



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T

BUKU AJAR TIPE B

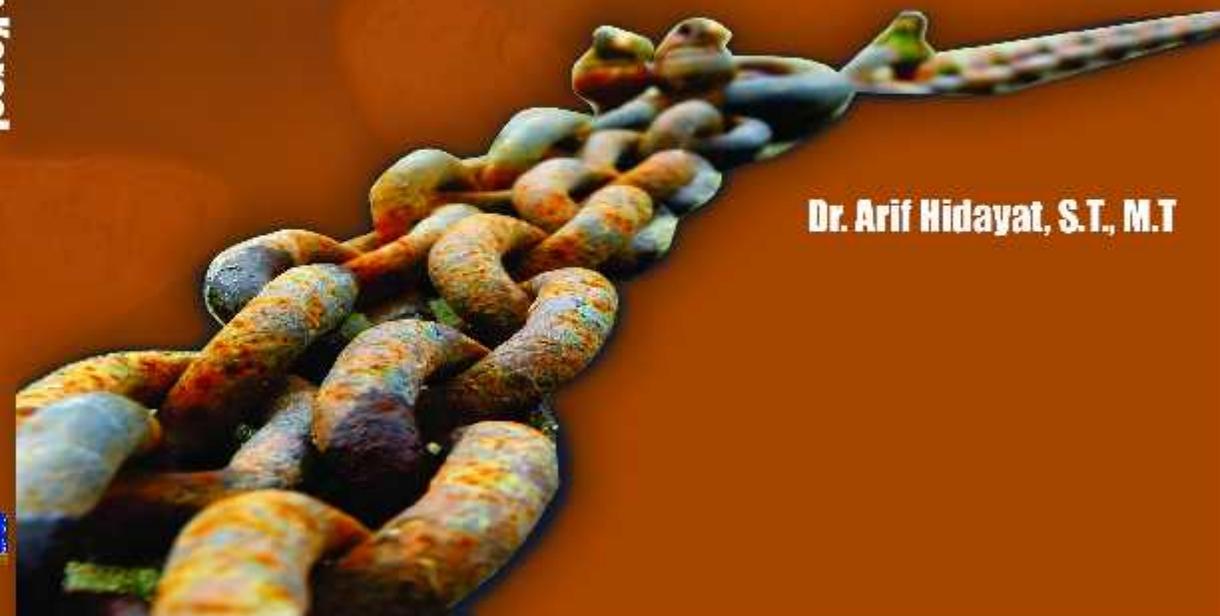
PENGETAHUAN BAHAN DAN KOROSI

Pengertian Bahan dan Korosi

Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



PENGETAHUAN BAHAN DAN KOROSI

Buku Ajar Tipe B

Penulis:

Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T.

Penerbit:



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

2017

KATALOG DALAM TERBITAN (KDT)

Hidayat, Arif

Pengetahuan Bahan dan Korosi / Arif Hidayat. --Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia, 2017.

x + 102 hlm. ; 16 x 23 cm

ISBN 978-602-450-139-6

e-ISBN 978-602-450-140-2

©2017 Arif Hidayat

Hak cipta dilindungi Undang-Undang.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan seluruh atau sebagian isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik ataupun mekanik termasuk memfotokopi, tanpa izin dari Penulis.

PENGETAHUAN BAHAN DAN KOROSI

Penulis:
Dr. Arif Hidayat, S.T., M.T

Cetakan I
Mei 2017 M / Sya'ban 1438 H

Penerbit:



**UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA**

Kampus Terpadu UII

Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584

Tel. (0274) 898 444 Ext. 2301; Fax. (0274) 898 444 psw 2091

<http://library.uii.ac.id>; e-mail: perpustakaan@uui.ac.id

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya kami bisa menyelesaikan buku ajar untuk mata kuliah Pengetahuan Bahan dan Korosi yang merupakan mata kuliah wajib bagi mahasiswa Semester 3.

Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada; Rektor Universitas Islam Indonesia (UII); Kepala badan Perencana UII; Kepala Badan Pengembangan Akademik UII; Dekan FTI UII; Ketua Program Studi Teknik Kimia FTI UII; dan pihak-pihak lain yang membantu kelancaran penyusunan buku ajar ini. Mudah-mudahan bahan ajar ini dapat memberikan sedikit manfaat bagi para mahasiswa pada umumnya yang mengambil mata kuliah Pengetahuan Bahan dan Korosi.

Akhir kata kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menerbitkan buku ini. Kritik dan saran sangat kami harapkan untuk perbaikan buku ini di masa yang akan datang.

Yogyakarta, 28 Mei 2017

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	viii
Daftar Gambar	ix
BAB 1 Struktur dan Ikatan Atom	1
1.1 Atom	1
1.1.1 Teori Atom Dalton	2
1.1.2 Model Atom J.J. Thompson	2
1.1.3 Teori Atom Rutherford	4
1.1.4 Teori Atom Bohr	5
1.1.5 Teori Atom Mekanika Kuantum	6
1.2 Nomor Atom dan Nomor Massa	8
1.3 Ikatan Atom dalam Bahan Padatan	9
1.4 Ikatan Primer	13
1.4.1 Ikatan Ion	13
1.4.2 Ikatan Kovalen	14
1.4.3 Ikatan Logam	16
1.4.4 Ikatan Sekunder	18
BAB 2 Sifat Bahan Padat	21
2.1 Sifat Mekanis Bahan	21
2.1.1 Kekuatan Bahan (strenght of materials)	22
2.1.2 Elastisitas Bahan (elasticity)	22
2.1.3 Kekerasan (hardness)	23
2.1.4 Keuletan Bahan (ductility)	23
2.1.5 Ketangguhan (toughness)	24
2.2 Sifat Fisik Bahan	24
2.2.1 Titik cair	24
2.2.2 Konduktivitas Termal / Panas	24
2.2.3 Panas / Kalor Jenis	25
2.2.4 Berat Jenis dan Massa Jenis	25
BAB 3 Struktur Kristal	27
3.1 Kristal	27
3.2 Sistem Kristal	29
3.2.1 Kubik Sederhana (Simpel Cubic)	31
3.2.2 Kubik Pemusatan Sisi	31

3.2.3	Kubik Pemusatan Ruang	32
3.2.4	Tumpukan Padat Heksagonal, HCP	32
3.3	Cacat Kristal	33
3.3.1	Ketidakh murnian dalam Bahan Padat	33
3.3.2	Larutan Padat dalam Logam	34
3.3.3	Larutan padat substitusi	34
3.3.4	Larutan padat interstisi	36
3.3.5	Larutan padat dalam senyawa	37
3.3.6	Ketidakh sempurnaan dalam Kristal	38
3.3.7	Daerah batas butir dan besar butir.	42
BAB 4	Deformasi dan Rekrystalisasi	45
4.1	Deformasi	45
4.1.1	Deformasi Elastik	46
4.1.2	Deformasi Plastik	46
4.2	Rekrystalisasi	46
4.3	Diagram Fase Fe-C	49
BAB 5	Pengerjaan pada Logam	55
5.1	Quenching	55
5.2	Age Hardening	56
5.3	Stress Relieving	57
5.4	Normalizing	58
5.5	Soft Anneling	59
5.6	Full Hardening	60
5.7	Tempering	60
5.8	Spheroidizing	61
5.9	Martempering	62
BAB 6	Jenis-jenis Bahan	83
6.1	Bahan Logam	65
6.1.1	Baja	65
6.1.2	Baja Ringan (Galvanum)	66
6.1.3	Perunggu	67
6.1.4	Kuningan	67
6.2	Bahan Serat	67
6.3	Bahan Karet	69
6.4	Bahan Tanah Liat dan Keramik	71
6.5	Bahan Gelas	72

6.6	Bahan Kayu	74
6.7	Plastik	75
6.7.1	Polyethylene Terephthalate	75
6.7.2	HDPE (High-Density Polyethylene)	75
6.7.3	PVC (Polyvinyl Chloride)	75
6.7.4	LDPE (Low-Density Polyethylene)	76
6.7.5	PP (Polypropylene)	76
6.7.6	Polystyrene	76
6.7.7	Bahan Plastik Lain (BPA, Polycarbonate, dan LEXAN) atau Kode 7	77
6.8	Biokomposit	77
BAB 7	Korosi	83
	Referensi	91
	Glosari	93
	Indeks	97

Daftar Tabel

Tabel 1.1	Perbedaan ikatan ionik, kovalen, dan kovalen koordinasi	17
Tabel 2.1	Perbedaan ikatan ionik, kovalen, dan kovalen koordinasi	26

Daftar Gambar

Gambar 1.1.	Struktur Atom.	1
Gambar 1.2.	Model Atom Dalton	2
Gambar 1.3.	Model Atom J.J Thompson.	3
Gambar 1.4.	Model Atom Rutherford.	5
Gambar 1.5.	Model Atom Bohr.	6
Gambar 1.6.	Model Atom Mekanika Kuantum.	7
Gambar 1.7.	Penulisan Lambang Unsur.	8
Gambar 1.8.	Penulisan Lambang Unsur Kalsium (Ca).	9
Gambar 1.9.	a) Gaya repulsive, attractive dan Net sebagai fungsi dari jarak atom., b) Energi repulsive, attractive dan net sebagai fungsi jarak atom.	11
Gambar 1.10.	Skema Ikatan Atom Sodium Chloride (NaCl)	13
Gambar 1.11.	Skema Ikatan Kovalen pada Molekul Metana (CH ₄)	15
Gambar 1.12.	Skema Ikatan Logam.	17
Gambar 1.13.	Ikatan Hidrogen	19
Gambar 1.14.	Skema Ikatan Van der Waals.	20
Gambar 3.1.	Bentuk Kristal dan Amorf	28
Gambar 3.2.	Sel Satuan.	29
Gambar 3.3.	Sistem Kristal Dasar.	30
Gambar 3.4.	Kristal Kubik Sederhana.	31
Gambar 3.5.	Kristal Kubik Sederhana.	32
Gambar 3.6.	Kristal Kubik Kristal Body Centere Cubic (BCC).	32
Gambar 3.7.	Struktur Kristal Hexagonal Close Paced (HCP)	33
Gambar 3.8.	Larutan padat subsitusi acak	35
Gambar 3.9.	Larutan padat subsitusi tertata	36
Gambar 3.10.	Larutan padat interstisi	37
Gambar 3.11.	Larutan padat subsitusi dalam senyawa	38
Gambar 3.12.	Struktur Cacat	38
Gambar 3.13.	Cacat titik	39
Gambar 3.14.	Dislokasi	41
Gambar 3.15.	Pembentukan Dislokasi akibat geseran	41
Gambar 3.16.	Menghitung daerah batas butir	43
Gambar 4.1.	Kurva tegangan regangan suatu material	45
Gambar 4.2.	Perubahan butir setelah dianil	47
Gambar 4.3.	Perubahan struktur mikro dan sifat mekanik logam	48

Gambar 4.4.	Diagram fasa Fe-C	51
Gambar 4.5.	Pengaruh Suhu Terhadap Perubahan Struktur Sel Satuan	54
Gambar 4.6.	Aturan Kaidah Lengan	54
Gambar 5.1.	Diagram Fase Magnesium-Aluminium	57
Gambar 5.2.	Hubungan Suhu dan Waktu pada Proses Pengerjaan Logam	58
Gambar 5.3.	Hubungan suhu dengan Fase Karbon pada Pengerjaan Logam	63
Gambar 6.1.	Komposit yang bisa terurai secara biologis	80
Gambar 6.2.	Penggunaan komposit serat alam untuk kendaraan Mercedes	81
Gambar 7.1.	Proses Korosi	84

BAB 1

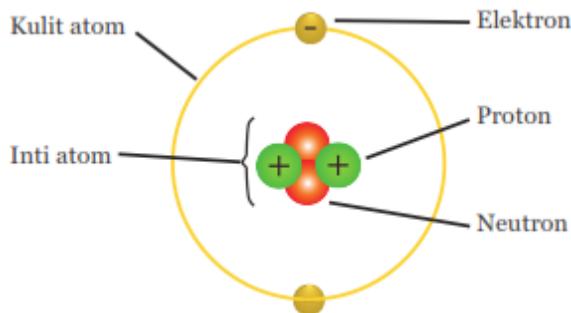
Struktur dan Ikatan Atom

Capaian Pembelajaran

Mahasiswa mengetahui tentang konsep tentang atom, teori atom dan jenis-jenis ikatan kimia

1.1 Atom

Atom adalah satuan unit terkecil dari sebuah unsur yang memiliki sifat-sifat dasar tertentu. Atom tersusun atas partikel-partikel penyusun atom atau partikel subatom yaitu neutron (n), proton (p), dan elektron (e). Neutron dan proton membentuk inti atom. Elektron menempati kulit-kulit atom yang ada di sekitar inti. Elektron-elektron tersebut mengelilingi inti dengan kecepatan tinggi membentuk awan elektron. Elektron dan proton merupakan partikel subatom yang mempunyai muatan berlawanan, sedangkan neutron tidak bermuatan. Elektron memiliki muatan negatif sedangkan proton memiliki muatan positif.



Gambar 1.1. Struktur Atom.

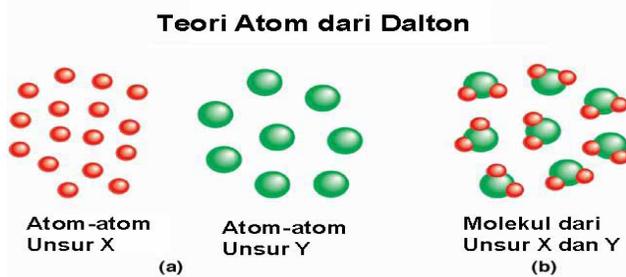
Pada atom netral, jumlah proton dan jumlah elektron sama banyaknya. Masing-masing partikel penyusun subatom tersebut mempunyai massa. Elektron mempunyai massa sangat kecil dibandingkan dengan massa

proton dan neutron. Oleh sebab itu massa atom akan terpusat pada inti atom saja.

Para ilmuwan telah mempelajari atom sejak ratusan tahun lalu. Para ilmuwan tersebut mengemukakan teori-teori tentang atom. Berikut ini merupakan perkembangan teori atom.

1.1.1 Teori Atom Dalton

Pada tahun 1808, John Dalton mengungkapkan tentang teori. Menurut Dalton atom berbentuk pejal dan merupakan bagian terkecil dari suatu zat. Atom berbentuk bola sederhana yang sangat kecil, tidak dapat dibelah, diciptakan ataupun dimusnahkan. Dalton juga menjelaskan bahwa unsur yang sama mengandung atom-atom yang sama. Atom sejenis memiliki sifat yang sama dalam segala hal, sedangkan atom yang berbeda memiliki sifat yang berbeda. Reaksi kimia terjadi karena adanya penggabungan dan pemisahan atom-atom. Bila atom-atom bergabung akan membentuk molekul. Bila atom-atom yang bergabung sama akan terbentuk molekul unsur, sedangkan bila atom-atom yang bergabung berbeda akan terbentuk molekul senyawa. Teori atom Dalton mampu menerangkan mengenai Hukum Kekekalan Massa (Hukum Lavoisier) dan Perbandingan Tetap (Hukum Proust).



Gambar 1.2. Model Atom Dalton

1.1.2 Model Atom J.J. Thompson

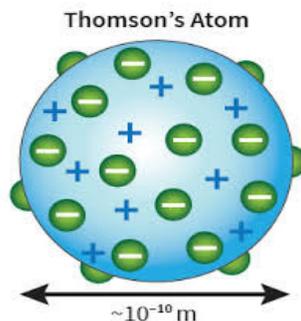
Untuk menjelaskan model atom, J.J Thompson melakukan percobaan dengan menggunakan tabung katoda. Dalam percobaannya Thompson

menggunakan tabung katoda, apabila tabung katoda di beri tegangan tinggi maka akan terbentuk aliran yang berkelauan. Thompson menemukan bahwa aliran berkelauan tersebut dibelokkan ke arah plat kutub positif. Thompson menyatakan bahwa sinar katoda tersebut tak lain adalah aliran partikel bermuatan negatif yang disebut sebagai elektron. Apabila dilakukan penggantian katoda dengan menggunakan berbagai macam logam maka tetap menghasilkan jenis sinar yang sama.

Berdasarkan hal ini maka Thompson menyatakan bahwa setiap atom pasti memiliki elektron, disebabkan atom bersifat netral maka dalam atom juga harus mengandung sejumlah muatan positif.

Thompson juga mengukur massa partikel yang telah diidentifikasi dengan cara menentukan berapa banyak sinar katoda yang membelok ketika ia memberi variasi tegangan. Thompson menemukan bahwa massa partikel adalah 2000 kali lebih kecil dari massa atom terkecil, yakni atom hidrogen. Berdasarkan hal tersebut Thompson telah menemukan keberadaan partikel yang lebih kecil dari atom. Hal ini membantah klaim Dalton bahwa atom adalah partikel terkecil dari materi. Dari penemuan tersebut, Thompson juga menyimpulkan bahwa elektron adalah partikel dasar dalam atom.

Thompson menyatakan bahwa atom terdiri dari awan bermuatan positif yang terdistribusi sedemikian rupa dengan muatan negatif tersebar secara random di dalamnya. Model atom ini kemudian disebut sebagai "*plum pudding model*" atau lebih dikenal sebagai model roti kismis.



Gambar 1.3. Model Atom JJ Thompson.

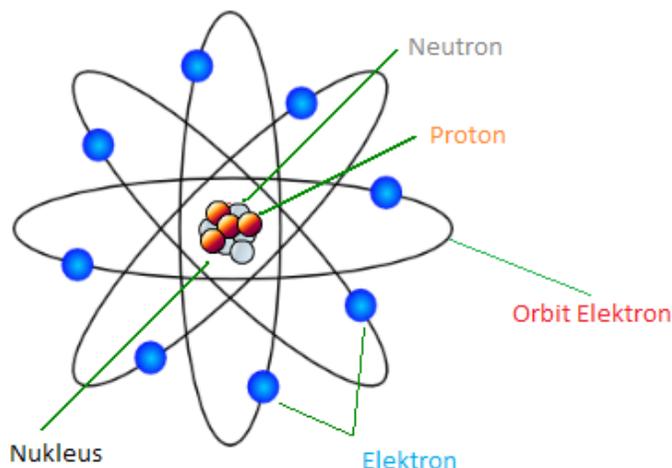
Model atom Thompson dapat membuktikan adanya partikel lain yang bermuatan negatif dalam atom. Hal ini membuktikan bahwa atom bukan merupakan bagian terkecil dari suatu unsur. Namun atom ini tidak dapat menjelaskan susunan muatan positif dan negatif dalam bola atom tersebut.

1.1.3 Teori Atom Rutherford

Rutherford bersama Hans Geiger dan Ernest Marsden melakukan percobaan yang dikenal dengan hamburan sinar alfa (λ) terhadap lempeng tipis emas. Partikel alfa adalah partikel yang bermuatan positif dan bergerak lurus, berdaya tembus besar sehingga dapat menembus lembaran tipis kertas. Pada awalnya percobaan tersebut sebenarnya bertujuan untuk menguji pendapat Thompson, yakni apakah atom itu betul-betul merupakan bola pejal yang positif yang bila dikenai partikel alfa akan dipantulkan atau dibelokkan. Dari hasil percobaan didapatkan fakta bahwa apabila partikel alfa ditembakkan pada lempeng emas yang sangat tipis, maka sebagian besar partikel alfa diteruskan meskipun ada penyimpangan sudut kurang dari 1° . Namun percobaan juga diperoleh fakta bahwa satu diantara 20.000 partikel alfa akan membelok sudut 90° bahkan lebih.

