

TERMODINAMIKA KIMIA

Prof. Dr. Hardeli, M.Si
Drs. Syukri, M.Pd
Prof. Dr. Yerimadesi, S.Pd., M.Si

Bidang ilmu kimia yang mempelajari konsep ini secara teoritikal dan eksperimental disebut termodinamika kimia. Konsep ini sangat penting bagi seorang kimiawan untuk mempelajari dan mengeksplorasi suatu reaksi kimia. Namun, keterbatasan sumber belajar telah mempersulit banyak kimiawan, baik mahasiswa, guru, dosen, atau peneliti untuk memahami konsep ilmu ini. Buku ini diharapkan membantu mengatasi keterbatasan sumber belajar tersebut. Penjelasan yang digunakan pada buku sangat terstruktur dengan bahasa yang mudah dipahami.

Konsep inti termodinamika meliputi kesetimbangan termal, kesetimbangan kimia, dan kesetimbangan fasa sebagai aplikasi dari hukum pertama, kedua, dan ketiga termodinamika dijelaskan secara berurutan. Penjelasan tersebut disertai contoh dan penyelesaian soal serta kaidah matematika praktis yang ditampilkan secara pragmatis pada bagian-bagian tertentu untuk memudahkan pemahaman. Mudah-mudahan buku ini memberikan manfaat sebagaimana yang diharapkan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah banyak membantu. Saran dan kritik yang konstruktif tetap kami harapkan demi penyempurnaan buku ini pada edisi selanjutnya.



978-602-1178-...-

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



UNP PRESS

TERMODINAMIKA KIMIA

Prof. Dr. Hardeli, M.Si
Drs. Syukri, M.Pd
Prof. Dr. Yerimadesi, S.Pd., M.Si

BUKU AJAR TERMODINAMIKA KIMIA

Prof. Dr. Hardeli, M.Si
Drs. Syukri, M.Pd
Prof. Dr. Yerimadesi, S.Pd., M.Si

Penerbitan & Percetakan

UNP PRESS

BUKU AJAR TERMODINAMIKA

**Drs. Syukri, M.Pd., Dr. Hardeli, M.Si., Dr. Yerimadesi,
S.Pd., M.Si**

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).

BUKU AJAR TERMODINAMIKA KIMIA

**Drs. Syukri, M.Pd., Dr. Hardeli, M.Si., Dr. Yerimadesi,
S.Pd., M.Si**



2024

BUKU AJAR TERMODINAMIKA KIMIA

editor, Tim editor UNP Press

Penerbit UNP Press, Padang, 2020

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

Jumlah Halaman xii + 191 Halaman Buku

ISBN : 978-602-1178-XX-X

BUKU AJAR TERMODINAMIKA KIMIA

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis

Hak penerbitan pada UNP Press

Penyusun: Drs. Syukri, M.Pd., Dr. Hardeli, M.Si., Dr. Yerimadesi,
S.Pd., M.Si

Editor Substansi: Tim UNP Press

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

Desain Sampul & Layout: Dr. Asrul Huda, M.Kom & Tim UNP Press

KATA PENGANTAR

Salah satu faktor penting dalam meningkatkan mutu pendidikan adalah dengan penyediaan bahan ajar bermutu dan sesuai dengan kebutuhan mahasiswa. Bahan ajar yang sangat penting adalah buku ajar karena berisi materi pelajaran secara utuh dan lengkap. Kekurangan buku ajar bagi negara kita sangat dirasakan oleh mahasiswa termasuk dalam mengikuti mata kuliah IPA umumnya dan kimia khususnya.

Matakuliah termodinamika kimia adalah matakuliah lanjut dan spesifik yang khusus untuk mahasiswa jurusan kimia. Ada beberapa buku ajar termodinamika kimia di perpustakaan perguruan tinggi tetapi umumnya berbahasa asing yang isinya cukup luas dan mendalam. Kenyataannya sebagian besar mahasiswa tidak mau dan tidak mampu mencari dan mempelajarinya. Buku ini ditulis adalah salah satu upaya membantu mahasiswa tersebut.

Termodinamika kimia adalah studi penerapan prinsip-prinsip termodinamika ke dalam sistem kimia yang bersifat makroskopis. Oleh sebab itu mata kuliah ini harus dilatar belakangi oleh pengetahuan fisika dan kalkulus dasar mahasiswa. Akibatnya sebagian besar mahasiswa jurusan kimia cukup sulit memahaminya apalagi memahami dari buku-buku berbahasa asing. Berdasarkan itu maka buku ini dirancang sedemikian rupa sehingga mahasiswa mudah menangkap isinya dengan berbagai strategi, misalnya memberi analogi sederhana serta melengkapi konsep-konsep sulit dengan gambar-gambar dan contoh. Strategi didasarkan pada pengalaman kami membina mata kuliah ini sekitar 20 tahun sampai sekarang.

Masukan dan saran dari pembaca. Sangat diharapkan untuk kesempurnaan buku ini dan dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam mengikuti perkuliahan. Juga tak lupa kami mengucapkan terima kasih pada beberapa pihak yang membantu selesai dan terbitnya buku ini. Semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI.....	VI
DAFTAR GAMBAR	X
DAFTAR TABEL.....	XIII
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
A. KIMIA FISIKA	1
B. DUNIA MIKROSKOPIK	2
1. Asosiasi Atom dan Molekul.....	3
C. KEADAAN MATERI.....	5
1. Zat Padat	5
2. Zat Cair	6
3. Larutan	7
4. Gas	8
D. PERUBAHAN MATERI	9
BAB 2 SIFAT GAS.....	13
A. VARIABEL GAS	13
1. Volume.....	13
2. Tekanan.....	13
3. Suhu	14
4. Mol Partikel	17
B. PERSAMAAN KEADAAN GAS IDEAL	19
1. Hukum Boyle	21
2. Hukum Charles	21
3. Hukum Gay Lussac.....	23
4. Hukum Gabungan	24
5. Hukum Avogadro.....	25
6. Persamaan Umum Gas Ideal	25
7. Hukum Tekanan Parsial Dalton	28
C. GAS NYATA	29
1. Interaksi Partikel	30

