seperti Subaru WRX menggunakan *turbocharger* untuk meningkatkan performa.

c. Kualitas Bahan Bakar

- 1) Pengaruh Kualitas Bahan Bakar Terhadap Kinerja Motor Bakar
 Kualitas bahan bakar memiliki dampak langsung pada efisiensi pembakaran dan emisi yang dihasilkan. Bahan bakar berkualitas buruk dapat menyebabkan berbagai masalah pada mesin.
 - a) Bahan Bakar dengan Oktan Rendah: Dapat menyebabkan *knocking* karena tidak tahan terhadap tekanan tinggi sebelum terbakar.
 - b) Bahan Bakar Kotor: Mengandung kotoran yang dapat menyumbat injektor bahan bakar dan menyebabkan pembakaran tidak sempurna.
- 2) Pengelolaan Kualitas Bahan Bakar
 - a) Penggunaan Aditif: Menambahkan aditif untuk meningkatkan angka oktan atau membersihkan sistem bahan bakar.
 - b) Pemilihan Bahan Bakar Berkualitas: Menggunakan bahan bakar dengan spesifikasi yang direkomendasikan oleh pabrikan kendaraan.

3) Studi Kasus: Penggunaan Bahan Bakar Oktan Tinggi

Pada kendaraan performa tinggi, seperti BMW M3, penggunaan bahan bakar dengan oktan tinggi diperlukan untuk mencegah knocking dan memastikan pembakaran yang efisien pada rasio kompresi yang tinggi.

d. Kombinasi Faktor Operasional

1) Interaksi Suhu, Tekanan, dan Kualitas Bahan Bakar

Kondisi operasional seperti suhu, tekanan, dan kualitas bahan bakar sering kali saling mempengaruhi dan berinteraksi satu sama lain. Kombinasi dari kondisi-kondisi ini menentukan efisiensi keseluruhan dan performa motor bakar.

a) Suhu dan Tekanan: Suhu yang tinggi dapat meningkatkan tekanan di dalam silinder, sehingga meningkatkan risiko *knocking*.

b) Tekanan dan Kualitas Bahan Bakar: Tekanan yang tinggi memerlukan bahan bakar dengan oktan tinggi untuk mencegah *knocking*.

c) Suhu dan Kualitas Bahan Bakar: Suhu yang rendah dapat mengurangi efisiensi bahan bakar, menyebabkan penumpukan karbon.

2) Optimisasi Kondisi Operasional

a) Pemeliharaan Teratur: Memastikan semua sistem berfungsi dengan baik dan mencegah masalah yang berkaitan dengan kondisi operasional.

b) Penggunaan Sensor dan Kontroler: Sistem modern menggunakan sensor dan kontroler untuk memonitor dan mengatur suhu, tekanan, dan kualitas bahan bakar secara *real-time*.

3) Studi Kasus: Sistem Manajemen Mesin Modern

Kendaraan modern menggunakan ECU (*Engine Control Unit*) yang memonitor dan mengatur berbagai parameter operasional untuk memastikan efisiensi dan performa optimal. Misalnya, pada mesin BMW yang dilengkapi dengan *Valvetronic*, ECU mengontrol katup intake secara presisi untuk mengoptimalkan campuran udara-bahan bakar dan menjaga tekanan yang optimal.

e. Kesimpulan

Kondisi operasional seperti suhu, tekanan, dan kualitas bahan bakar sangat mempengaruhi kinerja motor bakar. Memahami pengaruh masing-masing kondisi ini dan bagaimana mereka saling berinteraksi membantu dalam mengoptimalkan performa mesin, mengurangi emisi, dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Pemeliharaan yang baik dan penggunaan teknologi modern dapat membantu mengelola kondisi operasional dan memastikan kinerja motor bakar yang optimal.