Berdasarkan gejala-gejala yang terjadi dapat disimpulkan bahwa atom bukan merupakan bola pejal, karena hampir semua partikel alfa diteruskan. Jika lempeng emas tersebut dianggap sebagai satu lapisan atom-atom emas, maka didalam atom emas terdapat partikel yang sangat kecil yang bermuatan positif. Partikel tersebut merupakan partikel yang menyusun suatu inti atom, berdasarkan fakta bahwa 1 dari 20.000 partikel alfa akan dibelokkan. Bila perbandingan 1:20.000 merupakan perbandingan diameter, maka didapatkan ukuran inti atom kira-kira 10.000 lebih kecil daripada ukuran atom keseluruhan.



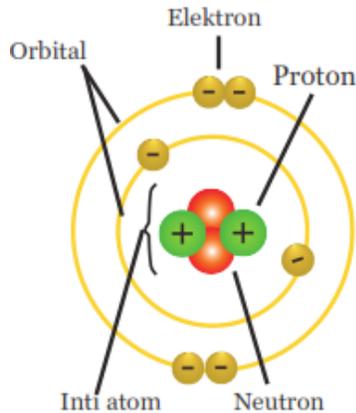


Gambar 1.4. Model Atom Rutherford.

Berdasarkan fakta-fakta yang didapatkan dari percobaan tersebut, Rutherford mengusulkan model atom yang menyatakan bahwa atom terdiri dari inti atom yang sangat kecil dan bermuatan positif, dikelilingi oleh elektron yang bermuatan negatif. Rutherford menduga bahwa di dalam inti atom terdapat partikel netral yang berfungsi mengikat partikel-partikel positif agar tidak saling tolak menolak. Model atom Rutherford mampu membuat hipotesa bahwa atom tersusun dari inti atom dan elektron yang mengelilingi inti. Namun model ini tidak dapat menjelaskan mengapa elektron tidak jatuh ke dalam inti atom.

1.1.4 Teori Atom Bohr

Model atom Bohr berbentuk seperti tata surya, dengan elektron yang berada di lintasan (orbit) mengelilingi inti bermuatan positif yang ukurannya sangat kecil. Gaya gravitasi pada tata surya dapat diilustrasikan sebagai Gaya Coulomb antara nukleus (inti) yang bermuatan positif dengan elektron bermuatan negatif. Bohr menyatakan bahwa atom terdiri dari inti yang menjadi pusat massa atom dan pusat muatan positif. Sedangkan elektron bergerak disekeliling inti pada lintasan tertentu (orbit) yang disebut kulit-kulit atom. Selama elektron mengelilingi inti, elektron tidak memancarkan energi.



Gambar 1.5. Model Atom Bohr.

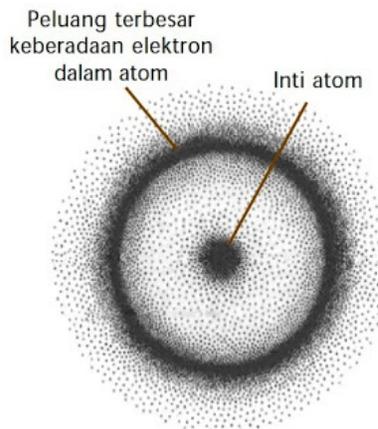
Menurut Bohr, atom mempunyai kulit-kulit atom tempat elektron mengelilingi inti atom. Kulit atom yang paling dekat dengan inti atom mempunyai energi paling rendah. Kulit atom yang lebih di luar mempunyai energi lebih tinggi. Elektron yang berada pada kulit atom paling dalam dapat berpindah ke kulit atom yang lebih luar bila menyerap energi dari luar atom. Energi itu dapat berasal dari panas pembakaran atau dari energi listrik yang melewati atom-atom itu. Elektron yang terletak pada kulit atom paling luar akan mendapatkan gaya tarik yang lemah dari inti atom. Oleh karena itu elektron pada kulit atom paling luar mudah lepas dari kulit itu, sehingga atom dapat kehilangan elektron. Bila jumlah elektron dan jumlah proton dalam suatu atom tidak sama maka atom tersebut akan bermuatan atau menjadi ion. Proses pembentukan ion disebut ionisasi.

1.1.5 Teori Atom Mekanika Kuantum

Model atom Bohr ini merupakan model atom yang mudah dipahami, namun Bohr hanya dapat menjelaskan untuk atom berelektron sedikit dan tidak dapat menjelaskan bagaimana adanya sub lintasan-lintasan yang terbentuk diantara lintasan-lintasan elektron. Karena itu dalam perkembangan selanjutnya, teori atom dikaji dengan menggambarkan pendekatan teori atom mekanika kuantum.

Perkembangan muktahir di bidang mekanika kuantum dimulai dari teori Max Planck yang mengemukakan kuantum-kuanta energi dilanjutkan oleh Louis de Broglie tentang dualisme partikel, kemudian oleh Werner Heisenberg tentang prinsip ketidakpastian dan yang terakhir saat ini adalah Erwin Schrodinger tentang persamaan gelombang. Mekanika kuantum ini dapat menerangkan kelemahan teori atom Bohr tentang garis-garis terpisah yang sedikit berbeda panjang gelombangnya dan memperbaiki model atom Bohr dalam hal bentuk lintasan elektron dari yang berupa lingkaran dengan jari-jari tertentu menjadi orbital dengan bentuk ruang tiga dimensi yang tertentu.

Menurut teori atom mekanika kuantum, posisi elektron dalam mengelilingi inti atom tidak dapat diketahui secara pasti sesuai prinsip ketidakpastian Heisenberg. Oleh karena itu, kebolehjadian (peluang) terbesar ditemukannya elektron berada pada orbit atom tersebut. Dengan kata lain, orbital adalah daerah kebolehjadian terbesar ditemukannya elektron dalam atom. Menurut model atom mekanika kuantum, gerakan elektron dalam mengelilingi inti atom memiliki sifat dualisme sebagaimana diajukan oleh de Broglie. Oleh karena gerakan elektron dalam mengelilingi inti memiliki sifat seperti gelombang maka persamaan gerak elektron dalam mengelilingi inti harus terkait dengan fungsi gelombang. Dengan kata lain, energi gerak (kinetik) elektron harus diungkapkan dalam bentuk persamaan fungsi gelombang.



Gambar 1.6. Model Atom Mekanika Kuantum.

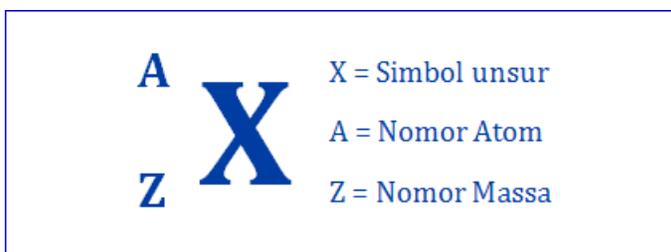
Model atom mekanika kuantum mempunyai persamaan dengan model atom Bohr dalam hal adanya tingkat-tingkat energi kulit, dimana setiap kulit terdiri dari satu atau beberapa subkulit, sedangkan subkulit terdiri dari satu atau beberapa orbital. Atom tersusun atas partikel sub atom yaitu neutron (n), proton (p), dan elektron (e). Neutron dan proton menjadi satu membentuk inti yang padat disebut nukleus atau inti atom. Elektron bergerak disekeliling inti hampir dalam kecepatan cahaya membentuk awan elektron.

1.2 Nomor Atom dan Nomor Massa

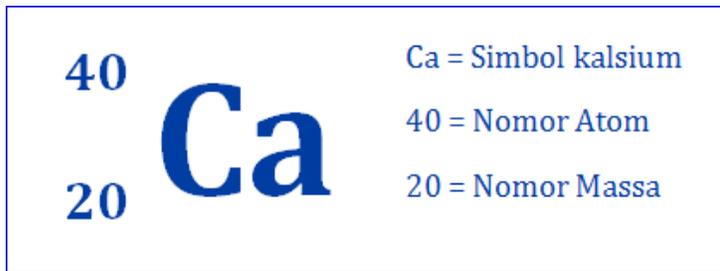
Atom-atom dari unsur yang berbeda memiliki jumlah partikel subatom yang berbeda. Semua atom dalam suatu unsur tertentu memiliki jumlah proton yang sama di dalam intinya. Jumlah proton ini unik untuk setiap unsur. Nomor massa suatu atom ditentukan oleh jumlah dari neutron, proton, dan elektron. Namun, karena massa elektron sangat kecil, maka dapat diabaikan. Atom yang satu berbeda dengan atom yang lain karena mempunyai elektron, proton, dan neutron yang berbeda jumlahnya. Jika massa atomnya berbeda maka jari-jari bola atom itu akan berbeda pula.

Hubungan nomor atom, nomor massa, dan jumlah neutron dalam suatu atom yang netral (tidak bermuatan) dapat:

Pada penulisan lambang unsur, nomor atom ditulis subscript (turun) di kiri lambang unsur, sedangkan nomor massa ditulis superscript (naik) di kiri atas lambang unsur, sebagaimana berikut:



Gambar 1.7. Penulisan Lambang Unsur.



Gambar 1.8. Penulisan Lambang Unsur Kalsium (Ca).

1.3 Ikatan Atom dalam Bahan Padatan

Setiap atom terdiri dari inti yang sangat kecil yang terdiri dari proton dan neutron, dan di kelilingi oleh elektron yang bergerak. Elektron dan proton mempunyai muatan listrik yang besarnya $1,60 \times 10^{-19}$ C. Tanda negatif menunjukkan untuk elektron dan tanda positif untuk proton. Sedangkan neutron tidak bermuatan listrik. Massa partikel-partikel subatom ini sangat kecil, proton dan neutron mempunyai massa kira-kira sama yaitu $1,67 \times 10^{-27}$ kg dan lebih besar dari elektron yang massanya $9,11 \times 10^{-31}$ kg.

Setiap unsur kimia dibedakan oleh jumlah proton di dalam inti, atau nomor atom (Z). Untuk atom yang bermuatan listrik netral atau atom yang lengkap, nomor atom adalah sama dengan jumlah elektron. Nomor atom merupakan bilangan bulat dan mempunyai jangkauan dari 1 untuk hidrogen hingga 94 untuk plutonium yang merupakan nomor atom yang paling tinggi untuk unsur yang terbentuk secara alami.

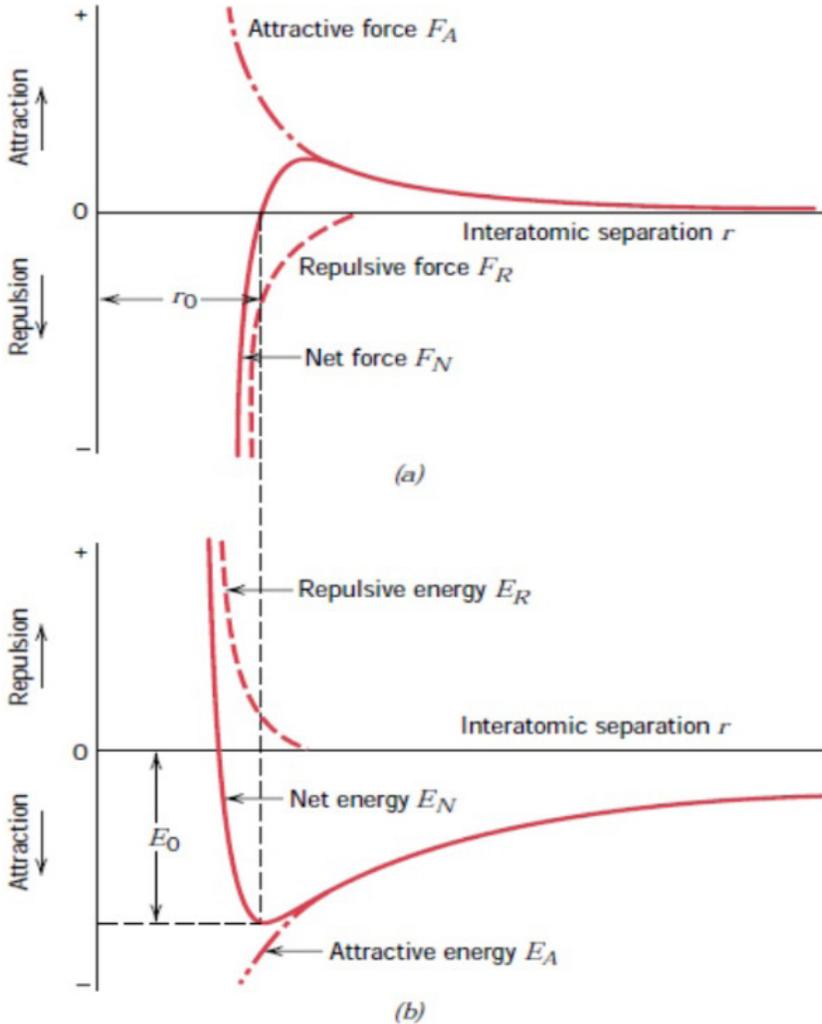
Massa atom (A) dari sebuah atom tertentu bisa dinyatakan sebagai jumlah massa proton dan neutron di dalam inti. Walaupun jumlah proton sama untuk semua atom pada sebuah unsur tertentu, namun jumlah neutron (N) bisa bervariasi. Karena itu atom dari sebuah unsur bisa mempunyai dua atau lebih massa atom yang disebut isotop. Berat atom berkaitan dengan berat rata-rata massa atom dari isotop yang terjadi secara alami. Satuan massa atom (sma) bisa digunakan untuk perhitungan berat atom. Suatu skala sudah ditentukan dimana 1 sma didefinisikan sebagai 1/12 massa atom dari isotop karbon yang paling

umum, karbon 12 (^{12}C) ($A = 12,00000$). Dengan teori tersebut, massa proton dan neutron sedikit lebih besar dari satu, dan

$$A \cong Z + N$$

Berat atom dari unsur atau berat molekul dari senyawa bisa dijelaskan berdasarkan sma per atom (molekul) atau massa per mol material. Satu mol zat terdiri dari $6,023 \times 10^{23}$ atom atau molekul (bilangan Avogadro). Kedua teori berat atom ini dikaitkan dengan persamaan berikut: 1 sma/atom (molekul) = 1 g/mol. Sebagai contoh, berat atom besi adalah 55,85 sma/atom, atau 55,85 g/mol. Kadang-kadang penggunaan sma per atom atau molekul lebih disukai; pada kesempatan lain g/mol (atau kg/mol) juga digunakan.

Ketika atom didekatkan dari suatu jarak yang tak terbatas. Pada jarak jauh, interaksi bisa diabaikan, tetapi ketika atom saling mendekati, masing-masing memberikan gaya ke yang lainnya. Gaya ini ada dua macam, tarik atau tolak, dan besarnya merupakan fungsi jarak antar atom. Sumber gaya tarik tergantung pada jenis ikatan yang ada antara dua atom. Besarnya berubah dengan jarak, seperti yang digambarkan secara skematis pada Gambar 1.1.



Gambar 1.9. a) Gaya repulsive, attractive dan Net sebagai fungsi dari jarak atom., b) Energi repulsive, attractive dan net sebagai fungsi jarak atom.

Kulit elektron terluar dari kedua atom mulai tumpang tindih, dan gaya tolak yang kuat mulai timbul. Gaya netto antar dua atom adalah jumlah kedua komponen tarik dan tolak, yaitu :

$$F_N = F_A + F_R$$

F_N merupakan fungsi jarak antar atom. Jika F_A dan F_R sama besar, tidak ada gaya netto, sehingga:

$$F_A + F_R = 0$$

Kemudian kondisi kesetimbangan muncul. Pusat kedua atom tetap terpisah pada jarak keseimbangan r_0 . Pada sebagian besar atom, r_0 kira-kira 0,3 nm (3\AA). Ketika sudah berada pada posisi ini, kedua atom akan melawan semua usaha untuk memisahkannya dengan gaya tarik, atau untuk mendorongnya dengan gaya tolak.

Secara matematik, energi (E) dan gaya (F) dihubungkan dengan:

$$E = \int F dr$$

atau untuk sistem atom,

$$E_N = \int_{\infty}^r F_N dr$$

$$E_N = \int_{\infty}^r E_A dr + \int_{\infty}^r E_R dr +$$

dimana dan masing-masing adalah energi netto, energi tarik dan energi tolak bagi dua atom yang terisolasi dan berdekatan.

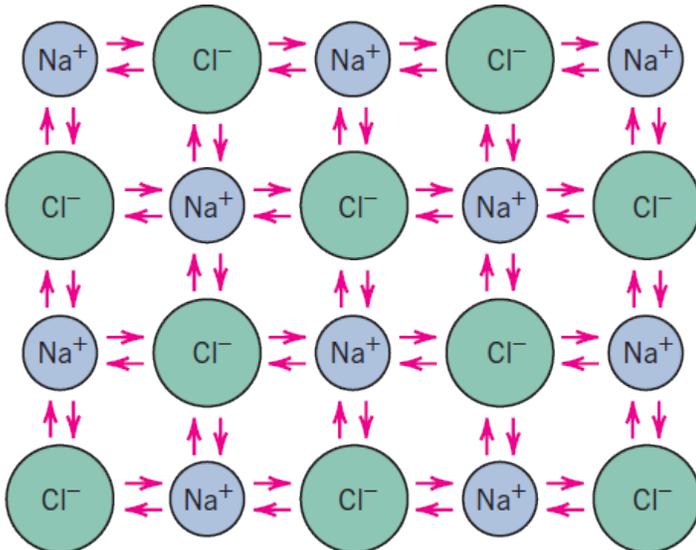
Gambar 1.9.b menggambarkan energi potensial tarik, tolak dan energi potensial netto sebagai fungsi jarak antar atom untuk dua atom. Untuk kurva netto, yaitu jumlah kedua energi, mempunyai energi potensial dititik minimum. Pada posisi ini spasi kesetimbangan yang sama, r_0 , bersesuaian dengan jarak atom pada kurva energi potensial minimum. Energi ikat untuk kedua atom ini, E_N , bersesuaian dengan energi pada titik minimum ini (juga diperlihatkan pada gambar 2.1b), dimana menyatakan energi yang diperlukan untuk memisahkan kedua atom ini kejarak yang tak terbatas. Besar energi ikat ini dan bentuk energi vs kurva jarak antar atom berbeda dari satu material ke material lainnya, kedua variabel ini bergantung kepada jenis ikatan atom. Zat padat dibentuk dengan energi ikat yang besar, sedangkan energi ikat yang kecil lebih disukai oleh gas, kondisi cair berlaku bagi energi yang

besarnya menengah. Pada umumnya untuk material padat, suhu leleh dan sifat ikatannya mencerminkan besarnya energi ikat.