2. Faktor Kompresibilitas.....	30
D. PERSAMAAN GAS NYATA	33
1. Persamaan Virial.....	33
2. Persamaan Van Der Waals.....	36
3. Persamaan Berhelot	41
4. Persamaan Beattie-Bridgman.....	42
5. Persamaan Redlich-Kwong.....	43
E. HUBUNGAN V-P-T GAS NYATA.....	43
BAB 3 KONSEP DASAR TERMODINAMIKA	52
A. PENGERTIAN TERMODINAMIKA.....	52
B. SISTEM TERMODINAMIKA	53
1. Keseimbangan Sistem.....	55
2. Sifat dan Variabel Termodinamika.....	56
C. MEKANIKA KLASIK.....	57
1. Gaya	57
2. Tekanan.....	58
3. Energi.....	59
4. Energi Mekanik.....	59
D. KERJA VOLUME	61
1. Perjanjian	62
2. Ekspansi Ke Ruang Hampa	63
3. Ekspansi Melawan Tekanan Tetap	63
4. Ekspansi <i>Reversibel</i>	64
5. Satuan Kerja Volume.....	65
E. KALOR	66
BAB 4 HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA	72
A. ENERGI DALAM	72
B. RUMUSAN HUKUM PERTAMA	74
C. FUNGSI KEADAAN.....	76
D. JENIS PROSES DALAM SISTEM TERTUTUP	80
E. ENTALPI.....	83
F. KAPASITAS KALOR	85
G. TRANSISI FASA	90

H. KERJA EKSPANSI ADIABATIS	93
BAB 5 TERMOKIMIA	99
A. PENGERTIAN TERMOKIMIA	99
1. Kalor Pembentukan.....	100
2. <i>Kalor</i> Penguraian	100
3. <i>Kalor Reaksi</i>	101
4. Kalor Pembakaran.....	101
B. PENENTUAN KALOR REAKSI DENGAN PENGUKURAN	101
C. MENENTUKAN KALOR REAKSI DENGAN HUKUM HESS	103
D. MENGHITUNG KALOR REAKSI DARI KALOR PEMBENTUKAN STANDAR	105
1. Kalor Pembakaran.....	108
E. MENENTUKAN KALOR REAKSI DARI DATA ENERGI IKATAN 110	
1. Energi Ikatan.....	110
2. <i>Energi Atomisasi</i>	111
F. ENTALPI PEMBENTUKAN ION DALAM LARUTAN.....	114
G. PENGARUH SUHU PADA ENTALPI REAKSI.....	119
BAB 6 HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA	125
A. MESIN	125
1. Mesin Carnot.....	125
2. Mesin Otto	130
B. RUMUSAN KLASIK HUKUM KEDUA	132
C. ENTROPI DAN PERSAMAAN MODERN HUKUM KEDUA	135
1. Proses Reversibel	141
2. Proses Irreversibel.....	142
D. MENENTUKAN PERUBAHAN ENTROPI SISTEM TERTUTUP ...	143
1. Ekspansi	144
2. Pemanasan Zat	146
3. Transisi Fasa	147
4. Pencampuran Zat	148
BAB 7 HUKUM KETIGA TERMODINAMIKA	154
A. HUKUM KETIGA TERMODINAMIKA	154

B.	KETIDAK-TERCAPAIAN SUHU NOL MUTLAK.....	157
C.	PENENTUAN ENTROPI SECARA KALORIMETRIK	159
	1. Zat Padat	160
	2. Zat Cair	161
	3. Zat Berwujud Gas	162
D.	PERUBAHAN ENTROPI REAKSI KIMIA	163
	1. Reaksi Pada Keadaan Standar.....	163
	2. Pada Keadaan Tidak Standar	164
E.	ENTROPI BERDASARKAN TEORI PELUANG	165
	1. Teori Peluang.....	166
	2. Keadaan Partikel Gas	168
	3. Molekul Senyawa.....	171
BAB 8 KESEIMBANGAN MATERIAL.....		174
A.	PENGERTIAN KESEIMBANGAN.....	174
B.	ENERGI BEBAS	175
	1. <i>Energi Bebas Gibbs</i>	175
	2. Energi Bebas Helmholtz	178
C.	ARAH PROSES IRREVERSIBEL.....	178
D.	PERSAMAAN DASAR SISTEM TERTUTUP	181
E.	KRITERIA KESETIMBANGAN MATERIAL.....	183
DAFTAR PUSTAKA		187
GLOSARIUM.....		188
INDEKS.....		189
TENTANG PENULIS		190
RINGKASAN ISI BUKU.....		191