1.4 Ikatan Primer

1.4.1 Ikatan Ion

Biasanya ditemukan pada senyawa yang dibangun oleh unsur logam dan bukan logam. Atom logam akan memberikan elektron valensinya ke atom-atom non logam. Pada proses ini semua atom akan menjadi stabil atau mempunyai konfigurasi gas mulia dan bermuatan listrik, yaitu atom-atom ini menjadi ion. Natrium klorida (NaCl) adalah material ion klasik. Atom natrium bisa mendapatkan struktur elektron neon (dan muatan positif tunggal) dengan menyerahkan satu elektron valensi 3s ke atom klorin. Setelah penyerahan elektron ini, ion klorin akan bermuatan negatif dan dengan konfigurasi elektron menyerupai argon, Pada natrium klorida, semua natrium dan klorin berada dalam bentuk ion. Jenis ikatan ini digambarkan secara skematik pada Gambar 1.10.



Gambar 1.10. Skema Ikatan Atom Sodium Chloride (NaCl)

Gaya ikat tarik menarik adalah coulombik; yaitu ion positif dan negatif

tarik menarik satu sama lain karena adanya muatan listrik netto. Untuk dua ion yang terisolasi, energi tarik, adalah fungsi jarak atom sesuai dengan :

$$E_A = -\frac{A}{r}$$

dan dengan analogi yang sama, energi tolak adalah :

$$E_R = \frac{B}{r^n}$$

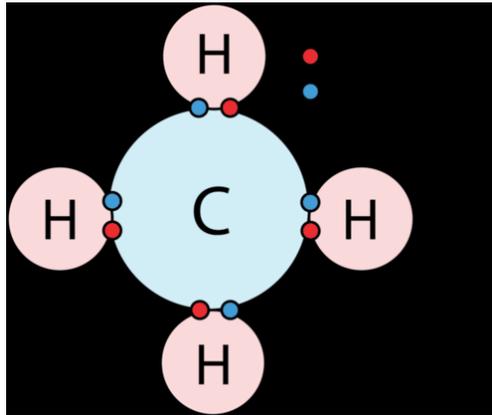
Pada perumusan diatas, A, B dan n adalah konstanta yang harganya tergantung pada masing-masing sistem ion. Harga n kira-kira 8. Material ion mempunyai karakteristik keras dan rapuh, secara listrik dan termal adalah isolator.

1.4.2 Ikatan Kovalen

Pada ikatan kovalen, konfigurasi elektron stabil diperoleh dengan membagi elektron antara atom yang berdekatan. Dua atom yang berikatan kovalen masing-masing akan menyumbangkan minimal satu elektron keikatan, dan elektron yang dipakai bersama bisa di anggap dipunyai bersama oleh kedua atom. Ikatan kovalen digambarkan secara skematik pada Gambar 1.11 untuk molekul metana (CH₄). Atom karbon mempunyai empat elektron valensi, sedangkan setiap atom hidrogen mempunyai sebuah elektron valensi. Setiap atom hidrogen bisa mendapatkan konfigurasi elektron helium (dua elektron valensi 1s) ketika atom karbon membaginya dengan satu elektron. Karbon sekarang mempunyai empat tambahan elektron, satu dari setiap hidrogen sehingga total elektron valensi menjadi delapan, dan struktur elektronnya adalah neon.

Jumlah ikatan kovalen yang mungkin untuk suatu atom ditentukan oleh jumlah elektron valensi. Untuk elektron valensi N', sebuah atom bisa berikatan kovalen paling banyak 8-N' dengan atom lainnya. Contohnya: N' = 7 pada klorin, dan 8-N' = 1, artinya satu atom Cl bisa berikatan hanya

dengan satu atom lainnya seperti Cl₂. Dengan cara yang sama untuk atom karbon $N' = 4$, dan setiap atom karbon mempunyai $8 - 4$ yaitu empat elektron untuk dibagi. Intan adalah struktur yang berinteraksi secara tiga dimensi dimana setiap atom karbon berikatan kovalen dengan atom karbon lainnya.



Gambar 1.11. Skema Ikatan Kovalen pada Molekul Metana (CH₄)

Ikatan kovalen bisa sangat kuat seperti pada intan, dimana intan sangat sangat keras dan mempunyai temperatur leleh yang sangat tinggi yaitu $>3550^{\circ}\text{C}$ (6400°F), atau ikatan kovalen bisa sangat lemah seperti pada bismut, dimana akan meleleh pada 270°C (518°F). Material polimer bercirikan ikatan ini, dimana struktur molekul dasar yang dipunyai rantai karbon yang panjang diikat bersama-sama secara kovalen dengan dua dari empat ikatan yang tersedia untuk setiap atomnya. Dapat terjadi ikatan antar atom mempunyai ikatan yang sebagian berikatan ion dan sebagian lain berikatan kovalen, dan kenyatannya sangat sedikit senyawa yang menunjukkan murni mempunyai ikatan ion atau ikatan kovalen saja.

Ikatan kovalen terdiri atas:

- Kovalen polar

Senyawa kovalen dikatakan polar jika senyawa tersebut memiliki perbedaan keelektronegatifan. Dengan demikian, pada senyawa yang berikatan kovalen terjadi pengutuban muatan.

Ikatan kovalen polar adalah ikatan kovalen yang Pasangan Elektron Ikatannya (PEI) cenderung tertarik ke salah satu atom yang berikatan. Senyawa kovalen polar biasanya terjadi antara atom-atom unsur yang beda keelektronegatifannya besar, mempunyai bentuk molekul asimetris, mempunyai momen dipol.

- Kovalen non polar

Senyawa kovalen dikatakan non polar jika senyawa tersebut tidak memiliki perbedaan keelektronegatifan. Dengan demikian, pada senyawa yang berikatan kovalen tidak terjadi pengutuban muatan. Ikatan kovalen nonpolar adalah ikatan kovalen yang Pasangan Elektron Ikatannya (PEI) tertarik sama kuat ke arah atom-atom yang berikatan. Senyawa kovalen nonpolar terbentuk antara atom-atom unsur yang mempunyai beda keelektronegatifan nol atau mempunyai momen dipol = 0 (nol) atau mempunyai bentuk molekul simetri.

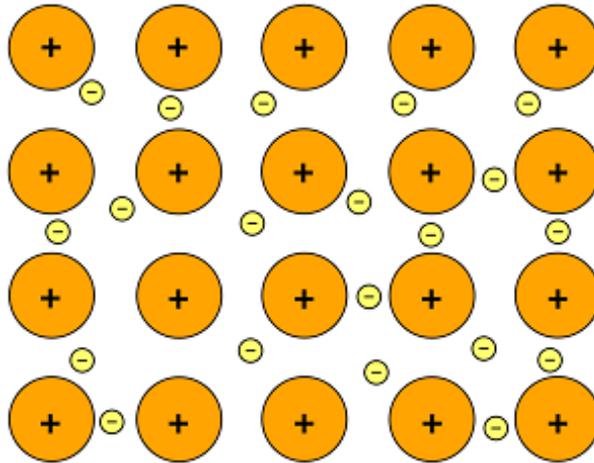
- Kovalen koordinasi

Ikatan kovalen koordinasi adalah ikatan kovalen yang terbentuk dari pemakaian bersama elektron yang hanya disumbangkan oleh satu atom, sedangkan atom yang lainnya tidak menyumbangkan elektron. Ikatan ini dapat terjadi jika atom penyumbang memiliki Pasangan Elektron Bebas (PEB). Contoh ikatan kovalen koordinasi adalah ammonia (NH_3) yang bereaksi dengan boron triklorida (BCl_3) membentuk senyawa NH_3BCl_3 . Atom N dalam NH_3 sudah memenuhi kaidah oktet dan mempunyai sepasang elektron bebas. Di lain pihak, atom B dalam BCl_3 sudah memasang semua elektron valensinya, namun belum memenuhi kaidah oktet. Dalam hal ini, atom N (dari NH_3) dan atom B (dari BCl_3) dapat berikatan dengan menggunakan bersama pasangan elektron bebas dari atom N.

1.4.3 Ikatan Logam

Ikatan logam, jenis ikatan primer terakhir, ditemukan pada logam dan paduannya. Material logam mempunyai satu, dua atau paling banyak tiga elektron valensi. Dengan model ini, elektron valensi tidak terikat

kepada atom tertentu pada bahan padat namun lebih kurang ia akan bebas hanyut/bergerak melewati keseluruhan logam. Elektron ini bisa dianggap dimiliki oleh logam secara keseluruhan, atau membentuk "lautan elektron" atau "awan elektron. Gambar 1.12 memperlihatkan ilustrasi skematik ikatan logam.



Gambar 1.12. Skema Ikatan Logam.

Tabel 1.1. Perbedaan ikatan ionik, kovalen, dan kovalen koordinasi

Perbedaan	Ion	Kovalen	Kovalen Koordinasi
Proses Pembentukan	Serah terima elektron antar atom	Penggunaan bersama pasangan elektron dimana tiap atom menyumbang elektron	Penggunaan bersama pasangan elektron yang hanya berasal dari salah satu atom
Atom yang terlibat	Logam + Nonlogam	Nonlogam + Nonlogam	Nonlogam + Nonlogam
Titik leleh dan titik didih	Tinggi	Rendah (kecuali pada padatan kovalen seperti intan)	Rendah

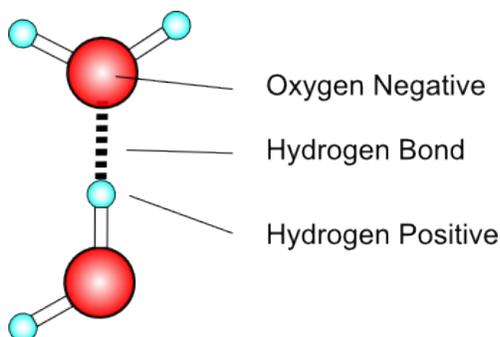
Kelarutan	Larut dalam air namun sukar larut dalam pelarut organik seperti aseton, alkohol, eter dan Benzena.	Sukar larut dalam air namun larut dalam pelarut organik.	Sukar larut dalam air namun larut dalam pelarut organik.
Daya Hantar Listrik	Lelehan dan larutannya menghantarkan listrik	Tidak dapat menghantarkan listrik (namun ada beberapa larutannya yang menghantarkan listrik)	Tidak dapat menghantarkan listrik (namun ada beberapa larutannya yang menghantarkan listrik)
Contoh	NaCl, LiF, CaO, CaBr ₂ , AlCl ₃	HF, H ₂ O, PCl ₃ , BCl ₃ , CO ₂	NH ₄ ⁺ , SO ₄ ⁻² , POCl ₃ , H ₃ NBF ₃ , SO ₃

1.4.4 Ikatan Sekunder

Ikatan Hidrogen

Suatu gaya antarmolekul yang relatif kuat terdapat dalam senyawa hidrogen yang mempunyai keelektronegatifan besar, yaitu fluorin (F), oksigen (O), dan nitrogen (N). Misalnya dalam HF, H₂O, dan NH₃. Hal ini tercermin dari titik didih yang menyolok tinggi dari senyawa-senyawa tersebut dibandingkan dengan senyawa lain yang sejenis. Kekuatan ikatan hidrogen ini dipengaruhi oleh perbedaan elektronegativitas antara atom-atom dalam molekul tersebut. Semakin besar perbedaannya, semakin besar ikatan hidrogen yang terbentuk.

Ikatan hidrogen memengaruhi titik didih suatu senyawa. Semakin besar ikatan hidrogennya, semakin tinggi titik didihnya. Namun, khusus pada air (H₂O), terjadi dua ikatan hidrogen pada tiap molekulnya. Akibatnya jumlah total ikatan hidrogennya lebih besar daripada asam florida (HF) yang seharusnya memiliki ikatan hidrogen terbesar (karena paling tinggi perbedaan elektronegativitasnya) sehingga titik didih air lebih tinggi daripada asam florida.



Gambar 1.13. Ikatan Hidrogen

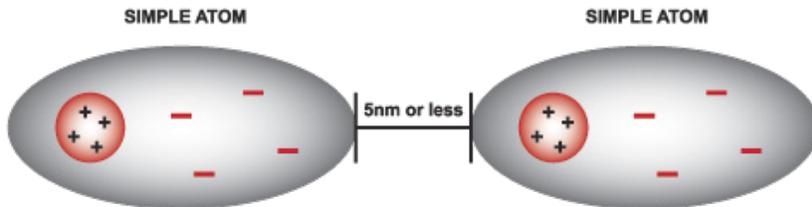
Ikatan hidrogen yang terjadi antar molekul air, dimana muatan parsial positif berasal dari atom H yang berasal dari salah satu molekul air. Ikatan hidrogen dapat terjadi inter molekul dan intra molekul. Jika ikatan terjadi antara atom-atom dalam molekul yang sama maka disebut ikatan hidrogen intramolekul atau didalam molekul, seperti molekul H_2O dengan molekul H_2O . Ikatan hidrogen, juga terbentuk pada pada antar molekul seperti molekul NH_3 , CH_3CH_2OH dengan molekul H_2O , ikatan yang semacam ini disebut dengan ikatan hidrogen intermolekul.

Ikatan Van Der Waals

Ikatan sekunder, van der Waals atau fisik adalah lemah jika dibandingkan dengan ikatan primer atau kimia; energi ikat biasanya dalam kisaran 10 kJ/mol (0,1 eV/atom). Ikatan sekunder timbul antara semua atom atau molekul, tapi keberadaannya tidak jelas jika salah satu dari ketiga jenis ikatan primer ada. Ikatan sekunder dibuktikan oleh gas mulia, yang mempunyai struktur elektron yang stabil, dan juga diantara molekul yang strukturnya berikatan kovalen.

Gaya ikatan sekunder timbul dari dipol atom atau molekul. Pada dasarnya sebuah dipol listrik timbul jika ada jarak pisah antara bagian positif dan negatif dari sebuah atom atau molekul. Ikatan di hasilkan dari gaya tarik-menarik coulombik antara ujung positif sebuah dipol dan bagian negatif dari dipol yang berdekatan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.13. Interaksi dipol terjadi antara dipol-dipol terimbas,

antara dipol terimbas dengan molekul polar (yang mempunyai dipol permanen), dan antara molekul-molekul polar. Ikatan hidrogen, jenis khusus dari ikatan sekunder, ditemukan pada beberapa molekul dimana hidrogen sebagai salah satu komponen.



Gambar 1.14. Skema Ikatan Van der Waals.

1.5 Latihan

1. Gambarkan dan jelaskan bagian-bagian dari atom.
2. Ada berapa macam ikatan atom primer? Gambarkan dan jelaskan
3. Apa yang dimaksud dengan ikatan van der walls?
4. Sebutkan perbedaan yang terdapat antara ikatan ionik, kovalen dan metal beserta contohnya.
5. Ion Au^{3+} mempunyai jumlah elektron 76 dan neutron 118. Tentukan nomor atom dan nomor massa unsur emas!
6. Ion Br^- mempunyai jumlah elektron 36 dan neutron 45. Tentukan nomor atom dan nomor massa Br!
7. Unsur kalium mempunyai konfigurasi elektron 2, 8, 8, 1, dan mempunyai jumlah neutron 20. Tentukan nomor atom dan nomor massa unsur kalium!
8. Ion Zn^{2+} mempunyai jumlah elektron 28 dan neutron 35. Tentukan nomor atom dan nomor massa unsur seng tersebut!
9. Ion Mg^{2+} mempunyai konfigurasi elektron 2, 8. Tentukan nomor atom unsur magnesium!
10. Apakah kesimpulan yang dihasilkan dari percobaan Rutherford?
11. Sebutkan jenis ikatan pada senyawa berikut ini: HCl , CuS , H_2O , ZnCl_2 , Ag_2O , K_2SO_4 , FeCl_3 , HNO_3 , KCl dan PCl_3 .

BAB 2

Sifat Bahan Padat

Capaian Pembelajaran

Mahasiswa mengetahui dan memahami tentang sifat-sifat bahan, yaitu: sifat mekanik, sifat fisika dan sifat teknologi bahan.

Ada 3 kelompok sifat bahan yang perlu diketahui untuk mempelajari sifat dan karakteristik suatu bahan, antara lain:

1. Sifat Mekanik Bahan
2. Sifat Fisika Bahan
3. Sifat Teknologi bahan

2.1 Sifat Mekanik Bahan

Sifat mekanik bahan, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku bahan terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada bahan terbagi dua yaitu beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu.

Untuk mendapatkan sifat mekanik bahan, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (destructive test), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari bahan tersebut. Seperti gambar kurva dibawah ini merupakan salah satu contoh bentuk kurva tegangan – regangan (stress-strain) dari hasil uji tarik bahan baja lunak.

Setiap bahan yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh bahan apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada bahan uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada bahan dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan impak, kekuatan mulur, kekuatan leleh dan sebagainya.

2.1.1 Kekuatan Bahan (strenght of materials)

Kekuatan Bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan tegangan tanpa kerusakan. Atau kemampuan suatu bahan dalam menerima beban, semakin besar beban yang mampu diterima oleh bahan maka benda tersebut dapat dikatakan memiliki kekuatan yang tinggi.

Dalam kurva tegangan - regangan (stress-strain), kekuatan dapat dilihat dari sumbu-y (stress), semakin tinggi nilai stress-nya maka bahan tersebut lebih kuat.

Kurva yang diberi label strongest (terkuat) digambarkan sebagai kurva yang memiliki nilai sumbu y tertinggi. Kemudian kurva yang diberi label Toughest adalah kurva yang memiliki nilai ketangguhan tertinggi. Ketangguhan suatu bahan dapat dilihat dari luas daerah dibawah kurva stress-strain nya. Semakin besar luas daerah di bawah kurva, maka bahan tersebut dikatakan semakin tangguh. Lalu untuk keuletan bahan digambarkan dari kurva yang diberi label most ductile. . Keuletan menggambarkan bahwa bahan tersebut sulit untuk mengalami patah (fracture) yang dalam kurva dapat dilihat sebagai kurva yang memiliki nilai sumbu-x (strain / regangan) tertinggi.

2.1.2 Elastisitas Bahan (elasticity)

Elastisitas adalah sifat benda yang cenderung mengembalikan keadaan ke bentuk semula setelah mengalami perubahan bentuk karena pengaruh gaya (tekanan atau tarikan) dari luar. Benda-benda yang

memiliki elastisitas atau bersifat elastis, seperti karet gelang, pegas, dan pelat logam disebut benda elastis. Adapun benda-benda yang tidak memiliki elastisitas (tidak kembali ke bentuk awalnya) disebut benda plastis. Contoh benda plastis adalah tanah liat dan plastisin (lilin mainan).

Ketika diberi gaya, suatu benda akan mengalami deformasi, yaitu perubahan ukuran atau bentuk. Karena mendapat gaya, molekul-molekul benda akan bereaksi dan memberikan gaya untuk menghambat deformasi. Gaya yang diberikan kepada benda dinamakan gaya luar, sedangkan gaya reaksi oleh molekul-molekul dinamakan gaya dalam. Ketika gaya luar dihilangkan, gaya dalam cenderung untuk mengembalikan bentuk dan ukuran benda ke keadaan semula.

Apabila gaya F diperbesar terus sampai melewati titik B, pegas bertambah panjang dan tidak kembali ke bentuk semula setelah gaya dihilangkan. Ini disebut batas elastisitas atau kelentingan pegas. Jika gaya terus diperbesar lagi hingga di titik C, maka pegas akan putus. Jadi, benda elastis mempunyai batas elastisitas. Jika gaya yang diberikan melebihi batas elastisitasnya, maka pegas tidak mampu lagi menahan gaya sehingga akan putus.