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Ukuran Relatif Atom H, C, O, N, S Dan Cl	2
Gambar 2. Kontur Kerapatan Elektron Dalam Molekul Antrasen, $C_{14}H_{10}$	3
Gambar 3. Kristal Ion Positif Dan Negatif	3
Gambar 4. Struktur CH_4 (Tetrahedral)	4
Gambar 5. Atom-Atom Dalam Gelas Tidak Tersusun Teratur (Amorf) 6	
Gambar 6. Struktur Dalam Keadaan Cair, Ada Bagian-Bagian Berstruktur Padat	7
Gambar 7. Ion-Ion Disolvasi Dalam Larutan NaCl. Ion Positif Berinteraksi Dengan Oksigen Air Dan Ion Negatif Berinteraksi Dengan Hidrogen Air	8
Gambar 8. Kerapatan Gas Argon Pada Suhu $25^{\circ}C$ (A) Tekanan 10 atm dan (B) 30 atm	9
Gambar 9. Manometer: (a) tertutup dan (b) terbuka (Chang, 2011)	14
Gambar 10.(a). Perubahan tekanan(ΔP) dan suhu (ΔT) gas pada volume tetap, (b). Perubahan	16
Gambar 11. Termometer Beckmann	17
Gambar 12. Ketergantungan tekanan-volume dari sejumlah tetap gas sempurna pada suhu yang berbeda (Atkins, 2018).....	21
Gambar 13. Grafik suhu-volume dalam beberapa tekanan yang konstan (Atkins, 2018).....	22
Gambar 14. Grafik hubungan P - θ pada volume tetap	23
Gambar 15. Hasil kali P beberapa gas dalam beberapa tekanan	27
Gambar 16. Hubungan V - P - T gas ideal dalam tiga dimensi membentuk bidang lengkung ABCD	28
Gambar 17. Daya tarik molekul polar lebih besar dari daya tolaknya ..	30
Gambar 18. Faktor kompresibilitas nitrogen dalam beberapa suhu	31
Gambar 19. Faktor kompresibilitas metana.....	32
Gambar 20. Faktor kompresibilitias beberapa zat pada $0^{\circ} C$	33
Gambar 21. Koefisien virial kedua(B) beberapa zat.	35
Gambar 22. Kurva isotermis gas CO_2 pada beberapa suhu	37
Gambar 23. Kurva isotermis isopentana.....	45
Gambar 24. Proses di sekitar titik kritis	46

Gambar 25. Hubungan V-P-T zat murni	47
Gambar 26. Sebuah sistem dalam lingkungan (wadah) yang berisi air (Levine, 2009).	54
Gambar 27. Sebuah benda yang bergerak vertikal ke atas dan jatuh kembali ke posisi semula.....	60
Gambar 28. Peti dapat terangkat bila diberi gaya lebih besar dari gaya gravitasi pada peti.....	61
Gambar 29. Ekspansi gas ke ruang vakum.....	63
Gambar 30. Ekspansi gas melawan tekanan luar yang konstan	64
Gambar 31. Ekspansi (a) irreversibel, dan (b) reversibel	65
Gambar 32. Percobaan pedal roda Joule	68
Gambar 33. Gerakan molekul CO ₂ : (a) translasi, (b) rotasi, dan (c) vibrasi	73
Gambar 34. Jalan yang ditempuh sistem dari a ke b	78
Gambar 35. Ekspansi ke ruang vakum	81
Gambar 36. Proses isovolum.....	81
Gambar 37. Ekspansi melawan tekanan tetap	82
Gambar 38. Ekspansi gas secara reversibel.....	82
Gambar 39. Kompresi isotermis reversibel	83
Gambar 40. Ekspansi adiabatik	83
Gambar 41. Alat percobaan Joule yang telah dimodifikasi oleh Keyes-Sears	86
Gambar 42. Pengaruh suhu terhadap kapasitas kalor molar C _p beberapa gas	88
Gambar 43. Transisi fasa (a) 3 fasa (b) 4 fasa	90
Gambar 44. Penguapan air pada suhu 100 ⁰ C	91
Gambar 45. Keadaan awal dan akhir reaksi AB + CD → AC + BD ...	99
Gambar 46. Kalortimeter. A = tabung yang berisi perekasi, B = alat pengaduk, C = termometer, dan g = kalor yang keluar dari reaksi	101
Gambar 47. Kalorimeter Bomb (Atkins, 2018).....	102
Gambar 48. Kalorimeter nyala pada tekanan tetap(Atkins, 2018)	103
Gambar 49. Skema mesin kalor Carnot.....	126
Gambar 50. Atas: siklus Carnot dalam ruang, Bawah: siklus Carnot dalam bidang (a) plot T dengan V,.....	127

Gambar 51. Proses perubahan kalor (q_1) jadi kerja (w) dalam mesin kalor (M).....	129
Gambar 52. Mesin gasolin Otto (a) Pemasukan gasolin, (b) Kompresi, (c) Ekspansi, dan (d) Pengeluaran.	130
Gambar 53. Siklus Otto	131
Gambar 54. Mesin kalor yang memindahkan kalor dari suhu rendah (T_2) ke suhu tinggi (T_1)	133
Gambar 55. Diagram PV untuk proses isotermal (—) dan adiabatik (-----). Gas ideal dengan $\gamma = 1,67$	137
Gambar 56. Perpindahan garis pada proses isotermik dan adiabatik..	137
Gambar 57. Siklus reversibel bebas dan hubungannya dengan siklus Carnot	138
Gambar 58. Pencampuran reversibel isotermis gas a dan b dalam suhu dan tekanan tetap. Sistem dalam penangas (tidak dilihat) agar suhu tetap	148
Gambar 59. Pencampuran irreversibel gas a dan b pada suhu dan tekanan tetap.	149
Gambar 60. Teknik mencapai suhu rendah dengan demagnetisasi secara adiabatik. Di atas kurva menunjukkan hubungan suhu dengan entropi tanpa medan magnet. Di bawah kurva bila ada medan magnet. Dari A ke B adalah proses isotermis dan dari B ke C adalah proses adiabatik ..	159
Gambar 61. Grafik penentuan entropi N_2	162
Gambar 62. Susunan yang teratur 50 bola putih dan 50 bola hitam...	168
Gambar 63. (a) Transisi zat dan (b) kesetimbangan zat dalam fasa α ke fasa β	175
Gambar 64.(a) Reaksi $3H_2(g) + N_2(g) \rightarrow 2NH_3(g)$ (b) Kesetimbangan $3H_2(g) + N_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$	175
Gambar 65. Titik kesetimbangan U, H, S, A dan G	181