2.1.3 Kekerasan (hardness)

Kekerasan (hardness) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (wear resistance). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

2.1.4 Keuletan Bahan (ductility)

Keuletan Bahan (ductility) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa / tidak mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan dan kembali ke ukuran serta bentuk asalnya. Contoh aplikasi jika sifat kekenyalan bahan yang ditonjolkan adalah penggunaan bahan baja untuk pegas.

2.1.5 Ketangguhan (toughness)

Ketangguhan (toughness) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur. Contoh aplikasi jika sifat ketangguhan bahan yang ditonjolkan adalah penggunaan aluminium paduan untuk blok mesin, seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini.

2.2 Sifat Fisik Bahan

Sifat fisika suatu logam adalah bagaimana keadaan logam itu apabila mengalami peristiwa fisika, misalnya keadaan waktu terkena pengaruh panas dan pengaruh listrik. Karena pengaruh panas, benda akan mencair atau mengalami perubahan bentuk dan ukurannya. Dari sifat fisis itu, dapat ditentukan titik cair suatu bahan dan titik didihnya, sifat menghantarkan panas, keadaan pemuaiannya pada waktu menerima panas, perubahan bentuknya karena panas, dan lain-lain.

2.2.1 Titik cair

Titik cair suatu benda adalah suhu di mana benda tersebut akan berubah wujud menjadi benda cair. Setiap benda memiliki titik cair yang berbeda. Besi akan mencair jika dipanaskan mencapai suhu 1538 °C. Aluminium juga akan mencair jika dipanaskan pada suhu diatas 660 °C.

2.2.2 Konduktivitas Termal / Panas

Mengapa kebanyakan alat masak terbuat dari aluminium ? Andaikan tangan kiri anda memegang besi, tangan kanan anda memegang kaca, lalu besi dan kaca disentuh ke api. Tangan kiri atau tangan kanan yang lebih cepat merasakan panas ? Pertanyaan-pertanyaan ini dan mungkin pertanyaan lain yang akan anda tanyakan, berkaitan dengan konduktivitas termal benda. Konduktivitas panas suatu benda adalah kemampuan suatu benda untuk memindahkan kalor/panas

melalui benda tersebut. Benda yang memiliki konduktivitas panas besar merupakan penghantar kalor yang baik (konduktor termal yang baik). Sebaliknya, benda yang memiliki konduktivitas panas kecil merupakan penghantar kalor yang buruk (konduktor panas yang buruk). Dibawah ini merupakan tabel Nilai Konduktivitas Termal dari bahan yang berbeda.

2.2.3 Panas / Kalor Jenis

Kalor jenis suatu benda menyatakan kemampuan suatu benda untuk menyerap kalor atau melepaskan kalor. Semakin besar kalor jenis suatu benda, semakin kecil kemampuan benda tersebut menyerap atau melepaskan kalor. Semakin kecil kalor jenis benda, semakin baik kemampuan benda tersebut menyerap atau melepaskan kalor. Emas mempunyai kalor jenis lebih kecil sehingga emas lebih cepat menyerap atau melepaskan kalor. Sebaliknya air mempunyai kalor jenis besar sehingga air lebih lambat menyerap atau melepaskan kalor. Dibawah ini merupakan tabel nilai kalor jenis dari berbagai macam bahan.

2.2.4 Berat Jenis dan Massa Jenis

Massa Jenis atau sering disebut desitas (density) merupakan massa suatu benda per satuan volumenya. Masa jenis dilambangkan dengan huruf yunani ρ dibaca "rho").

Rumus masa jenis:

$$\rho = \text{massa} / \text{volume}$$

Berat jenis adalah berat suatu benda persatuan volume. Yang perlu diingat, berat merupakan gaya dan mempunyai arah. Berat suatu benda dipengaruhi oleh massa benda dan gravitasi yang mempengaruhinya. Setiap benda memiliki massa jenis yang berbeda. Seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1.Perbedaan ikatan ionik, kovalen, dan kovalen koordinasi

No	Nama benda	Massa Jenis (Kg/m ³)
1	Air	1000
2	Aluminium	2712
3	baja	7850
4	Nikel	8800
5	Tembaga	8930
6	Titanium	4500
7	Tungsten	19600

2.3 Latihan Soal

1. Jelaskan metode yang dilakukan pada pengujian material dengan pemberian beban berupa tarikan. Parameter apakah yang diperhatikan pada pengujian material tersebut?
2. Gambarkan dan jelaskan tahapan uji yang terdapat pada diagram engineering stress-strain.
3. Apakah yang disebut dengan yield strength dan tensile strength?
4. Apakah yang disebut dengan patahan? Jelaskan mekanisme patahan yang terjadi pada material liat (ductile) dan material getas (brittle), serta jelaskan perbedaan akibat yang terjadi pada keduanya ketika mengalami patahan.
5. Karakteristik patahan sangat dipengaruhi dengan suhu. Jelaskan apakah pengaruh suhu terhadap sifat patahan yang terjadi pada suatu bahan.

BAB 3

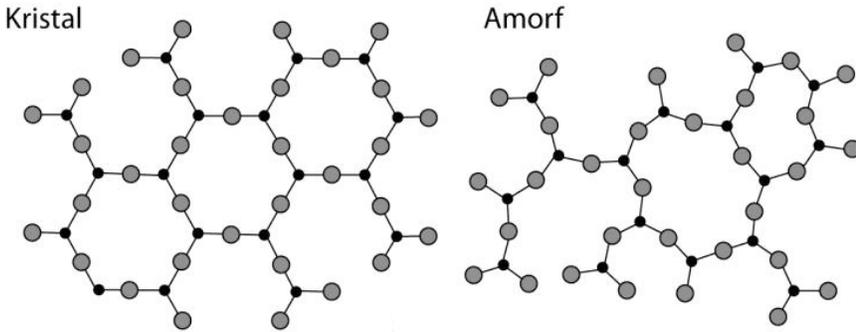
Struktur Kristal

Capaian Pembelajaran

Mahasiswa mengetahui dan memahami tentang pengertian kristal, sistem kristal dan cacat kristal.

3.1 Kristal

Semua logam, sebagian besar keramik dan beberapa polimer membentuk kristal ketika bahan tersebut membeku. Atom-atom mengatur diri secara teratur dan berulang dalam pola 3 dimensi yang dapat mendebraksi sinar X. Struktur semacam ini disebut kristal. Kristal merupakan material padat dimana atom-atomnya tersusun dalam susunan yang berulang dan periodik pada dimensi yang besar yaitu atom-atom berada pada kondisi "keteraturan jarak panjang". Sebuah material kristalin merupakan suatu kondisi di mana atom terletak dalam susunan yang berulang dalam jarak atomik yang besar; oleh karena itu, muncul urutan yang panjang. Seperti pada saat terjadi proses pemadatan (solidifikasi), atom-atom akan menempatkan diri mereka sendiri ke dalam pengulangan pola tiga dimensi di mana masing-masing atom terikat dengan atom tetangga yang letaknya sangat dekat. Semua logam, sebagian besar keramik dan beberapa polimer membentuk kristal ketika bahan tersebut membeku. Dengan ini dimaksudkan bahwa atom-atom mengatur diri secara teratur dan berulang dalam pola 3 dimensi. Struktur semacam ini disebut kristal. Untuk material yang tidak bersifat kristalin, rantai pengulangan ini tidak muncul dalam jarak yang panjang; material ini disebut nonkristalin atau amorf. Material non-kristal atau amorf, keteraturan atom jarak panjang tidak muncul.

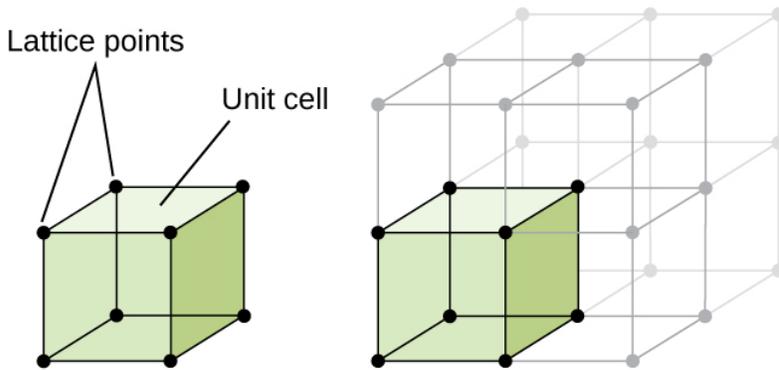


Gambar 3.1. Bentuk Kristal dan Amorf

Susunan atom pada kristal padat memperlihatkan bahwa sekelompok kecil atom membentuk pola yang berulang. Karena itu dalam menerangkan struktur kristal, lebih mudah untuk membagi struktur ke dalam kesatuan kecil yang berulang yang disebut sel satuan. Pola teratur dalam jangka panjang yang menyangkut puluhan jarak atom dihasilkan oleh koordinasi atom dalam bahan. Disamping itu pola ini kadang-kadang menentukan pula bentuk luar dari kristal, contoh yang dapat dikemukakan adalah bentuk bintang enam bunga salju. Permukaan datar batu batuan mulia, kristal kwarsa (SiO_2) bahan garam meja biasa (NaCl) merupakan penampilan luar dari pengaturan di dalam kristal itu sendiri. Pengaturan atom di dalam kristal tetap ada meskipun bentuk permukaan luarnya diubah. Struktur dalam kristal kwarsa tidak berubah meskipun permukaan luar tergesek sehingga membentuk butiran pasir pantai yang bulat-bulat. Keteraturan tampak dari permukaan kristal yang berupa bidang-bidang datar dan rata mengikuti pola-pola tertentu. Sedangkan pola tiga dimensi pada kristal merupakan struktur kristal yang berupa susunan geometri sejumlah atom yang membentuk *unit cell* (sel satuan). Pola atom ini berulang secara tak terhingga, untuk mudahnya kisi kristal ini dibagi dalam sel satuan. Sel satuan tersebut berulang secara terus-menerus dan reguler sehingga membentuk suatu kristal. Sel satuan ini yang mempunyai volum terbatas, masing-masing memiliki ciri yang sama, dengan kristal secara keseluruhan. Jarak yang selalu terulang, yang disebut konstanta kisi.

Titik sudut sel satuan dapat ditempatkan dimana saja dalam suatu

kristal. Titik sudut tersebut dapat berada di pusat atom atau tempat lain dalam atom-atom atau diantara atom-atom. Dimanapun titik sudut berada, volum yang kecil tadi dapat diduplikasikan dengan volum yang identik di sebelahnya (asalkan sel tadi memiliki orientasi yang sama dengan pola kristal) Setiap sel mempunyai ciri-ciri geometrik, yang sama dengan kristal keseluruhan.



Gambar 3.2. Sel Satuan.

Unit sel (sel satuan) merupakan pola berulang dalam tiga dimensi dan membentuk kisi suatu kristal. Unit sel digambarkan sebagai volume terkecil suatu zat padat. Semua sel satuan di dalam suatu kristal bersifat identik. Sel satuan adalah bagian terkecil dari unit struktur (*building block*) yang dapat menjelaskan struktur kristal. Sel satuan menyusun kisi ruang (*space lattice/ bravais lattice*) yang berupa garis-garis imajiner sehingga membentuk kerangka tiga dimensi. Pengulangan dari unit cells akan mewakili struktur secara keseluruhan. *Lattice parameter* adalah faktor yang mendefinisikan sel satuan (jarak antar titik dan sudut antar sumbu). Faktor-faktor ini disebut dengan tetapan kisi (kadang disebut juga parameter kisi).

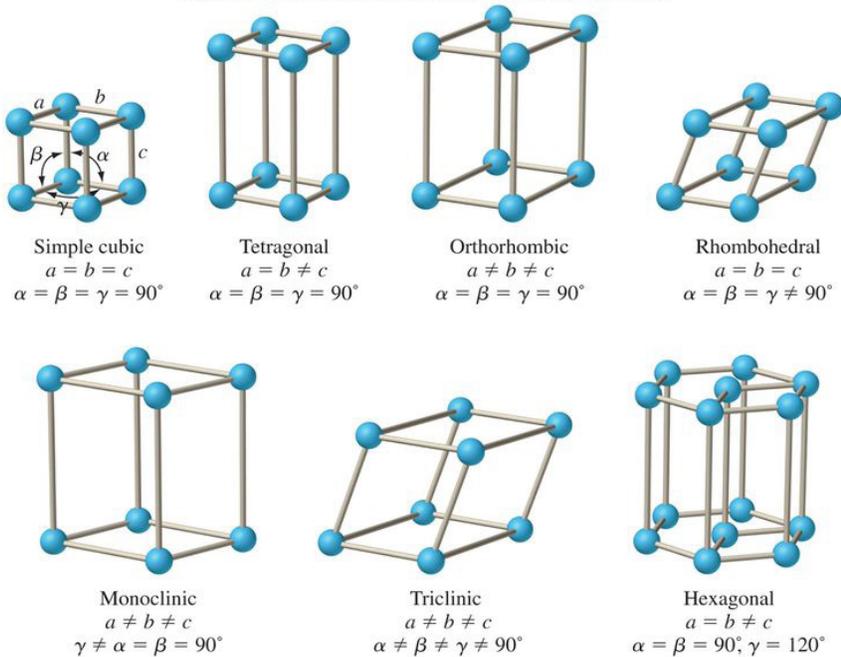
3.2 Sistem Kristal

Semua struktur kristal dapat dijelaskan dalam istilah kisi (lattice) yang dihadapi sebagai kumpulan atom berada pada tiap titik kisi. Kumpulan atom ini disebut basis; dan ketika berulang dalam ruang menjadi sebuah kristal sehingga kisi dapat didefinisikan sebagai sebuah susunan

titik-titik yang teratur dan periodik di dalam ruang. Pada setiap titik kisi, baris atom-atom setiap basis adalah identik dalam komposisinya, susunannya serta orientasinya sehingga basis dapat didefinisikan sebagai sekumpulan atom dengan jumlah atom dalam sebuah basis dapat bernilai satu atom atau lebih.

Jika dilihat dari geometri sel satuan, ditemukan bahwa kristal mempunyai tujuh kombinasi geometri yang berbeda seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1. Beberapa logam, dan juga non-logam, bisa mempunyai lebih dari satu struktur kristal, fenomena ini disebut polimorfisme. Jika kondisi ini dijumpai pada bahan padat elemental maka disebut alotropi.

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

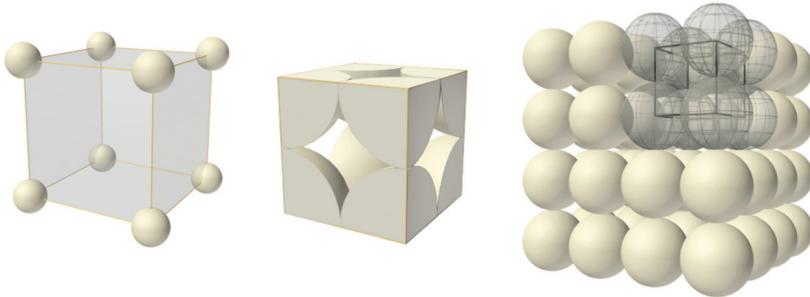


Gambar 3.3. Sistem Kristal Dasar.

Kristal kubus terdiri dari tiga bentuk kisi, kubus sederhana, kubus pemusatan ruang dan kubus pemusatan sisi. Suatu kisi adalah pola yang berulang dalam tiga dimensi yang terbentuk dalam kristal. Sebagian besar logam memiliki kisi kubus pemusatan ruang (kpr) atau kisi kubus pemusatan sisi (kps).

3.2.1 Kubik Sederhana (Simpel Cubic)

Sistem kristal kubus memiliki panjang rusuk yang sama ($a = b = c$) serta memiliki sudut ($\alpha = \beta = \gamma$) sebesar 90° . Pada bentuk kubus sederhana, masing-masing terdapat satu atom pada semua sudut (pojok) kubus. Bentuk ini merupakan struktur kristal paling primitif dan konvensional. Pada setiap unit sel terdapat satu atom. Gambar bentuk kubus sederhana dapat dilihat pada gambar 3.4.



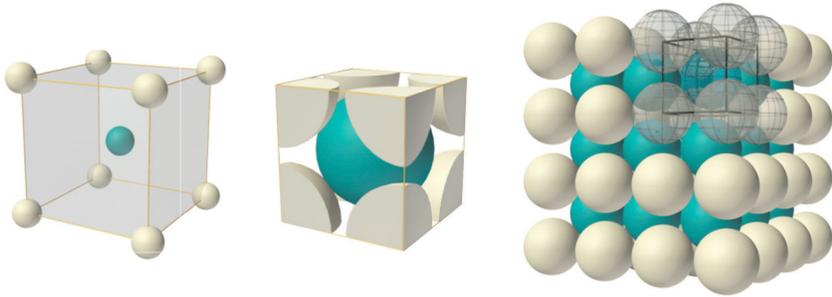
Gambar 3.4. Kristal Kubik Sederhana.

3.2.2 Kubik Pemusatan Sisi

Struktur kubik pemusatan sisi atau *Face-centered cubic* (FCC) adalah struktur kristal kubus dimana terdapat atom disetiap sudut kubus ditambah masing-masing satu buah atom di setiap permukaan/sisi kubus. Sifat ini banyak dijumpai pada logam seperti tembaga, aluminium, perak dan emas. Gambar 3.5 memperlihatkan kristal jenis ini. Panjang sisi kubus a dan jari-jari atom R dihubungkan dengan persamaan:

Fraksi volume bola padat di dalam sel satuan atau disebut faktor penumpukan atom, FP , dirumuskan

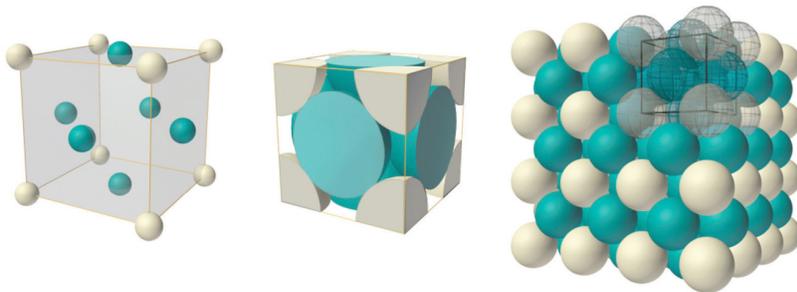
Untuk struktur FCC, Faktor Penumpukan Atom adalah 0,74. Logam umumnya mempunyai faktor penumpukan atom yang relatif besar untuk memaksimalkan efek pembungkusan oleh elektron bebas.



Gambar 3.5. Kristal Kubik Sederhana.