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Titik Lebur Dan Titik Didih Unsur Golongan Halogen	6
Tabel 2. Pengaruh perubahan volume udara terhadap suhu pada tekanan tetap	22
Tabel 3. Volume molar beberapa gas pada STP.....	26
Tabel 4. Suhu Boyle beberapa zat	32
Tabel 5. Koefisien virial metana berlaku sampai tekanan 400 atm.....	34
Tabel 6. Titik kritis beberapa zat	38
Tabel 7. Konstanta van der Waals beberapa gas (a dalam atm liter ² mol ⁻² ; b dalam liter.....	40
Tabel 8. Konstanta Beattie-Bridgman beberapa gas	42
Tabel 9. Konstanta empiris untuk c_p (kal/mol)	88
Tabel 10. Nilai C_p beberapa zat	89
Tabel 11. Beberapa Nilai Konstanta.....	92
Tabel 12. Kalor Pembentukan Standar Zat Pada 25°C dan 1 atm	106
Tabel 13. Kalor Pembakaran Beberapa Senyawa Organik.....	109
Tabel 14. Entalpi Ikatan dalam kJ/mol.....	111
Tabel 15. Entalpi atomisasi (ΔH_{at}) beberapa unsur (kJ/mol).....	112
Tabel 16. Entalpi molar standar ion dalam encer tak hingga	118
Tabel 17. Entropi Nitrogen dari data Kapasitas Kalor	162
Tabel 18. Entropi beberapa zat pada keadaan standar (25 °C, 1 atm)	163
Tabel 19. Kriteria Proses Irreversibel dan Proses Reversibel	180

BAB 1

PENDAHULUAN

Dalam bab ini dibahas pengertian kimia fisika dan penggolongannya. Selain itu dikemukakan perbedaan sistem mikroskopik dan makroskopik serta keadaan partikel materi dalam wujud padat, cair dan gas. Juga dibahas tentang jenis-jenis perubahan yang mungkin dialami materi secara mikroskopik dan makroskopik. Kemudian dijelaskan tentang gaya, tekanan dan energi beserta satuan-satuannya.

A. Kimia Fisika

Kimia fisika adalah studi tentang penerapan prinsip-prinsip fisika ke dalam sistem kimia. Sistem kimia dapat dilihat dari aspek mikroskopik dan makroskopik. Kimia secara mikroskopik membahas sifat-sifat partikel terkecil materi, yaitu atom dan molekul. Sedangkan kimia secara makroskopik membahas sifat-sifat partikel materi dalam jumlah besar, tetapi tidak memperhatikan partikel terkecilnya secara khusus.

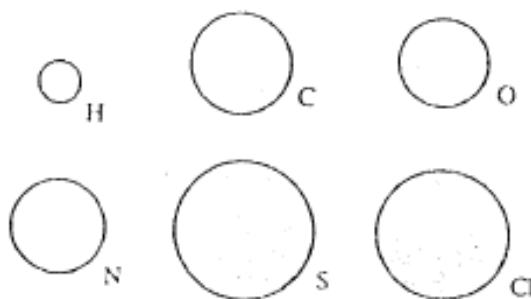
Berdasarkan aspek mikroskopik dan makroskopik, kimia fisika dibagi atas empat bidang, yaitu termodinamika, kimia kuantum, mekanika statistik dan kinetika. *Termodinamika* adalah bidang ilmu yang membahas materi dari segi makroskopik, yaitu mengenai hubungan antara berbagai sifat kesetimbangan yang terjadi dalam sistem. Dari aspek mikroskopik telah diketahui bahwa atom terbentuk dari inti dan awan elektron, sedangkan molekul merupakan gabungan beberapa atom yang sama atau berbeda. Gerakan-gerakan partikel seperti elektron, inti atom dan molekul tidak dapat dibahas dengan *mekanika klasik* (mekanika Newton), tetapi harus dengan mekanika kuantum. Penerapan mekanika kuantum terhadap struktur atom dan molekul serta ikatan-ikatan dalam molekul dan spektroskopi disebut *kimia kuantum*.

Adanya sifat-sifat materi secara makroskopik adalah akibat yang terjadi pada mikroskopiknya. Oleh sebab itu ada hubungan yang erat antara partikel materi (sifat mikroskopik) dengan sifat makroskopiknya. Hubungan itu merupakan cabang kimia fisika yang disebut *mekanika statistik*, yang akan memberikan penjelasan tentang hukum-hukum termodinamika dan cara menghitung sifat makroskopik sistem dari dari aspek mikroskopiknya.

Sistem yang tidak setimbang akan mengalami perubahan, seperti difusi, peralihan wujud, reaksi kimia, dan aliran muatan. Perubahan itu ada yang relative cepat atau lambat. Perubahan yang terjadi dalam sistem makroskopik tentu dimulai dari yang mikroskopik. Laju perubahan-perubahan di atas tidak dapat dijelaskan dengan termodinamika, kimia kuantum dan mekanika statistik. Bidang yang membahas laju perubahan-perubahan itu disebut *kinetika*.

B. Dunia Mikroskopik

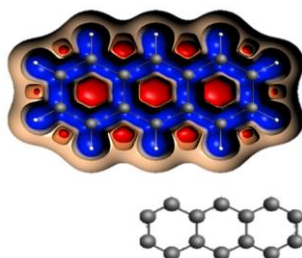
Kita telah mengetahui bahwa dalam materi terdiri dari partikel terkecilnya berupa atom, ion atau molekul yang tidak dapat dilihat walaupun dengan mikroskop, tetapi hal itu telah diketahui dengan cara-cara tertentu, yaitu dari gejala-gejala yang timbul bila materi itu diberi perlakuan. Sebagai contoh tentang perbedaan atom suatu unsur dengan atom unsur lain. Setiap atom mempunyai inti dan disekitarnya terdapat elektron yang selalu bergerak mengelilinginya. Volume inti amat kecil dibandingkan dengan volume atom, tetapi massa atom hampir semuanya terdapat pada inti karena elektron sangat ringan. Walaupun elektron-elektron atom hanya sedikit menyumbang pada massa atom tetapi ruang yang ditempatinya hampir sama dengan volume atom. Atom sangat ringan dan massanya merupakan perkalian 10^{-24} g, contohnya massa atom hidrogen = $1,6 \times 10^{-24}$ g, natrium = $36,8 \times 10^{-24}$ g dan uranium = $380,8 \times 10^{-24}$ g. Atom sangat kecil dan jari-jarinya biasa dinyatakan dalam Amstrong ($1\text{\AA} = 10^{-10}$ m), contohnya H = $0,32 \text{\AA}$, C = $0,77 \text{\AA}$, O = $0,73 \text{\AA}$, N = $0,75 \text{\AA}$, S = $1,02 \text{\AA}$ dan Cl = $0,99 \text{\AA}$ (Gambar 1).



Gambar 1. Ukuran Relatif Atom H, C, O, N, S Dan Cl

Selain itu juga telah dapat ditentukan struktur senyawa-senyawa yang rumit dengan cara dan peralatan tertentu, contohnya struktur antrasen dari

kontur kerapatan elektronnya (Gambar 2) serta struktur seperti protein dan asam nukleat.



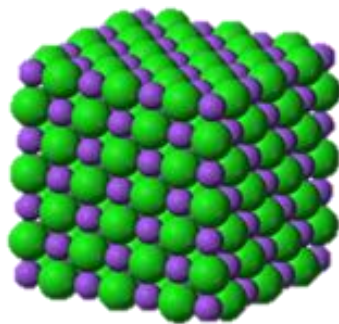
Gambar 2. Kontur Kerapatan Elektron Dalam Molekul Antrasen, $C_{14}H_{10}$.

<https://www.scm.com/doc/Tutorials/Analysis/VisualizationOfDensitiesEtc.html>

1. Asosiasi Atom dan Molekul

Antara dua atom atau lebih dapat bergabung membentuk senyawa melalui ikatan ion atau kovalen. *Ikatan ion* terjadi antara kedua atom bermuatan listrik berlawanan, contohnya Na^+ dengan Cl^- . Ion Na^+ dan Cl^- terjadi setelah Na menyerahkan sebuah elektron kepada Cl.

Gaya tarik keduanya disebut gaya Coulomb yang besarnya bergantung pada muatan dan jarak keduanya. Ion-ion akan membentuk agregat (kumpulan) dalam jumlah besar yang teratur yang disebut kristal, (Gambar 3).

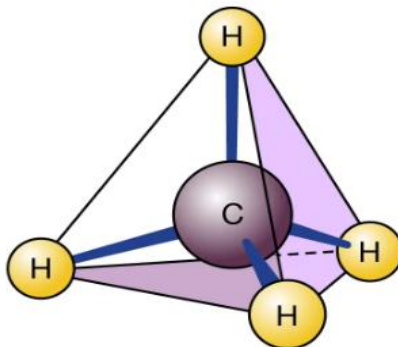


Gambar 3. Kristal Ion Positif Dan Negatif

Ikatan antara dua atom yang terjadi melalui pemakaian bersama pasangan elektron disebut *ikatan kovalen*, contohnya dalam molekul H_2 dan Cl_2 , HF dan H_2O .



Bila keelektronegatifan kedua atom sama akan menghasilkan molekul non polar, seperti H_2 dan Cl_2 , tetapi bila berbeda akan terjadi kepolaran ikatan, contohnya ikatan H dengan F dalam dalam HF. Kepolaran itu terjadi karena pasangan elektron yang dipakai bersama akan lebih tertarik ke unsur elektronegatif, yaitu F, sehingga F bermuatan negatif sedangkan H bermuatan positif. Akibat kepolaran ikatan H-F menimbulkan molekul HF, yaitu mempunyai satu ujung bermuatan positif (H) dan ujung yang lain bermuatan negative (F). Kepolaran molekul poliatom tidak hanya ditentukan oleh kepolaran ikatan-ikatan di dalamnya tetapi juga bergantung pada struktur molekulnya. Contohnya molekul air adalah polar karena kedua ikatan O-H adalah polar dan strukturnya membentuk sudut $104,5^\circ$ sehingga resultan kepolaran kedua ikatan tidak saling meniadakan. Molekul metana tidak polar walaupun mengandung empat ikatan C-H karena kepolaran keempat ikatan C-H saling meniadakan, disebabkan strukturnya tetrahedron (Gambar 4).



Gambar 4. Struktur CH_4 (Tetrahedral)

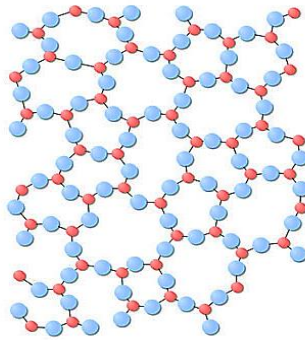
Biasanya senyawa yang terbentuk dengan ikatan kovalen merupakan suatu unit yang terpisah dari yang lain, seperti H_2 dan H_2O , sedangkan senyawa ion membentuk unit yang sambung-menyambung menjadi Kristal. Di samping itu molekul kovalen dapat pula sambung-menyambung membentuk molekul besar seperti molekul DNA dengan panjang beberapa meter.

C. Keadaan Materi

Secara sepintas diketahui ada tiga macam keadaan materi, yaitu padat, cair dan gas. Tetapi jika dipelajari secara cermat ternyata zat padat kadang-kadang mempunyai bentuk yang berbeda, contohnya karbon ada yang berupa grafit dan intan. Grafit dan intan dikatakan mempunyai fasa berbeda walaupun wujudnya sama-sama padat. Oleh sebab itu yang dimaksud dengan *fasa adalah suatu sistem yang mempunyai komposisi dan sifat yang sama di semua bagian sistem itu*. Contohnya larutan gula dalam suatu bejana. Bila diambil sedikit larutan dibagian atas, maka komposisi (perbandingan air dan gula) dan sifatnya akan sama dengan bagian bawah atau pinggir bejana. Berdasarkan definisi ini maka fasa tidak sama dengan wujud. Suatu zat murni bisa mempunyai lebih dari tiga, misalnya karbon mempunyai empat fasa, yaitu gas, cair, padat (grafir) dan padat (intan). Dengan demikian campuran dapat membentuk satu, dua atau tiga fasa, dengan catatan campuran satu fasa disebut larutan, sedangkan dua fasa disebut koloid atau suspensi kasar. Oleh sebab itu dalam ilmu.