3.2.3 Kubik Pemusatan Ruang

Struktur kubik pemusatan ruang atau *Body-centered cubic* (BCC) adalah struktur kristal yang mempunyai atom di setiap sudut kubus ditambah sebuah atom di dalam kubus. Gambar 3.6. menunjukkan struktur kristal bentuk Struktur kubik pemusatan sisi atau *Face-centered cubic* (FCC) adalah. Faktor Penumpukan Atom kristal ini adalah 0,68. Panjang sel satuan dirumuskan dengan:

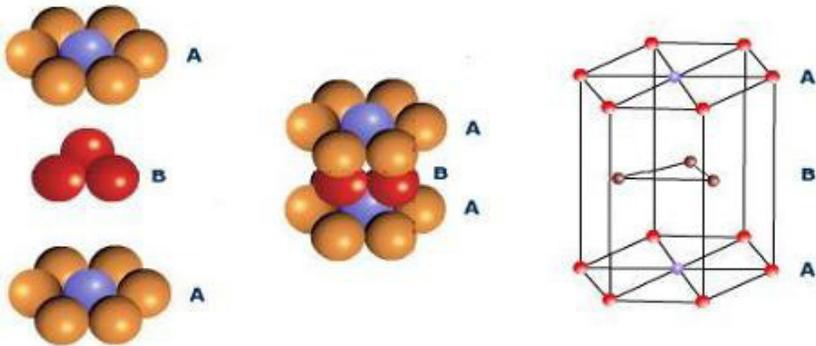


Gambar 3.6. Kristal Kubik Kristal Body Centere Cubic (BCC).

3.2.4 Tumpukan Padat Heksagonal, HCP

Gambar 3.11 memperlihatkan sel satuan jenis ini. Sel satuan jenis ini adalah jenis sel satuan heksagonal. Permukaan atas dan bawah sel satuan terdiri dari enam atom yang membentuk heksagonal yang teratur dan mengelilingi sebuah atom ditengah-tengahnya. Bidang lain

yang mempunyai tiga atom tambahan pada sel satuan terletak antara bidang atas dengan bidang bawah. Enam atom ekuivalen dipunyai oleh setiap sel satuan ini. Faktor penumpukan atom untuk sel satuan HCP adalah sama dengan sel satuan FCC. Logam yang mempunyai struktur kristal ini antara lain: cadmium, magnesium, titanium dan seng. Panjang sel satuan dirumuskan dengan:



Gambar 3.7. Struktur Kristal Hexagonal Close Paced (HCP)

3.3 Cacat Kristal

Diperlukan berjuta-juta atom untuk membentuk satu kristal. Oleh karena itu, tidak mengherankan bila terdapat cacat atau ketidakteraturan dalam tubuh kristal. Cacat cacat inilah yang ikut menentukan sifat bahan secara keseluruhan.

3.3.1 Ketidakmurnian dalam Bahan Padat

Benda yang asli selalu lebih digemari misalnya: madu asli, gula murni dan emas 24 karat. Meskipun benda sempurna, murni atau asli itu lebih baik, ada kalanya karena faktor harga, pengadaan atau sifat sifat tertentu, diperlukan adanya ketidakmurnian. Sebagai contoh, perak sterling, yang mengandung tembaga 7.5% dan perak 92.5%. Bahan ini memang unggul, dapat saja dimurnikan menjadi perak dengan kadar 99% lebih. Harganya akan lebih mahal, sedang kualitas lebih rendah. Tanpa merubah rupa, campuran tembaga 7.5% akan membuat perak itu lebih kuat, keras dan awet dengan harga yang lebih murah.

Dengan sendirinya sifat sifat itu harus sesuai dengan rancangan kita sendiri. Seng yang dicampurkan pada tembaga menghasilkan kuningan yang lebih murah daripada tembaga murni. Kuningan lebih keras, kuat dan ulet dibandingkan tembaga. Sebaliknya, kuningan mempunyai konduktivitas listrik yang lebih rendah dari pada tembaga, sehingga kita tetap menggunakan tembaga murni untuk penghantar listrik dan penggunaan sejenis lainnya dimana konduktivitas listrik diutamakan.

Paduan adalah kombinasi dari dua atau lebih jenis logam. Kombinasi ini dapat merupakan campuran dari dua struktur kristalin (besi kpr dan Fe_3C dalam baja konstruksi), atau paduan dapat merupakan larutan padat, dan sebagai contoh akan dibahas kuningan. Meskipun istilah paduan digunakan secara umum, kombinasi dari dua atau lebih komponen oksida dapat digunakan dalam produk keramik (contoh: isolator busi, badan pesawat telpon terdiri dari kombinasi beberapa jenis molekul).

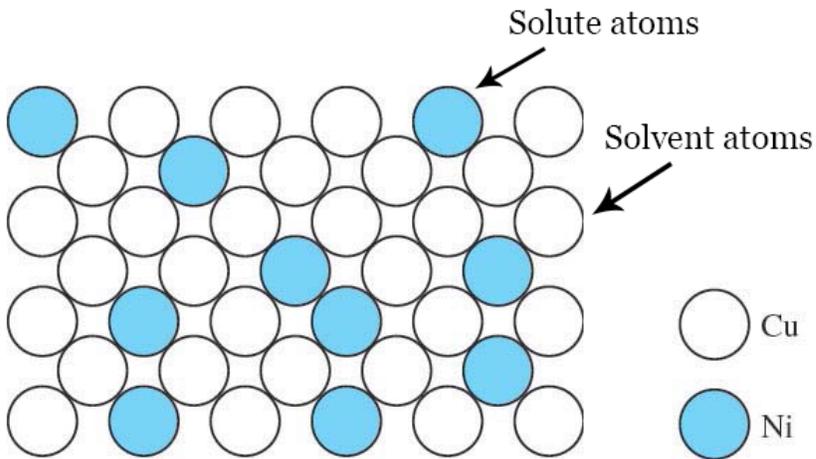
3.3.2 Larutan Padat dalam Logam

Larutan padat mudah terbentuk bila pelarut dan atom yang larut memiliki ukuran yang sama dan struktur elektron yang serupa. Sebagai contoh dapat diambil logam dalam kuningan, tembaga dan seng yang masing masing mempunyai jari jari atom 0.1278 nm dan 0.139 nm. Keduanya mempunyai 28 elektron subvalensi dan membentuk struktur kristal dengan bilangan koordinasi 12. jadi, bila seng ditambahkan pada tembaga, maka dengan mudah seng dapat menggantikan kedudukan tembaga dalam kisi kps, sampai maksimal menggantikan 40% dari atom tembaga. Dalam larutan padat tembaga dan seng ini, distribusi seng terjadi secara acak (Gambar 3.1).

3.3.3 Larutan padat substitusi

Larutan padat yang telah diuraikan diatas disebut larutan padat substitusi oleh karena atom seng menggantikan atom tembaga dalam struktur kristal. Larutan padat seperti ini sering dijumpai dalam berbagai sistem logam. Contoh lain larutan tembaga dan nikel yang membentuk monel. Pada monel, nikel dapat menggantikan atom tembaga dalam struktur tembaga semula dalam perbandingan jumlah manapun. Larutan padat

tembaga nikel berkisar dari 0% nikel dan 100% tembaga sampai 100% nikel dan 0% tembaga. Semua paduan tembaga nikel berstruktur kubik pemusatan sisi.



Gambar 3.8. Larutan padat substitusi acak

Sebaliknya, timah putih secara terbatas sekali menggantikan tembaga, membentuk perunggu, dan tetap mempertahankan struktur mula tembaga yaitu kubik pemusatan sisi. Timah putih melebihi daya larut padat maksimal akan membentuk fasa lain.

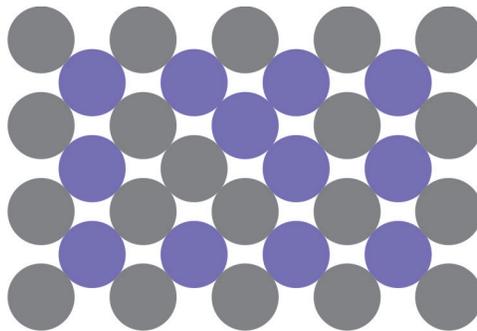
Untuk dapat menggantikan atom lainnya dengan jumlah yang cukup banyak dan membentuk larutan padat substitusi, ukuran dari atom harus sama atau hampir sama. Nikel dan tembaga mempunyai jangkau larut yang besar karena keduanya mempunyai struktur kps dan jari jari atomnya masing masing 0.1246 nm dan 0.1278 nm. Dengan meningkatnya perbedaan ukuran, menurunlah kemampuan substitusinya. Hanya 20% atom tembaga dapat digantikan oleh aluminium karena jari jari aluminium adalah 0.1431 nm, sedang jari jari tembaga hanya 0,1278 nm.

Pelarutan padat menjadi terbatas bila terdapat selisih ukuran jari jari atom melebihi 15%. Pelarutan akan lebih terbatas lagi bila kedua komponennya mempunyai struktur kristal yang berbeda atau valensi

yang berlainan. Faktor pembatasan adalah jumlah atom substitusi dan bukannya berat atom substitusi. Umumnya, ahli teknik menyatakan komposisi dalam persentase berat. Oleh karena itu perlu kita membiasakan diri merubah persentase berat menjadi persentase atom dan sebaliknya.

Larutan padat tertata Gambar 3.1 memperlihatkan suatu substitusi acak atom dalam struktur kristal lain. Pada larutan demikian, kemungkinan bahwa suatu unsur akan menempati kedudukan atom tertentu dalam kristal sebanding dengan persentase atom unsur tersebut dalam paduan tadi. Dalam keadaan demikian, dikatakan bahwa tidak ada tata substitusi kedua elemen tadi.

Akan tetapi sering dijumpai penataan kedua jenis atom sehingga membentuk pengaturan khusus. Gambar 3.2. memperlihatkan struktur tertata dimana kebanyakan "atom hitam" dikelilingi oleh atom kelabu" Penataan seperti ini jarang terjadi pada suhu yang lebih tinggi oleh karena agitasi termal yang lebih besar cenderung mengacaukan susunan yang tertata.

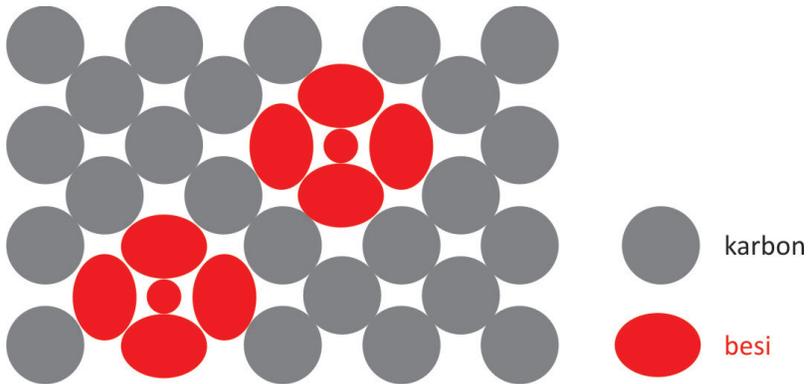


Gambar 3.9. Larutan padat substitusi tertata

3.3.4 Larutan padat interstisi

Jenis larutan padat lainnya, digambarkan pada Gambar 3.3., disini atom yang kecil dikelilingi oleh atom atom yang lebih besar. Contoh: karbon dalam besi. Pada suhu dibawah 912 °C, besi murni mempunyai struktur kubik pemusatan ruang. Diatas 9120C, terdapat daerah temperatur

tertentu dimana besi mempunyai struktur kubik pemusatan sisi. Pada kisi kubik pemusatan sisi terdapat ruang sisipan atau "lubang" yang agak besar pada pusat sel satuan. Karbon, sebagai atom yang sangat kecil, dapat menduduki lubang tersebut dan membentuk larutan padat besi dan karbon. Pada suhu yang lebih rendah, dimana besi mempunyai struktur kubik pemusatan ruang, ruang sisipan antara atom atom besi jauh lebih kecil. Akibatnya, daya larut karbon dalam besi kubik pemusatan ruang sangat terbatas.

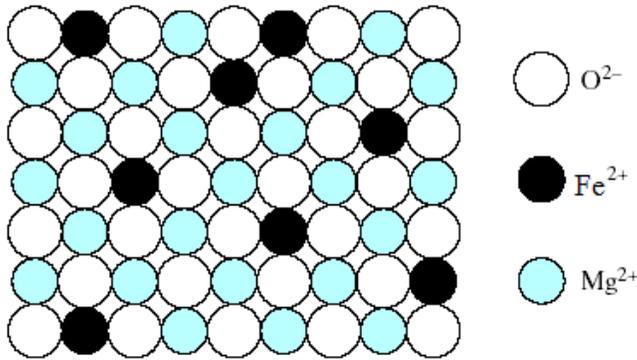


Gambar 3.10. Larutan padat interstisi

3.3.5 Larutan padat dalam senyawa

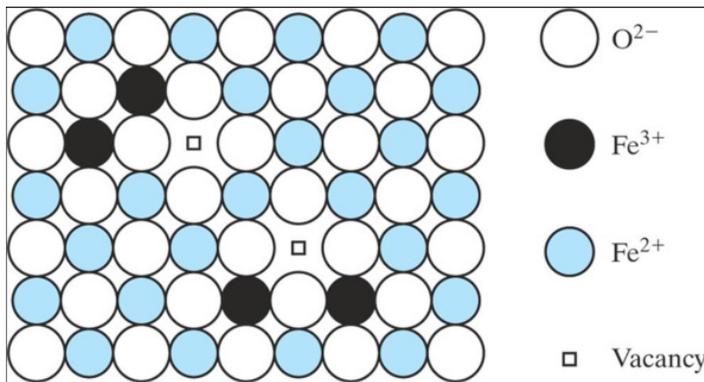
Larutan padat substitusi terdapat dalam fasa ionik maupun logam. Dalam fasa ionik sama halnya dengan logam padat, ukuran atom atau ion merupakan faktor yang penting. Gambar 3.4. adalah contoh larutan padat ionik. Strukturnya ialah MgO dimana ion Mg^{2+} digantikan oleh ion Fe^{2+} . Karena jari jari kedua ion tersebut masing masing 0.066 nm dan 0.074 nm, substitusi sempurna mungkin terjadi. Sebaliknya, ion Ca^{2+} tidak dapat digantikan begitu saja oleh ion Mg^{2+} karena jari jarinya lebih besar yaitu 0.099 nm.

Persyaratan tambahan yang berlaku lebih ketat untuk larutan padat senyawa keramik daripada larutan padat logam, dengan syarat bahwa muatan valensi ion yang digantikan harus sama dengan muatan valensi ion baru.



Gambar 3.11. Larutan padat substitusi dalam senyawa

Sangat sulit untuk menggantikan Mg^{2+} dalam MgO dengan Li^+ , meskipun keduanya mempunyai jari jari yang sama karena akan terdapat selisih muatan (kekurangan). Substitusi semacam ini hanya mungkin terjadi bila diiringi perubahan lain yang dapat meniadakan selisih muatan.



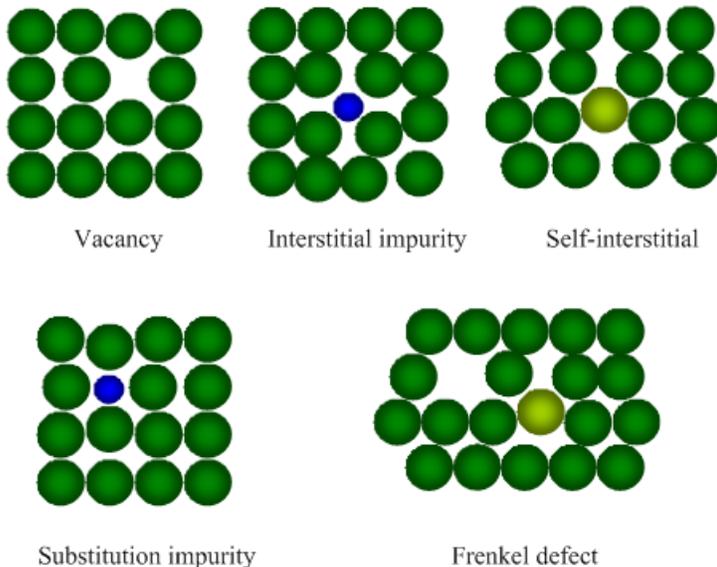
Gambar 3.12. Struktur Cacat

3.3.6 Ketidaktempurnaan dalam Kristal

Telah kita kenal, jenis ketidaktempurnaan dalam kristal, dimana diperlukan kekosongan untuk mengimbangi kepincangan muatan. Bila ketidaktempurnaan seperti kekosongan meliputi sebuah atau beberapa atom kita sebut: cacat titik. Ketidaktempurnaan lain dalam kristal berujud garis; oleh karena itu disebut cacat garis. Cacat jenis

ini penting pada waktu kristal mengalami deformasi plastik oleh gaya geser. Sejumlah kecil cacat dapat menyebabkan kristal logam menjadi 1000 kali lebih ulet dibandingkan dengan keadaan tanpa cacat. Bila banyak sekali jumlahnya, cacat garis ini dapat meningkatkan kekuatan logam. Akhirnya, cacat lainnya berbentuk dua dimensi dan mencakup permukaan luar atau batas batas intern.

Cacat titik yang paling sederhana adalah kekosongan, disini ada atom yang "hilang" dalam kristal (Gambar 3.6.). Cacat demikian merupakan hasil dari penumpukkan yang salah sewaktu kristalisasi, atau dapat juga terjadi pada suhu tinggi, oleh karena meningkat energi termal. Bila enersi termal tinggi memungkinkan bagi atom atom untuk melompat meninggalkan tempatnya (dimana energi terendah) akan naik pula.



Gambar 3.13. Cacat titik

Kekosongan pasangan ion (disebut juga cacat Schottky) terdapat dalam senyawa yang harus mempunyai keseimbangan muatan, Cacat ini mencakup kekosongan pasangan ion dengan muatan berlawanan. Kekosongan pasangan ion dan kekosongan tunggal mempercepat difusi atom. Suatu atom tambahan dapat berada dalam struktur kristal,

khususnya bila faktor tumpukan atom rendah. Cacat semacam ini disebut sisipan, mengakibatkan distorsi atom. Perpindahan Ion dari kisi ke tempat sisipan disebut cacat Frenkel. Struktur tumpukan padat lebih sedikit sisipan dan ion pindahannya dari pada kekosongan, karena diperlukan energi tambahan untuk menyisipkan atom.

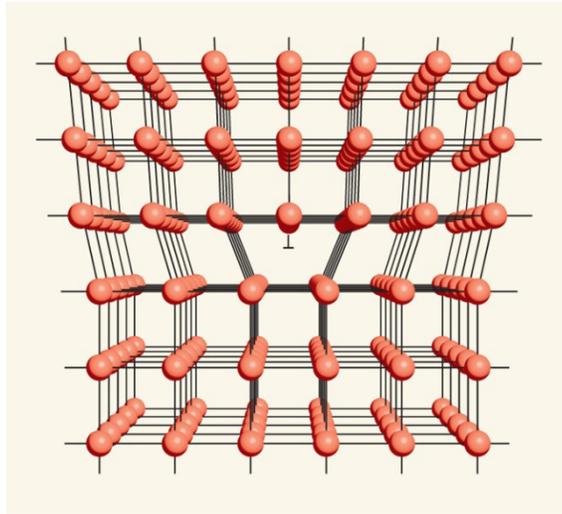
Cacat Garis (Dislokasi) Cacat garis yang paling banyak dijumpai didalam kristal adalah dislokasi. Dislokasi garis dapat dilihat pada Gambar 3.7. Dislokasi ini dapat digambarkan sebagai sisipan satu bidang atom tambahan dalam struktur kristal. Disekitar dislokasi garis terdapat daerah yang mengalami tekanan dan tegangan, sehingga terdapat energi tambahan sepanjang dislokasi tersebut. Jarak geser atom disekitar dislokasi disebut vektor geser (b^*). Vektor ini tegak lurus pada garis dislokasi.