1. Zat Padat

Partikel-partikel zat padat yang murni ada yang tersusun teratur dan ada yang tidak. Yang tersusun teratur disebut *kristal*, contohnya NaCl (Gambar 1.3), dan yang tidak teratur disebut *amorf* (tidak berbentuk) seperti gelas (Gambar 5). Berdasarkan partikel terkecilnya, kristal dapat dibagi atas: kristal atom, kristal molekul unsur, kristal molekul kovalen raksasa, kristal logam, kristal molekul kovalen (polar dan non polar), dan kristal ion (lihat kembali Gambar 1.3). Dalam kristal atom (seperti helium padat), atom-atom terikat oleh gaya van der Waals yang relatif lemah, sehingga titik lebur dan titik didihnya rendah. Dalam kristal unsur, seperti H₂ dan Cl₂, molekul-molekul terikat dengan gaya van der Waals yang juga lemah sehingga titik lebur dan titik didihnya juga rendah. Pada kristal unsur molekul raksasa, atom-atom bergabung dengan ikatan kovalen yang cukup kuat sehingga sangat keras seperti intan (titik lebur = 3727 °C dan titik didih = 4830 °C).



Gambar 5. Atom-Atom Dalam Gelas Tidak Tersusun Teratur (Amorf)

Atom-atom logam dalam kristal dapat digambarkan sebagai kumpulan ion positif (misalnya Fe^{2+}) dalam lautan elektron. Lapisan-lapisan ion positif dapat bergeser bila ditekan sehingga logam dapat ditempa dan dibentuk. Logam dapat menghantar listrik dan panas karena elektron-elektronnya dapat bergerak bebas.

Molekul-molekul kovalen yang kecil dapat membentuk kristal karena ada gaya van der Waals antar molekul dan molekul tersebut sebagai partikel terkecilnya. Gaya van der Waals itu bergantung pada massa molekul relatif (M_r)-nya. Makin besar M_r , makin besar gaya van der Waals, sehingga titik lebur dan titik didihnya bergantung pada M_r -nya (Tabel 1). Ion positif dan negatif senyawa ion akan terikat oleh gaya Coulomb yang cukup kuat, sehingga umumnya senyawa ion berwujud padat, contoh NaCl (titik lebur 800°C dan titik didih 1470°C).

Tabel 1. Titik Lebur Dan Titik Didih Unsur Golongan Halogen

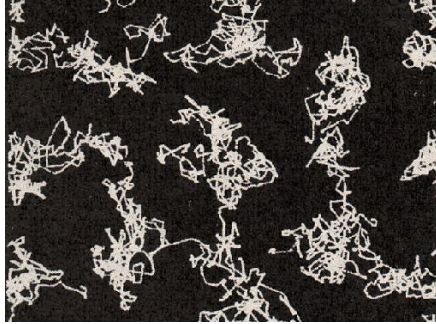
Unsur	Titik lebur ($^\circ\text{C}$)	Titik didih ($^\circ\text{C}$)
Fluor (F_2)	-233	-188
Klor (Cl_2)	-103	-34,6
Brom (Br_2)	-7,2	58,8
Iodium (I_2)	-113,5	188,4

2. Zat Cair

Bila suatu zat padat dipanaskan maka partikel-partikelnya akan bergetar dengan amplitudo lebih besar. Akibatnya ada yang lepas dari kedudukan semula, dan pada saat itu zat mulai melebur. Pada titik lebur semua partikel bergerak bebas sehingga kisi kristal rusak dan

tidak punya struktur yang jelas secara keseluruhan. Jika dipanaskan terus, semua zat akan mencair.

Struktur padatan suatu zat tidak seluruhnya hilang bila berubah jadi cair, contohnya air seperti dalam Gambar 6.



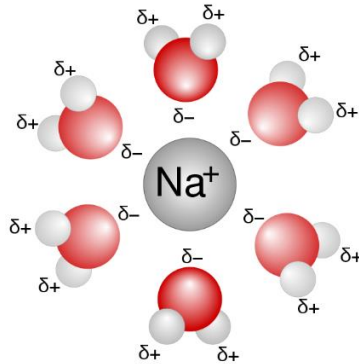
Gambar 6. Struktur Dalam Keadaan Cair, Ada Bagian-Bagian Berstruktur Padat

Air yang berwujud cair mengandung daerah yang tidak berstruktur. Daerah berstruktur padat tersebar merata dan berubah secara kontinu antara yang berstruktur dan yang tidak berstruktur. Dengan kata lain, pada suatu saat molekul air dalam daerah berstruktur padat dan pada saat lain berada dalam daerah tidak berstruktur. Hal ini membuat cairan punya kemampuan untuk mengalir.

Kemampuan zat cair untuk mengalir dapat diukur dari kekentalannya. Semakin kecil kekentalan semakin mudah mengalir. Air lebih kental dari benzen, karena antara molekul air terdapat gaya van der Waals yang lebih besar. Kekentalan berkurang dengan kenaikan suhu, karena energi panas memperbesar energi partikel untuk bergerak bebas sehingga sebahagian daerah yang berstruktur pecah jadi tidak berstruktur.

3. Larutan

Kristal ion sering dapat larut dalam pelarut polar karena molekul pelarut berasosiasi (berikatan) dengan ion-ion. Keadaan ini disebut *solvasi*, dan bila pelarutnya air disebut *hidrasi*, seperti NaCl dalam air (Gambar 7). Jadi dalam larutan ini terdapat ion positif dan negatif yang disebut larutan elektrolit. Larutan ini akan menghantar listrik karena ion positif dan negatif itu dapat digerakkan oleh medan listrik.



Gambar 7. Ion-Ion Disolvasi Dalam Larutan NaCl. Ion Positif Berinteraksi Dengan Oksigen Air Dan Ion Negatif Berinteraksi Dengan Hidrogen Air

Larutan senyawa non polar dalam pelarut non polar atau pelarut polar yang lemah akan membentuk larutan non elektrolit, contohnya metil benzen dalam benzen. Proses pelarutan akan cepat bila struktur zat terlarut mirip dengan pelarut, karena energi molekul zat terlarut dalam zat murni hampir sama dengan energi molekul tersebut dalam pelarut.

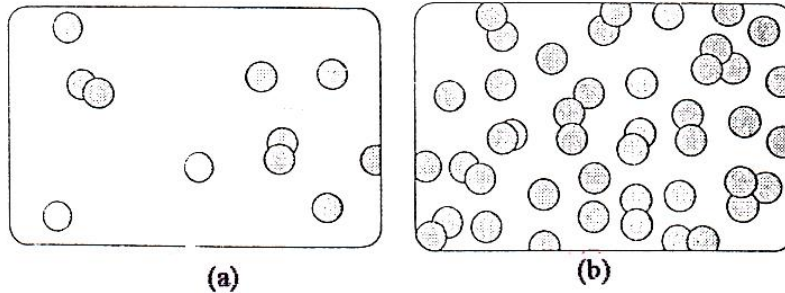
Perbandingan jumlah zat terlarut dengan larutan atau pelarut disebut konsentrasi. Satuan konsentrasi yang sering dipakai adalah molar, molal dan fraksi mol. Kemolaran (M) adalah jumlah mol zat terlarut dalam tiap liter larutan (mol L^{-1} atau mol dm^{-3}). Kemolalan (m) adalah jumlah mol zat terlarut dalam 1000 g pelarut ($m = 1$ mol zat dalam 1000 g pelarut). Fraksi mol (x) adalah perbandingan mol suatu zat dengan mol total dalam larutan (zat dan pelarut).

4. Gas

Zat yang berwujud gas mempunyai partikel-partikel yang bergerak bebas dan lurus dengan kecepatan tinggi. Arah gerakan itu akan membelok bila bertabrakan dengan partikel lain atau dengan dinding bejana. Oleh sebab itu, partikel-partikel gas tidak teratur (gas berasal dari kata 'chaos', tidak teratur).

Jarak rata-rata antar partikel gas jauh lebih kecil dari jarak rata-rata antara dua kali tabrakannya. Ini berarti bahwa interaksi antar partikel gas relatif kecil dibandingkan energi kinetiknya. Interaksi itu dapat bertambah bila kerapatan partikel gas diperbesar sehingga

semakin sering terjadi tabrakan sesamanya. Hal ini dapat dilakukan, misalnya dengan memperbesar tekanan pada suhu tetap (Gambar 8).



Gambar 8. Kerapatan Gas Argon Pada Suhu 25⁰C (A) Tekanan 10 atm dan (B) 30 atm

Partikel-partikel gas yang bergerak bebas tanpa ada interaksi (tarik-menarik atau tolak-menolak) sesamanya disebut gas ideal. Hasil percobaan menunjukkan bahwa gas bertekanan rendah umumnya bersifat ideal dan gas ini akan mengikuti persamaan gas ideal,

$$PV = nRT$$

dengan P = tekanan (atm), V = volume (L), n = jumlah mol partikel, R = tetapan gas ideal (0,082 L atm K⁻¹ mol⁻¹) dan T = suhu mutlak (K)

Gas ideal dapat dimodelkan dalam *teori kinetika gas ideal*, yang bertolak dari asumsi bahwa partikel gas bergerak bebas tanpa dipengaruhi oleh partikel lain dan ukuran partikel gas diabaikan terhadap volume bejana. Berdasarkan teori gas ideal dapat dihitung kecepatan rata-rata kuadrat partikel pada suhu tertentu. Contohnya kecepatan rata-rata kuadrat gas helium = 13,60 ms⁻¹ dan karbon dioksida = 410 ms⁻¹ pada suhu kamar (25 °C). Kemudian juga dapat dihitung rata-rata jumlah tumbukan (Z) partikel gas tiap detik bila mol dan diameter partikel diketahui. Sebagai contoh, 1 mol gas oksigen pada suhu 25 °C dan tekanan 1 atm bertumbukan sekitar 6 x 10⁹ kali tiap detik. Dari ini akhirnya dapat dihitung laju reaksi-reaksi gas.

D. Perubahan Materi

Merupakan hukum alam bahwa suatu materi dapat berubah menjadi materi lain. Perubahan itu mungkin secara fisika, misalnya berubah wujud, ataupun perubahan kimia yang disebut reaksi kimia. Hasil perubahan materi menjadi materi lain mempunyai banyak kemungkinan. Misalnya, air dapat berubah jadi uap (gas) atau menjadi es (padat).

Melalui reaksi kimia, air terurai menjadi oksigen dan hidrogen, atau dengan logam natrium menjadi natrium oksida dan hidrogen.

Yang menjadi masalah pokok dalam ilmu kimia adalah menentukan perubahan yang dapat dialami oleh satu zat kimia atau lebih, baik secara spontan maupun dengan memberikan perlakuan tertentu. Juga diepranyakan jika zat berubah, maka apakah hasil akhir perubahaan itu. Suatu zat kimia dapat berubah jadi zat tertentu tetapi tidak dapat jadi zat lain dari itu. Contohnya, es jika dipanaskan akan mencair dan kemudian menguap, tetapi jika kapur barus (naftalen) dipanaskan langsung jadi uap, tanpa mencair lebih dulu. Demikian juga N_2 dan H_2 dapat membentuk NH_3 (amonia), tetapi tidak dapat menjadi N_2H_4 (hidrazin), walaupun NH_3 dan N_2H_4 mengandung unsur-unsur yang sama.