Dislokasi ulir menyerupai spiral dengan garis cacat sepanjang sumbu ulir. Vektor gesernya sejajar dengan garis cacat. Atom atom disekitar dislokasi ulir mengalami gaya geser, oleh karena itu terdapat energi tambahan disekitar dislokasi tersebut.

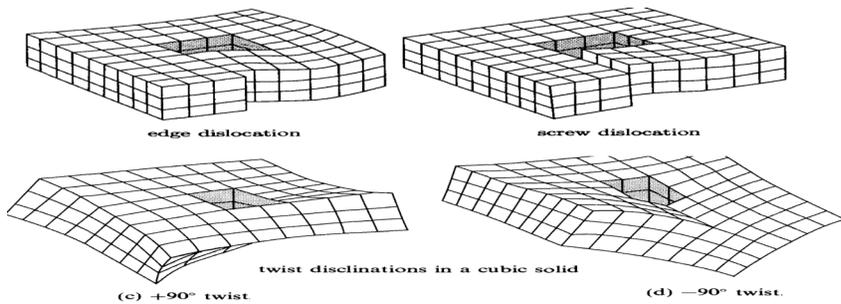
Kedua jenis dislokasi garis terjadi karena ada ketimpangan dalam orientasi bagian bagian yang berdekatan dalam kristal yang tumbuh sehingga ada suatu deretan atom tambahan ataupun deretan yang kurang.

Seperti terlihat pada Gambar 3.7, dislokasi ulir memudahkan pertumbuhan kristal karena atom dan sel satuan tambahan dapat tertumpuk pada setiap anak tangga ulir. Istilah ulir sangat tepat karena anak tangga melingkari sumbu pada proses pertumbuhan.

Dislokasi mudah terjadi sewaktu deformasi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.8. dimana suatu pergeseran mengakibatkan terjadinya dislokasi garis dan dislokasi ulir. Keduanya menghasilkan deformasi akhir yang sama dan sebetulnya dihubungkan satu dengan lainnya oleh garis dislokasi yang terjadi.



Gambar 3.14. Dislokasi



Gambar 3.15. Pembentukan Dislokasi akibat geseran

Permukaan. Ketidaktersempurnaan kristal dalam dua dimensi merupakan suatu batas. Batas yang paling nyata adalah permukaan luar. Permukaan dapat dilukiskan sebagai akhir atau batas struktur kristal, kita dapat memahami kenyataan bahwa koordinasi atom pada permukaan tidak sama dengan koordinasi atom dalam kristal. Atom permukaan hanya mempunyai tetangga pada satu sisi saja, oleh karena itu memiliki energi yang lebih tinggi dan ikatannya kurang kuat.

Batas butir. Meskipun bahan seperti tembaga dalam kawat listrik terdiri dari satu fasa saja, yaitu satu struktur (kps), benda tersebut terdiri dari banyak sekali kristal dengan orientasi yang berbeda. Kristal kristal ini disebut butir. Bentuk butir dalam bahan padat biasanya diatur oleh adanya butir-butir lain disekitarnya. Dalam setiap butir, semua sel satuan teratur dalam satu arah dan satu pola tertentu. Pada batas butir, antara dua butir yang berdekatan terdapat daerah transisi yang tidak searah dengan pola dalam kedua butiran tadi.

Meskipun tidak dapat melihat atom-atom itu satu persatu, dengan mudah kita dapat melihat batas butir dibawah mikroskop. Untuk ini logam perlu di etsa. Mula-mula logam dipolis sampai terbentuk permukaan yang halus seperti cermin kemudian diberi zat Kimia tertentu selama beberapa detik. Atom-atom di daerah transisi diantara butiran akan lebih mudah larut dibandingkan atom-atom lainnya dan akan meninggalkan garis yang tampak oleh mikroskop. Batas butir yang di etsa tidak lagi merupakan permukaan yang halus sebagai bagian lainnya dari butiran.

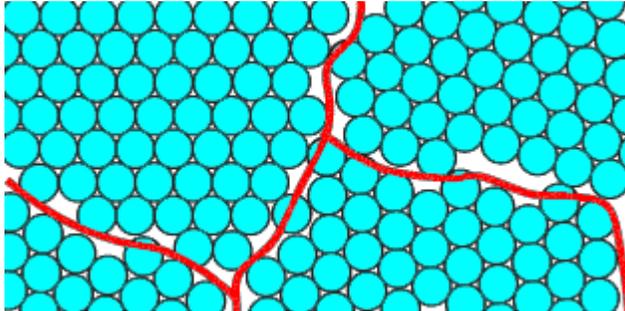
Batas butir dapat dianggap berdimensi dua, bentuknya mungkin melengkung dan sesungguhnya memiliki ketebalan tertentu yaitu 2 sampai 3 jarak atom. Ketidakteraturan orientasi antara butiran yang berdekatan menghasilkan tumpukan atom yang kurang efisien sepanjang batas. Oleh karena itu atom sepanjang batas butir memiliki energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang terdapat dalam butir.

Hal ini yang menyebabkan mengapa daerah perbatasan lebih mudah terkikis. Energi atom batas butir yang lebih tinggi juga penting bagi proses nukleasi selama perubahan fasa polimorfi. Tumpukan atom yang lebih sedikit, pada batas butir memperlancar difusi atom, dan ketidakteraturan orientasi pada butir yang berdekatan mempengaruhi kecepatan gerak dislokasi, jadi batas butir merubah regangan plastik dalam bahan

3.3.7 Daerah batas butir dan besar butir.

Karena batas butir berpengaruh atas bahan dalam berbagai hal, perlu

diketahui besar daerah batas butir per satuan volum (SV). Besarnya dapat dihitung dengan mudah dengan menarik suatu garis pada gambar struktur mikro. Garis ini akan memotong lebih banyak batas butir pada bahan berbutir halus dibandingkan dengan bahan berbutir kasar. Hubungannya adalah $SV = 2 PL$, dimana PL merupakan jumlah titik potong antara garis dengan panjang satuan dan batas butir. Hubungan tersebut diatas tidak akan dibuktikan disini, akan tetapi kebenarannya dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16. Menghitung daerah batas butir

3.4 Latihan Soal

1. Apa yang dimaksud dengan molekul, Kristal dan sel satuan ?
2. Apakah lattice itu?
3. Gambarkan sel satuan untuk BCC, FCC, HCP.
4. Secara singkat, jelaskan apakah yang disebut dengan unit sel, bilangan koordinasi dan *atomic packing factor* pada struktur kristal.
5. Jelaskan bagaimanakah korelasi antara jari-jari atom (R) dengan panjang sisi unit sel (a) pada struktur kristal FCC.

BAB 4

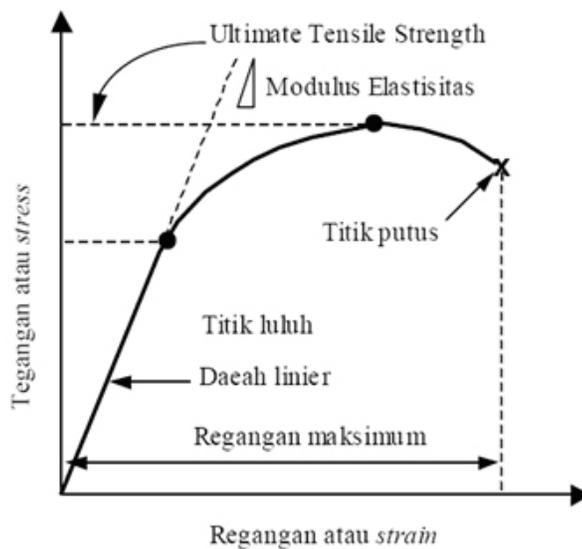
Deformasi dan Rekristalisasi

Capaian Pembelajaran

Mahasiswa mengetahui dan memahami tentang deformasi dan rekristalisasi pada suatu bahan padat.

4.1 Deformasi

Deformasi atau perubahan bentuk dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis adalah perubahan bentuk yang bersifat sementara. Perubahan akan hilang bila gaya dihilangkan. Dengan kata lain bila beban ditiadakan, maka benda akan kembali ke bentuk dan ukuran semula. Dilain pihak, deformasi plastis adalah perubahan bentuk yang bersifat permanen, meskipun beban dihilangkan



Gambar 4.1. Kurva tegangan regangan suatu material

Bila suatu material dibebani sampai daerah plastis, maka perubahan bentuk yang saat itu terjadi adalah gabungan antara deformasi elastis dan deformasi plastis (penjumlahan ini sering disebut deformasi total). Bila beban ditiadakan, maka deformasi elastis akan hilang pula, sehingga perubahan bentuk yang ada hanyalah deformasi plastis saja.

4.1.1 Deformasi Elastik

Deformasi elastik terjadi bila sepotong logam atau bahan padat dibebani gaya. Bila beban berupa gaya tarik, benda akan bertambah panjang; setelah gaya ditiadakan, benda akan kembali ke bentuk semula. Sebaliknya, beban berupa gaya tekan akan mengakibatkan benda menjadi pendek sedikit. Regangan elastik adalah hasil dari perpanjangan sel satuan dalam arah tegangan tarik, atau kontraksi dari sel satuan dalam arah tekanan.

Bila hanya ada deformasi elastis, regangan akan sebanding dengan tegangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan disebut modulus elastisitas (modulus Young), dan merupakan karakteristik suatu logam tertentu. Makin besar gaya tarik menarik antar atom logam, makin tinggi pula modulus elastisitasnya. Setiap perpanjangan atau perpendekan struktur kristal dalam satu arah tertentu, karena gaya searah, akan menghasilkan perubahan dimensi dalam arah tegak lurus dengan gaya tadi.

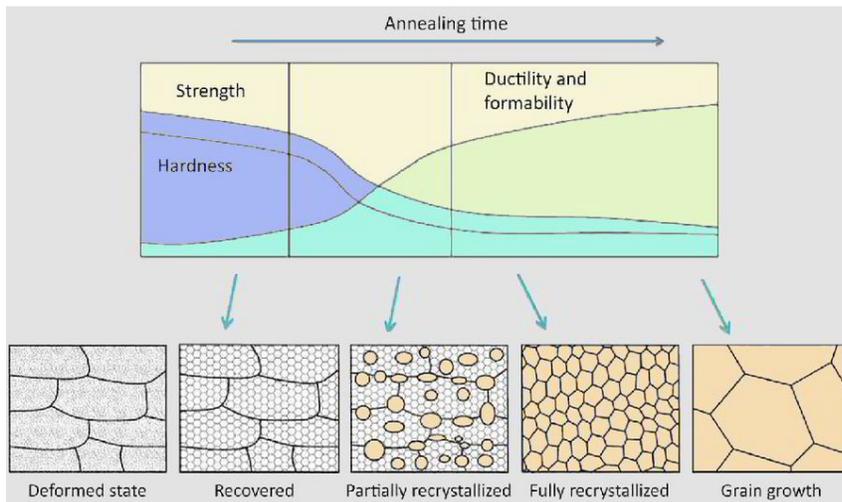
4.1.2 Deformasi Plastik

Pada deformasi plastik terjadi bila sepotong logam atau bahan padat dibebani gaya. Logam akan mengalami perubahan bentuk, dan setelah gaya ditiadakan, terjadi perubahan bentuk permanen. Hal ini terjadi akibat sliding antar bidang atom, dan atau ikatan atom-atomnya pecah

4.2 Rekristalisasi

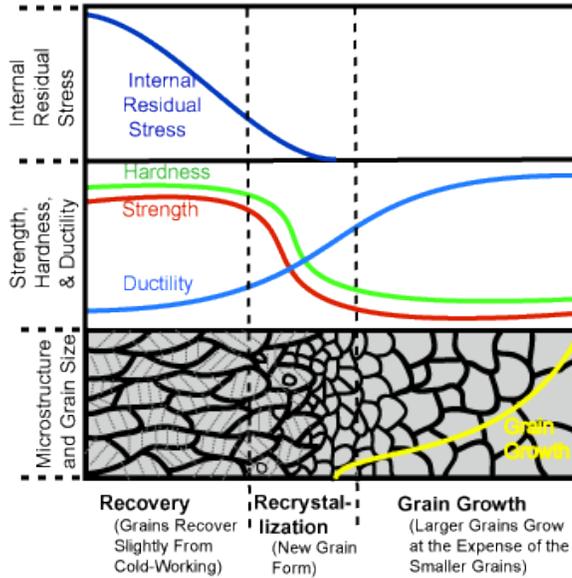
Energi yang terhimpun dalam struktur pengerjaan dingin menjadikan logam tidak stabil. Bila dipanaskan hingga suhu yang menyebabkan difusi berlangsung dengan cepat, rangkaian dislokasi terlepas dan

terbentuk batas butir baru. Logam menjadi lunak dan dikatakan bahwa logam telah dianil. Inti untuk butir baru terdapat di lokasi di dalam butir kristal yang rusak. Daerah tersebut kemudian tumbuh, sehingga terjadi kristal baru bebas regangan. Proses disebut rekristalisasi. Makin besar jumlah energi yang tersimpan dengan perkataan lain, pengerjaan dingin logam lebih besar semakin besar jumlah lokasi inti makin halus butir akhir.



Gambar 4.2. Perubahan butir setelah dianil

Seperti telah diperlihatkan pada Gambar 4.2., sifat bahan yang dianil berubah menjadi sifat keadaan bebas regangan, meskipun kekuatan dan keuletan meningkat. Sesungguhnya, proses rekristalisasi tidak semudah itu. Terdapat tahap antara yang tidak dapat diamati dengan mikroskop optik. Pada tahap ini rangkaian dislokasi membentuk batas butir bersudut kecil, dan disebut tahap pemulihan. Meskipun sifat mekanik hampir tak berubah, tetapi terjadi pengaturan kembali struktur pada skala atom, mendahului perubahan struktur mikro di atas.



Gambar 4.3. Perubahan struktur mikro dan sifat mekanik logam

Temperatur rekristalisasi biasanya sekitar $0.4 - 0.6 T_m$. Proses rekristalisasi bergantung pada waktu dan temperatur, biasanya dipilih suhu sekitar $0.6 T_m$ agar proses berlangsung lebih cepat. Pengerjaan mekanik mempunyai efek yang sangat berbeda bila dilakukan di atas atau di bawah daerah rekristalisasi. Bila di bawah suhu rekristalisasi, struktur yang dihasilkan terdistorsi, mengandung energi, dan disebut struktur pengerjaan dingin.

Bila deformasi dilakukan di atas suhu rekristalisasi, struktur yang dihasilkan lebih lunak, mempunyai sifat mekanik yang sama dengan logam awal, dan disebut struktur pengerjaan panas. Sebagai contoh untuk timbal (Pb) pengerjaan pada suhu ruang termasuk pengerjaan panas, sedang untuk tungsten (W) $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ masih merupakan pengerjaan dingin.

Rekristalisasi logam pengerjaan dingin belum tentu menghasilkan produk akhir yang stabil. Bila logam dipanaskan terus setelah proses rekristalisasi berakhir, butir yang besar akan "memakan" butir yang

kecil sehingga batas butir keseluruhan sistem berkurang. Dengan pengerjaan dingin sebesar 2 – 5 % diperoleh beberapa daerah berenergi regangan tinggi, yang kemudian menjadi inti. Setelah proses anil pada 0.8 Tm tumbuh butir berdiameter beberapa cm. Meskipun percobaan ini bermanfaat untuk memperlihatkan jalannya proses rekristalisasi, secara teknis kurang bermanfaat. Tujuan anil adalah untuk menuntaskan proses rekristalisasi. Pertumbuhan butir ditekan untuk mencapai kekuatan optimal, keuletan juga meningkat bila butir tetap halus.

4.3 Diagram Fase Fe-C

Sifat mekanik bahan salah satunya ditentukan oleh struktur mikro. Untuk mengetahui struktur mikro, perlu mengetahui fasa diagram. Diagram fasa digunakan untuk peleburan, pengecoran, kristalisasi dan lain-lain. Komponen adalah logam murni dan/atau senyawa penyusun paduan

Sebagai contoh adalah Kuningan, Cu sebagai unsur pelarut dan Zn sebagai unsur yang dilarutkan. Batas kelarutan merupakan konsentrasi atom maksimum yang dapat dilarutkan oleh pelarut utk membentuk larutan padat (solid solution). Informasi penting yang dapat diperoleh dari diagram fasa adalah:

1. Memperlihatkan fasa-fasa yang terjadi pada perbedaan komposisi dan temperatur dibawah kondisi pendinginan yang sangat lambat.
2. Mengindikasikan kesetimbangan kelarutan padat satu unsur atau senyawa pada unsur lain.
3. Mengindikasikan pengaruh temperatur dimana suatu paduan dibawah kondisi kesetimbangan mulai membeku dan pada rentang temperatur tertentu pembekuan terjadi.
4. Mengindikasikan temperatur dimana perbedaan fasa-fasa mulai mencair.

Diagram fasa Fe-C menampilkan hubungan antara temperatur dan kandungan karbon (%C) selama pemanasan lambat. Dari diagram fasa tersebut dapat diperoleh informasi-informasi penting yaitu antara lain:

- Fasa yang terjadi pada komposisi dan temperatur yang berbeda dengan kondisi pendinginan lambat.

- Temperatur pembekuan dan daerah-daerah pembekuan paduan Fe-C bila dilakukan pendinginan lambat.
- Temperatur cair dari masing-masing paduan.
- Batas-batas kelarutan atau batas kesetimbangan dari unsur karbon pada fasa tertentu.
- Reaksi-reaksi metalurgis yang terjadi, yaitu reaksi eutektik, peritektik dan eutektoid.

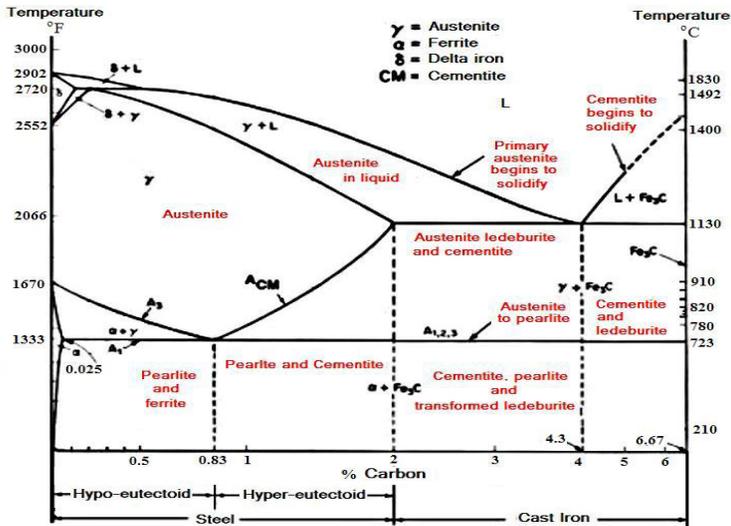
Klasifikasi Diagram Fasa

- Larut sempurna dalam keadaan cair dan padat.
- Larut sempurna dalam keadaan cair, tidak larut dalam keadaan padat (reaksi eutektik).
- Larut sempurna dalam keadaan cair, larut sebagian dalam keadaan padat (reaksi eutektik).
- Larut sempurna dalam keadaan cair, larut sebagian dalam keadaan padat (reaksi peritektik).
- Larut sempurna dalam keadaan cair, tidak larut dalam keadaan padat dan membentuk senyawa.
- Larut sebagian dalam keadaan cair (reaksi monotektik).
- Tidak larut dalam keadaan cair maupun padat.