Hasil-hasil perubahan yang mungkin terjadi dapat diketahui setelah memahami materi secara mikroskkopik, contohnya mengetahui senyawa kimia yang dapat terbentuk dari unsur-unsurnya. Kembali pada contoh di atas, bahwa antara unsur nitrogen dan hidrogen dapat membentuk NH_3 dan N_2H_4 , tetapi tidak dapat membentuk senyawa yang lain. Antara karbon dengan oksigen dapat membentuk CO dan CO_2 dan tidak dapat membentuk yang lain. Hal ini diketahui setelah memahami struktur atom dan ikatan kimia.

Seperti contoh di atas, bahwa tidak selalu satu zat atau lebih dapat berubah jadi zat lain, walaupun secara makroskopis memenuhi syarat. Perubahan yang terjadi bergantung pada aspek energinya. Hal ini merupakan kawasan *termodinamika* yang membahas kemungkinan perubahan energi yang menyertai reaksi kimia. Termodinamika mencakup tiga hukum. Hukum pertama menyatakan bahwa energi tidak dapat dicipta atau dimusnahkan, tetapi dapat berubah bentuk. Hukum kedua mengkaji tentang kecenderungan aliran energi dan kecenderungan arah proses spontan. Hukum ketiga menyangkut proses kimia pada suhu yang sangat rendah. Hubungan antara hukum termodinamika dengan teori kuantum merupakan kawasan *termodinamika statistik*.

Perubahan materi tidak berlangsung sekaligus, tetapi merupakan proses yang memerlukan waktu tertentu. Contohnya reaksi kimia dapat terjadi bila partikel-partikel pereaksi bertabrakan satu sama lain sehingga ada ikatan yang putus dan ada yang terbentuk. Untuk memutuskan ikatan itu diperlukan energi tabrakan yang cukup, yaitu sebesar aktivasi (E_a). Oleh sebab itu, tidak semua tabrakan pereaksi yang terjadi menimbulkan

reaksi, tetapi hanya sebagian. Hal ini merupakan bidang *kinetika kimia* yang membahas tentang laju dan mekanisme reaksi.

Pertanyaan dan Latihan

Kimia Fisika

1. Terangkan perbedaan antara
 - a. Mekanika klasik dan mekanika kuantum
 - b. Sistem mikroskopik dan makroskopik
2. Terangkan perbedaan Bahasa (obyek) dari
 - a. Termodinamika
 - b. Mekanika Statistik
 - c. Kinetika

Dunia Mikroskopik

1. Terangkan perbedaan kedua hal dibawah ini dengan contoh.
 - a. Asosiasi atom dan asosiasi molekul
 - b. Molekul polar dan molekul non polar
 - c. Ikatan ion dan ikatan kovalen
 - d. Ikatan kovalen dan gaya van der Waals
2. Jelaskan dua faktor yang menentukan kepolaran suatu molekul dengan contoh
3. Terangkan perbedaan antara lima macam kristal berdasarkan partikel terkecilnya.

Keadaan Materi

1. a. Terangkan perbedaan wujud dengan fasa, beri contoh
 - b. Wujud hanya ada tiga, sedangkan fasa lebih dari tiga, kenapa demikian.
2. a. Jelaskan perbedaan struktur zat murni berfasa padat dengan berfasa cair.
 - b. Jelaskan kenapa zat padat tidak dapat mengalir, sedangkan cairan dan gas dapat.
3. Terangkan cara mengukur volume suatu zat padat, cairan (larutan) dan gas
4. Terangkan kenapa volume zat padat dan cairan relatif konstan, sedangkan volume gas dapat berubah sesuai dengan volume wadahnya. Berikan alasan.
5. a. Apa yang dimaksud dengan gas ideal
 - b. Kenapa gas bertekanan rendah mendekati sifat ideal

6. Volume partikel gas ideal diabaikan terhadap volume bejana. Terangkan arti kalimat ini dan kenapa demikian.
7. Kecepatan rata-rata kuadrat gas $\text{CO}_2 = 410 \text{ ms}^{-1}$. Apakah arti pernyataan ini
8. Satu mol gas O_2 pada suhu 25°C bertekanan 1 atm bertumbukan 6×10^9 kali tiap detik. Apakah arti pernyataan ini. Jelaskan.

Perubahan Materi

1. Apakah perbedaan perubahan fisika dan perubahan kimia? Jelaskan dengan contoh.
2. Apa yang dimaksud dengan peristiwa spontan dan tak spontan. Jelaskan dengan contoh.
3. Kemukakan apa yang dimaksud dengan hukum termodinamika. Apa bedanya dengan hukum-hukum gas.
4. Apakah yang anda ketahui tentang mekanika statistik.

Gaya, Tekanan dan Energi

1. a. Apa yang dimaksud dengan gaya
 - b. Kenapa gaya adalah massa kali percepatan
 - c. Apa perbedaan massa dengan berat suatu benda
2. a. Apa yang dimaksud dengan tekanan
 - b. Sebutkan satuan tekanan yang anda ketahui.
3. Kenapa tekanan gas dalam bejana sama ke segala arah. Sedangkan tekanan zat cair didasar bejana lebih besar dari di dinding.
4. Jelaskan kenapa $1 \text{ atm} = 101,325 \text{ KPa}$
5. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 60 km/jam selama 30 menit. Berapakah gaya mesin yang diperlukan, jika mobil bermassa 500 kg.
6. Tekanan udara di puncak gunung 720 mmHg. Berapa Pascal tekanan tersebut.