4.4 Latihan Soal

1. Apa yang dimaksud dengan: deformasi elastis, deformasi plastis dan rekristalisasi?
2. Gambarkan kurva tegangan regangan suatu material?
3. Jelaskan fenomena yang terjadi ketika butir mengalami anealing?
4. Apa yang mempengaruhi proses rekristalisasi?
5. Apakah yang informasi yang diperoleh dari Diagram Fase?





Gambar 4.4. Diagram fasa Fe-C

Besi murni tidak dapat dipakai karena lemah. Oleh karena itu harus ditambah Carbon untuk mendapatkan kekerasan. Untuk mengatasi ini, maka besi harus ditambah unsur-unsur tertentu, misalnya Chrom dan Nikel.

Fase padat terdiri dari:

- Fase α (ferrite)

Terdapat pada suhu kamar sampai 1670 °F (untuk komposisi 0% C). Struktur sel satuannya BCC, maka ruangan antara atom-atom Fe kecil, sehingga hanya dapat memuat atom C sebanyak 0,025% pada suhu 1333 °F . Bersifat lunak dan liat, $\tau_K = 3700 \text{ kg/cm}^2$. Bersifat ferromagnetik pada suhu dibawah 1414 °F .

- Fase γ (austenite)

Terdapat pada suhu 1333 sampai 2700 °F. Struktur sel satuan FCC sehingga ada rongga cukup besar antara atom-atom Fe, maka dapat memuat atom C sebanyak 2% pada suhu 2065 °F . Pada

suhu stabil bersifat lunak dan liat, oleh karenanya proses gilas dan tempa dijalankan pada suhu stabil γ (yaitu + 2000 °F). Tidak bersifat magnet.

- Fase δ (δ ferrite)

Terdapat pada suhu 2550 sampai 2800 °F. Struktur sel satuannya adalah BCC (hampir sama dengan besi α , sehingga dinamakan δ ferrite).

Dapat memuat atom Carbon 0,1% pada suhu 2700 °F .

- Fase Cm (cementite)

Susunan kimianya Fe_3C , struktur sel satuan terdiri dari 4 atom C dan 12 atom Fe dan mengikuti sel satuan Orthorombic. Dibanding austenite dan ferrite, ini yang paling keras. Tidak dapat menyesuaikan tegangan dengan baik.

Mengandung banyak atom Carbon, yaitu 6,67%

- Fase α +Cm (pearlite)

Reaksi eutectoid pada diagram fase Fe-C menghasilkan ferrite dan carbide (dari austenite). Fase ini disebut pearlite ini terdoro dari 12% carbide dan 88% Fearlite.

Struktur ini penting diketahui sebab pada proses lain, mungkin terbentuk juga ferrite dan cementite tetapi strukturnya tidak berlapis-lapis. Pembentukan pearlite dimulai dari batas butir, dengan atom Carbon mendifusi dari daerah terbentuknya ferrite ke daerah terbentuknya carbide.

Perubahan struktur sel satuan oleh pengaruh suhu adalah sebagai berikut:

- suatu fase akan stabil bila free energynya berada dalam harga minimum
- Pada suhu antara suhu 0 sampai 1670 °F fase yang ada berstruktur sel satuan BCC.

- Antara suhu 1670 sampai 2550 °F, fase yang ada adalah berstruktur sel satuan FCC.
- Antara suhu 2550 sampai 2800 °F, fase yang ada berstruktur BCC. Sedang di atas suhu 2800 °F fase yang ada cairan.

Pada penurunan suhu dan sebaliknya terjadi perubahan fase sebagai berikut:

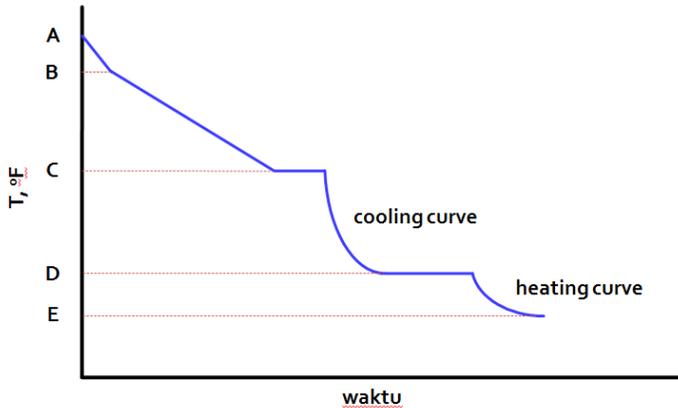
- Dari suhu TA ke TB, fase yang ada cair
- Pada TB mulai terjadi pembekuan, dimana fase padat berkomposisi pada titik B'
- Dari TB ke TC, fase yang ada γ +cair.
- Pada suhu tetap TC, maka fase cair yang berkomposisi 4,3% terurai menjadi γ (2%) dan Cm (6,67%). Titik E disebut titik eutectic, pada titik ini terjadi:

fase cair \leftrightarrow fase padat 1 + fase padat 2

- Pada suhu TC ke TD terdapat fase γ +Cm. Pada penurunan suhu, komposisi fase padat bergerak dari 2% menjadi 0,8%.
- Pada suhu tetap TD fase γ (komposisi 0,8%) terurai menjadi fase α (0,025% C) dan Cm (6,67% C). Titik B2 dinamakan eutectoid, dimana:

fase padat \leftrightarrow fase padat 2 + fase padat 3

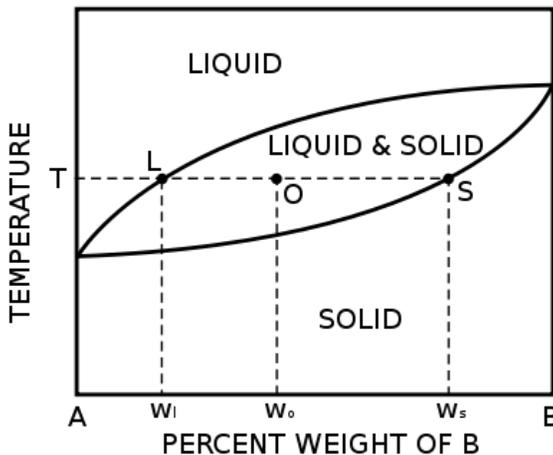
- baik pada suhu TC maupun TD suhu tidak dapat diturunkan sebelum perubahan fase selesai.
- Pada suhu TD - TE terdapat fase α dan Cm



Gambar 4.5. Pengaruh Suhu Terhadap Perubahan Struktur Sel Satuan

The Lever Arm Rules/Aturan Kaidah Lengan

- Untuk menghitung persentase fasa-fasa yang ada pada komposisi tertentu, digunakan metoda kaidah lengan.
- x adalah komposisi paduan yang akan dihitung persentase fasa-fasanya pada temperatur T , maka tarik garis yang memotong batas kelututannya (garis L-S).
- Jika $x = w_o$; $L = w_l$ dan $S = w_s$ maka % fasa cair dan padat dan



Gambar 4.6. Aturan Kaidah Lengan

BAB 5

Pengerjaan pada Logam

Capaian Pembelajaran

Mahasiswa mengetahui dan memahami tentang pengerjaan-pengerjaan pada logam dan paduannya.

Pengerjaan pada logam mempunyai tujuan untuk meningkatkan keuletan, menghilangkan tegangan internal (internal stress), menghaluskan ukuran butir kristal dan meningkatkan kekerasan atau tegangan tarik logam. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perlakuan panas, yaitu suhu pemanasan, waktu yang diperlukan pada suhu pemanasan, laju pendinginan dan lingkungan atmosfer. Perlakuan panas adalah kombinasi anatara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan.

5.1 Quenching

Proses quenching atau pengerasan baja adalah suatu proses pemanasan logam sehingga mencapai batas austenit yang homogen. Untuk mendapatkan kehomogenan ini maka austenit perlu waktu pemanasan yang cukup. Selanjutnya secara cepat baja tersebut dicelupkan ke dalam media pendingin, tergantung pada kecepatan pendingin yang diinginkan untuk mencapai kekerasan baja.

Pada waktu pendinginan yang cepat pada fase austenit tidak sempat berubah menjadi ferit atau perlit karena tidak ada kesempatan bagi atom-atom karbon yang telah larut dalam austenit untuk mengadakan pergerakan difusi dan bentuk sementit oleh karena itu terjadi fase mertensit, ini berupa fase yang sangat keras dan bergantung pada keadaan karbon.

Martensit adalah fasa metastabil terbentuk dengan laju pendinginan cepat, semua unsur paduan masih larut dalam keadaan padat. Pemanasan harus dilakukan secara bertahap (preheating) dan perlahan-lahan untuk memperkecil deformasi ataupun resiko retak. Setelah temperatur pengerasan (austenitizing) tercapai, ditahan dalam selang waktu tertentu (holding time) kemudian didinginkan cepat.

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan melalui proses tempering. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun, sedang keuletan dan ketangguhan akan meningkat. Pada saat tempering proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit berarti keuletan (ductility) dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik, dan kekerasan menurun. Sifat-sifat mekanik baja yang telah dicelup, dan di-temper dapat diubah dengan cara mengubah temperatur tempering.

5.2 Age Hardening

Penguatan dan pengerasan logam paduan bisa ditingkatkan dengan pembentukan penyebaran partikel-partikel dari fasa kedua kedalam matrik fasa yang asli/pertama. Hal ini dilakukan dengan perlakuan panas yang tepat. Prosesnya disebut precipitation hardening karena partikel-partikel kecil dari fasa yang baru membentuk precipitasi/endapan/menggumpal. Kadang-kadang disebut "age hardening" (pengerasan penuaan) karena proses penguatan terjadi karena proses waktu. Contoh-contoh logam yang diperkeras dengan pengerasan precipitasi adalah: aluminium-tembaga, tembaga-beryllium, tembaga-timah dan magnesium-aluminium, dan lain-lain.

Perlakuan Quenching diikuti dengan Age Hardening, menghasilkan bahan yang kuat tariknya tinggi sekali. Peristiwa ini dimanfaatkan pada pembuatan paku dari logam Aluminium.

Aluminium itu lunak, sehingga paku ini mudah dipasang dan fit (pas), tetapi tidak kuat (lunak), sehingga merugikan. Maka dipakai dari Alloy Aluminium dengan Cu. Mula-mula dilakukan solution treating, menjadi 1 phase, dilakukan dalam tanur/dapur tinggi. Kemudian dibuat paku, lalu di quench menjadi larutan padat jenuh. Paku dapat dipasang dan terjadi pengerasan (setelah dipasang). Pengerasan terjadi dalam suhu kamar. Oleh karena itu lama, sehingga dinamakan Age Hardening. Bila tidak segera dipasang setelah dilakukan proses quenching paku disimpan dalam lemari es, supaya tidak terjadi pengerasan.

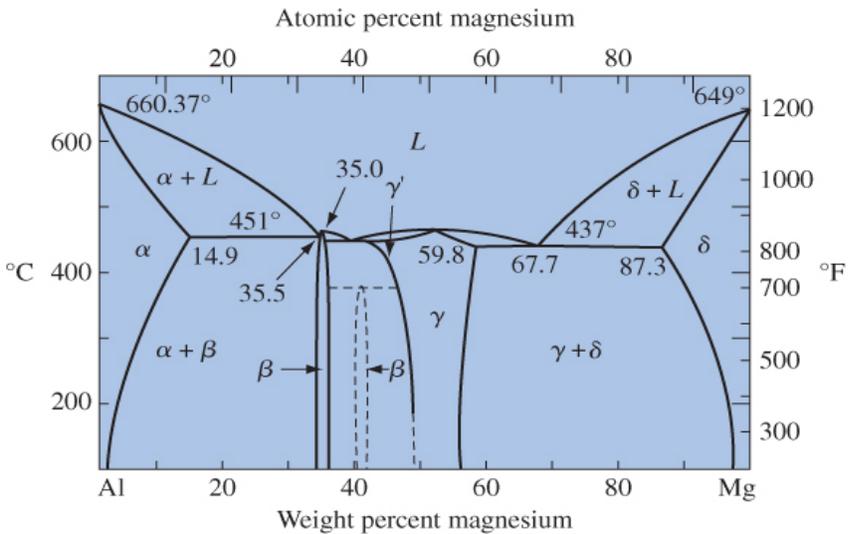


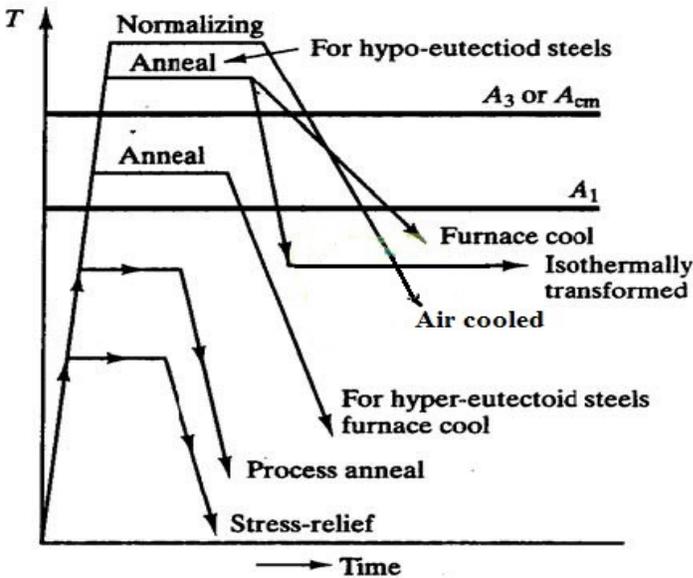
Figure 12-10 The aluminum-magnesium phase diagram.

Gambar 5.1. Diagram Fase Magnesium-Aluminium

5.3 Stress Relieving

Besi/baja akan mengalami tegangan dalam akibat dari pemanasan atau pendinginan yang tidak kontinue akibat dari tuang, las maupun tempa, atau karena pengepresan, tekuk, tekan, maupun juga karena proses potong. Karena jika tegangan dalam ini tidak dihilangkan akan mengganggu proses selanjutnya misalnya rentan terjadinya keretakan maupun penyusutan pada proses pemanasan lanjutan. Prinsip dari pemanasan ini adalah memanaskan besi/baja sampai temperatur

di bawah titik ubah A1 (pada diagram FEC) kemudian didinginkan perlahan-lahan. Untuk pemanasan Stress Relieving pada baja idealnya 550 °C sampai 650 °C yang dipertahankan selama 3 jam atau sesuai dengan tebal dari baja. Jika proses pendinginan terlalu cepat malahan akan timbul tegangan baru, semuanya itu dapat dicegah dengan cara pendinginan dalam dapur / oven sampai suhu 400 °C dan jika dapur/ oven tidak ada pelindung oksidasi (dengan gas Nitrogen) maka baja yang dipanaskan harus dibungkus/ dikubur dengan tatal dari besi tuang supaya tidak terjadi oksidasi karena pertemuan dengan gas oksigen.



TIME & TEMPERATURE OF VARIOUS HEAT TREATMENT PROCESS

Gambar 5.2. Hubungan Suhu dan Waktu pada Proses Pengerjaan Logam

5.4 Normalizing

Proses normalizing bertujuan untuk memperbaiki dan menghilangkan struktur butiran kasar dan ketidakseragaman struktur dalam baja menjadi berstruktur yang normal kembali yang otomatis mengembalikan

keuletan baja lagi. Struktur butiran kasar terbentuk karena waktu pemanasan dengan temperatur tinggi atau di daerah austenit yang menyebabkan baja berstruktur butiran kasar. Sedangkan penyebab dari ketidakseragaman struktur karena :

- pengerjaan rol atau tempa
- pengerjaan las atau potong las
- temperatur pengerasan yang terlalu tinggi
- menahan terlalu lama di daerah austenit
- Pengepresan, penglubangan dengan punch, penarikan

Pada proses normalizing ini baja di panaskan secara pelan-pelan sampai suhu 20 °C sampai 30 °C diatas suhu pengerasan, ditahan sebentar lalu didinginkan dengan perlahan dan kontinu. Proses normalizing ini dilakukan juga sebelum dilakukan proses Soft aneling.

5.5 Soft Aneling

Proses soft aneling bertujuan untuk melunakkan besi atau baja sehingga dapat dengan mudah dilakukan proses permesinan dan dapat dengan mudah dilakukan pengerasan lagi dengan resiko keretakan yang kecil.

Proses soft aneling ini dapat dilakukan dengan 2 cara :

- Benda kerja dipanaskan secara merata sampai suhu tertentu dan ditahan sebentar supaya suhu pada inti benda kerja sama dengan suhu pada permukaan benda kerja, lalu didinginkan di oven agar pendinginan dapat berlangsung secara teratur.
- Benda kerja dipanaskan dibawah titik ubah atau hampir menyentuh titik ubah lalu ditahan dengan waktu yang lama 2 sampai 20 jam, baru didinginkan secara teratur. Tidak seperti cara pertama, pada cara kedua ini kecepatan pendinginan disini tidak mempunyai pengaruh apapun.

5.6 Full Hardening

Untuk memenuhi tuntutan fungsi seperti harus keras, tahan gesekan atau beban kerja yang berat, maka baja harus dikeraskan melalui proses pengerasan. Prinsip dari full hardening adalah memanaskan baja sampai titik temperatur austenit kemudian didinginkan secara memdadak / quenching dengan kecepatan pendinginan diatas kecepatan pendinginan kritis agar terjadi pembentukan martensit dan diperoleh kekerasan yang tinggi. Besarnya Temperatur pemanasan austenit tergantung dari jenis baja, dan biasanya tiap-tiap produsen sudah mengeluarkan diagram suhunya masing-masing. Untuk mencapai suhu austenit ± 900 °C harus dilakukan pemanasan bertahap. Beberapa penyebab kegagalan proses Hardening antara lain:

- Suhu pengerasan terlalu rendah sehingga suhu belum mencapai pada temperature austenit sehingga kekerasan tidak tercapai seperti yang diharapkan.
- Pemanasan terlalu cepat sehingga temperatur inti dari benda kerja belum sama dengan temperatur kulit luar pada baja.
- Tidak adanya proses pemanasan bertahap dan tidak adanya waktu penahanan pada proses pemanasan sehingga pada waktu di quenching benda kerja akan mengalami retak.
- Timbulnya nyala api yang mengakibatkan terlepasnya karbon pada permukaan benda kerja, sehingga permukaan benda kerja kurang keras.
- Kesalahan pemilihan media quenching, misalnya baja keras ilo di quenching dengan air.

5.7 Tempering

Setelah proses hardening biasanya baja akan sangat keras dan bersifat rapuh, untuk itu perlu proses lanjutan yaitu proses tempering. Tempering ini bertujuan untuk :

- Mengurangi kekerasan
- Mengurangi tegangan dalam
- Memperbaiki susunan struktur Baja

Prinsip dari tempering adalah baja dikeraskan sampai suhu dibawah austenite dan ditahan selama 1 jam/ 25 mm tebal baja, lalu didinginkan di udara dan pada suhu 300-400 °C dapat di quenching dengan media oli atau dapat juga didinginkan di udara. Secara kimia selama tempering yang terjadi adalah atom C yang setelah proses hardening terperangkap pada jaringan besi Alfa dan pada proses pemanasan tempering atom C mendapat kesempatan untuk melakukan diffuse yaitu pemerataan kadar C tanpa adanya halangan dan kembali menjadi Zementit. Proses ini berlangsung terus sehingga diperoleh struktur ferrite yang bercampur dengan zementit, dan diperoleh struktur yang ulet.

5.8 Spheroidizing

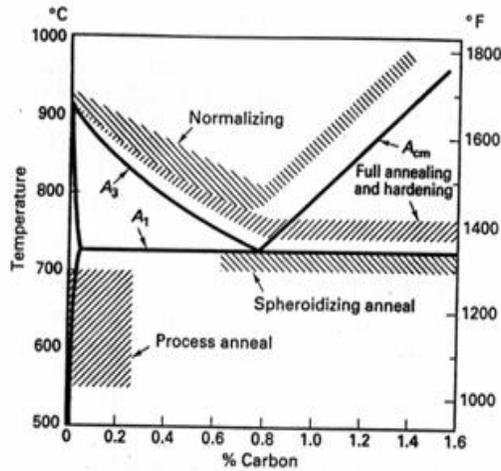
Spheroidizing merupakan proses perlakuan panas untuk menghasilkan struktur carbida berbentuk bulat (spheroid) pada matriks ferrite. Tujuan dari Spheroidizing menambah keliatan yang sebesar-besarnya dari logam atau logam dari 2 phase. Pada proses Spheroidizing ini akan memperbaiki machinibility pada baja paduan kadar Carbon tinggi. Caranya paduan logam dipanasi sampai suhu di bawah suhu eutectoid dalam waktu relatif lama (12-15 jam). Bila dimulai dari tempered martensite hanya membutuhkan waktu 2 jam. Di sini terjadi pengelompokan carbide di dalam pearlite. Proses ini berlaku untuk baja dengan kandungan C banyak.

Secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut : bahwa baja hypereutectoid yang dianneal itu mempunyai struktur yang terdiri dari pearlite yang "terbungkus" oleh jaringan cemented. Adanya jaringan cemented (cemented network) ini meyebabkan baja (hypereutectoid) ini mempunyai machinibility rendah. Untuk memperbaikinya maka cemented network tersebut harus dihancurkan dengan proses spheroidizing.

Spheroidizing ini dilaksanakan dengan melakukan pemanasan sampai di sekitar suhu kritis atau sedikit dibawahnya dan dibiarkan pada suhu tersebut dalam waktu yang lama (sekitar 24 jam) baru kemudian didinginkan. Karena berada pada temperature yang tinggi dalam waktu yang lama maka cemented yang tadinya berbentuk plat atau lempengan itu akan hancur menjadi bola-bola kecil (sphere) yang disebut dengan spheroidite yang tersebar dalam matriks ferrite.

5.9 Martempering

Pada proses ini baja dipanaskan hingga temperatur austenit kemudian didinginkan secara mendadak / di quenching pada bak yang berisi air garam yang panas yaitu pada temperatur Martensit (210-220 °C) dan ditahan dalam bak sedemikian lama hingga permukaan maupun inti baja memiliki suhu sama yaitu suhu martensit, lalu diangkat dan didinginkan di udara, baru setelah mencapai suhu kamar baru dilakukan tempering. Perubahan bagian dari inti baja dari austenit menjadi martensit selalu disertai dengan perubahan volume ditambah pula perbedaan suhu antara kulit dan inti dari baja yang di quenching (kulit lebih cepat menjadi martensit) menyebabkan terjadinya tegangan maupun deformasi, pada pemanasan bertahap ini (martempering) kemungkinan diatas dapat diperkecil karena perubahan dari austenit ke martensit berlangsung serentak. Kekerasan yang dihasilkan pada proses martempering ini sedikit lebih rendah dari pada proses hardening dengan oli karena waktu tahan pada martempering berjalan lama sehingga strukturnya sedikit terbentuk struktur bainit. Pengerasan dalam bak panas ini hanya cocok untuk jenis baja yang proses perubahannya lambat.



Gambar 5 Diagram Hubungan Temp.Vs Carbon perlakuan panas Baja [4].

Gambar 5.3. Hubungan suhu dengan Fase Karbon pada Pengerjaan Logam

5.10 Latihan Soal

1. Sebutkan beberapa hal yang menyebabkan kegagalan proses Hardening!
2. Bagaimanalah metode Soft Annealing?
3. Jelaskan mengenai proses Spheroidizing?
4. Apakah tujuan dari Tempering?
5. Gambarkan hubungan suhu dengan fase karbon pada pengerjaan logam!

BAB 6

Jenis-jenis Bahan

Capaian Pembelajaran

Mahasiswa mengetahui dan memahami tentang jenis-jenis bahan teknik.

6.1 Bahan Logam

6.1.1 Baja

Baja atau disebut besi hitam biasanya digunakan sebagai komponen utama pada mesin, rangka mobil, kapal, kereta, perkakas, senjata, dan sebagai rangka bangunan. Baja sebenarnya merupakan logam paduan (alloy) antara logam besi (Fe) sebagai bahan utama dengan karbon (C) sekitar 0,2% hingga 2,1%. Selain karbon dalam baja juga terkandung mangan (Mn), fosfor (P), sulfur (S), silikon (Si), dan sebagian kecil oksigen (O), nitrogen (N), dan aluminium (Al). Peningkatan kualitas baja biasanya dilakukan dengan penambahan nikel (Ni), krom (Cr), molybdenum (Mo), boron (B), titanium (Ti), vanadium (V), dan niobium (Nb). Fungsi unsur karbon dalam baja adalah sebagai bahan penguat dan meningkatkan kekuatan tariknya sehingga dapat mencegah pergeseran atom-atom dalam logam baja. Hal ini disebabkan karena karbon dapat mengisi ruang kosong antar atom besi pada ikatan logam sehingga lebih rapat dan keras. Berdasarkan komposisi dalam prakteknya baja terdiri dari beberapa macam yaitu: Baja Karbon (Carbon Steel), dan Baja Paduan (Alloy Steel)

Berdasarkan tinggi rendahnya presentase karbon di dalam baja, baja karbon diklasifikasikan sebagai berikut:

- Baja Karbon Rendah (Low Carbon Steel)

mengandung karbon antara 0,10 s/d 0,30 %. Baja karbon ini dalam perdagangan dibuat dalam plat baja, baja strip dan baja batangan atau profil.

- Baja Karbon Menengah (Medium Carbon Steel)

mengandung karbon antara 0,30% - 0,60% C. Baja karbon menengah ini banyak digunakan untuk keperluan alat-alat perkakas bagian mesin juga dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti untuk keperluan industri kendaraan, roda gigi, pegas dan sebagainya.

- Baja Karbon Tinggi (High Carbon Steel)
- mengandung kadar karbon antara 0,60% - 1,7% C. Baja ini mempunyai tegangan tarik paling tinggi dan banyak digunakan untuk material tools. Salah satu aplikasi dari baja ini adalah dalam pembuatan kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja maka baja karbon ini banyak digunakan dalam pembuatan pegas, alat-alat perkakas seperti: palu, gergaji atau pahat potong.

Guna mencegah korosi, biasanya baja ditambahkan kromium (Cr) minimal 11% dari total bahan. Penambahan kromium (Cr) akan membentuk lapisan yang keras pada permukaan baja dan dikenal dengan stainless steel (baja tahan karat). Stainless steel ini banyak digunakan sebagai bahan dalam pembuatan alat-alat dapur seperti kompor maupun sebagai bahan dalam pembuatan pagar.

6.1.2 Baja Ringan (Galvanum)

Galvanum merupakan logam baja tipis yang dilapisi oleh campuran logam yang terdiri atas aluminium (Al) sebanyak 55%, seng (Zn) sebanyak 43%, dan silikon (Si) sebanyak 1,6%. Jika dibandingkan dengan kayu sebagai atap rumah material galvanum lebih ramah lingkungan, anti karat, dan memiliki ketahanan sangat tinggi.

6.1.3 Perunggu

Perunggu merupakan logam campuran yang mengandung tembaga (Cu) sebagai komponen utamanya dengan jenis logam lain seperti timah (Sn). Selain dengan timah logam lain yang dapat dicampurkan yaitu mangan (Mn), aluminium (Al), fosfor (P), atau silikon (Si). Pada umumnya, dalam perunggu terkandung tembaga sebesar 88% sedangkan 12% adalah timah. Titik lebur dari perunggu beragam, tergantung dengan perbandingan komponen penyusunnya. Umumnya perunggu memiliki titik lebur 950 C. Perunggu juga tidak dapat ditarik magnet. Tetapi, jika dalam pembuatannya diberi unsur besi atau nikel maka juga dapat ditarik magnet.

Perunggu ini lebih kuat dari pada logam tembaga dan digunakan secara luas dalam industri. Perunggu juga tahan terhadap korosi akibat air laut, sehingga perunggu banyak digunakan sebagai kincir kapal dan bagian lain dari kapal yang berhubungan dengan air laut. Selain itu perunggu juga banyak digunakan pembuatan prasasti, alat musik gong dan alat gamelan, serta digunakan untuk membuat medali.

6.1.4 Kuningan

Kuningan merupakan logam paduan antara tembaga (Cu) dan seng (Zn). Perbandingan antara tembaga dan seng beragam, tergantung dengan karakteristik kuningan yang ingin dihasilkan. Namun, umumnya kadar tembaga antara 60-90% dari massa total. Kuningan banyak digunakan sebagai dekorasi karena memiliki warna yang cerah seperti emas. Selain itu kuningan juga banyak digunakan sebagai bahan dalam membuat alat-alat rumah tangga dan alat musik seperti terompet dan snar drum.

6.2 Bahan Serat

Istilah serat sering dikaitkan dengan sayur-sayuran, buah-buahan, dan tekstil. Sayuran dan buah-buahan merupakan makanan berserat tinggi yang sangat baik bagi sistem pencernaan makanan. Serat juga digunakan sebagai bahan baku tekstil (bahan pembuat pakaian). Bila kain perca disobek-sobek, maka 'anyaman' kain jadi rusak dan akan

mendapatkan bentukan seperti benang yang disebut serat. Secara kimiawi serat adalah suatu polimer.

Berdasarkan asal bahan penyusunnya serat dikelompokkan menjadi serat alami (polimer alami) dan serat sintesis (polimer sintesis). Bahan serat alami diperoleh dari tumbuhan, hewan, dan mineral. Serat tumbuhan diperoleh dari selulosa tumbuhan, misalnya dari kapas, kapuk, dan rami. Contoh tekstil dari selulosa adalah katun dan linen. Serat hewan berupa serat protein dapat diperoleh dari rambut domba, benang jala yang dihasilkan oleh laba-laba, dan kepompong ulat sutera. Contoh tekstil dari serat protein yaitu wol dan sutera. Serat mineral, umumnya dibuat dari mineral asbetos. Serat sintesis merupakan serat yang dibuat oleh manusia, bahan dasarnya tidak tersedia secara langsung dari alam. Contoh kain yang terbuat dari serat sintesis adalah rayon, polyester, dakron dan nilon.

Pemanfaatan tekstil dari berbagai macam serat didasarkan pada ciri-ciri seratnya antara lain kehalusan, kekuatan, daya serap, dan kemuluran atau elastisitas. Salah satu cara untuk menentukan ciri dari bahan serat dapat dilakukan dengan analisis pembakaran. Bahan tekstil dari selulosa (kapas) memiliki karakteristik: bahan terasa dingin dan sedikit kaku, mudah kusut, mudah menyerap keringat, rentan terhadap jamur. Serat kapas mudah terbakar, kalau terbakar nyalanya berjalan terus, berbau seperti kertas, dan meninggalkan abu berwarna kelabu. Serat linen dibandingkan dengan katun mempunyai ciri lebih halus, lebih kuat, berkilau lembut, kurang elastis, mudah kusut, tidak tahan seterika panas. Serat linen mudah terbakar, bila terbakar nyalanya berjalan terus, berbau seperti kertas terbakar, dan meninggalkan abu berwarna kelabu.

Serat sutera mempunyai ciri-ciri berkilau, sangat bagus dan lembut, tidak mudah kusut, sangat halus, kekuatannya tinggi, dan kurang tahan terhadap sinar matahari. Mempunyai daya serap cukup tinggi, tidak mudah berjamur, sukar terbakar, cepat padam, berbau seperti rambut terbakar, bekas pembakaran berbentuk abu hitam, bulat, dan mudah dihancurkan.

Serat wool, mempunyai ciri agak kuat, tidak berkilau, keriting, kekenyalan

tinggi, elastisitas tinggi, dan merupakan penahan panas yang baik, tahan terhadap jamur dan bakteri. Pada pembakaran terbentuk gumpalan hitam dan berbau rambut terbakar.

Serat asbes umumnya mempunyai kekuatan tarik yang tinggi, daya Mulurnya sangat rendah, hanya sedikit menyerap air, sangat tahan panas dan api, dan tahan cuaca. Serat asbes merupakan penghantar listrik dan panas yang jelek, sehingga mineral asbes banyak dimanfaatkan untuk pelapis kabel listrik, sarung tangan, dan tirai.

Serat nilon mempunyai ciri sangat kuat, ringan dan berkilau, elastisitas sangat kuat, tidak mudah kusut, tahan terhadap serangan jamur dan bakteri. Nilon tidak tahan panas, mudah terbakar, meleleh bila dibakar, berbau khas, serta meninggalkan bentuk pinggiran keras yang berwarna cokelat.

Serat polyester mempunyai ciri elastisitasnya tinggi sehingga tidak mudah kusut, tahan terhadap sinar matahari, tahan suhu tinggi, daya serap air yang rendah, tahan terhadap jamur, bakteri, dan serangga. Apabila dibakar polyester mudah terbakar, tetapi apinya cepat padam, meninggalkan tepi yang keras dan berwarna cokelat muda.

Penggunaan bahan-bahan alami dan sintetis dapat dicampurkan untuk memperbaiki kualitas bahan. Contoh tekstil dari bahan serat campuran adalah TC (Tetoron Cotton) campuran dari polyester dan katun, dan TR (Tetoron Rayon) campuran dari polyester dan rayon. Ciri dari tekstil ini kurang dapat menyerap keringat dan agak panas di badan, tidak susut dan mengembang, apabila dibakar akan menghasilkan abu dan arang.

6.3 Bahan Karet

Disebut pohon karet karena tanaman ini menghasilkan karet. Menurut sejarahnya pohon karet berasal dari lembah Amazon Brasilia dengan nama ilmiah *Hevea brasiliensis*. Pohon karet baru masuk ke Asia pada tahun 1876 M, setelah Inggris menyelundupkan biji karet dari Brasilia untuk dikembangkan di Taman Botani Inggris dan negara-negara jajahannya termasuk Malaysia. Karet dihasilkan oleh pohon karet berupa

getah seperti susu yang disebut lateks. Lateks diperoleh dengan cara menyadap, yaitu dengan menyayat kulit pohon atau pada bagian kortek tumbuhan.

Secara kimiawi karet alam adalah senyawa hidrokarbon yang merupakan polimer alam hasil penggumpalan lateks alam dan merupakan makromolekul poliisoprena. Karet alam memiliki banyak sifat unggul. Karet alam memiliki daya elastis atau daya lenting yang baik, plastisitas yang baik, mudah pengolahannya, tidak mudah aus (tidak mudah habis karena gesekan), dan tidak mudah panas. Sifat unggul lain dari karet alami adalah memiliki daya tahan yang tinggi terhadap keretakan, tahan hentakan yang berulang-ulang, serta daya lengket yang tinggi terhadap berbagai bahan. Dalam bidang industri, karet alam memiliki peran yang sangat besar. Contohnya adalah ban pesawat terbang dan ban mobil balap dibuat dari bahan baku utama karet alam murni.

Karet sintetis terbuat dari bahan baku yang berasal dari minyak bumi, batu bara, minyak, gas alam, dan acetylene. Banyak dari karet sintetis adalah kopolimer, yaitu polimer yang terdiri dari lebih dari satu jenis monomer. Karet sintetis dapat diubah susunannya sehingga diperoleh sifat yang sesuai dengan kegunaannya. Karet sintetis dapat digunakan untuk berbagai keperluan, bahkan dapat menggantikan fungsi karet alam. Karet sintetis mempunyai beberapa keunggulan dibanding karet alam yaitu tahan terhadap suhu tinggi/panas, minyak, pengaruh udara, dan kedap gas. Karet sintetis memiliki banyak jenis. Berikut beberapa jenis karet sintetis dengan sifat dan kegunaannya.

- NBR (Nitrile Butadiene Rubber). NBR memiliki ketahanan yang tinggi terhadap minyak, digunakan dalam pembuatan pipa karet untuk bensin dan minyak, membran, seal, gaskot, serta peralatan lain yang banyak dipakai dalam kendaraan bermotor.
- CR (Chloroprene Rubber), CR dengan ciri tahan terhadap nyala api, digunakan sebagai bahan pipa karet, pembungkus kabel, seal, gaskot, dan sabuk pengangkut.
- IIR (Isobutene Isoprene Rubber), IRR mempunyai sifat kedap air, digunakan untuk bahan ban bermotor, pembalut kawat listrik,

pelapis bagian dalam tangki, tempat penyimpanan lemak dan minyak.

6.4 Bahan Tanah Liat dan Keramik

Tanah liat merupakan bahan dasar yang dipakai dalam pembuatan keramik. Secara kimiawi tanah liat termasuk hidrosilikat alumina. Sifat fisik tanah liat yaitu plastis bila keadaan basah, keras bila kering, dan bila dibakar menjadi padat dan kuat.

Secara umum barang-barang yang dibuat dari tanah liat dinamakan keramik. Namun, saat ini tidak semua keramik berasal dari tanah liat. Keramik dibedakan menjadi dua kelompok yaitu keramik tradisional yang bahan bakunya dari tanah liat dan keramik halus atau keramik teknik yang bahan bakunya dari oksida-oksida logam atau logam, seperti: oksida logam. Keramik halus ini penggunaannya sebagai elemen pemanas, semikonduktor, komponen turbin, dan pada bidang medis.

Berdasarkan komposisi tanah liat dan suhu pembakarannya, keramik tradisional dibedakan menjadi tembikar (terakota), gerabah (earthenware), keramik batu (stoneware), dan porselen (porcelain).

Terakota atau tembikar adalah produk yang bahan bakunya dari tanah liat dengan

pembakaran sekitar 1000 °C. Gerabah adalah produk yang bahan bakunya dari tanah liat dengan pembakaran 1200 °C. Bahan baku keramik batu adalah tanah liat dengan campuran bahan lain diantaranya kuarsa dan air, dibakar sampai suhu 1200-2000 °C. Porselin dibuat dari bahan yang mirip dengan keramik tetapi baru mulai matang pada pembakaran 1500 °C.

Berikut beberapa contoh produk yang terbuat dari bahan baku tanah liat, yaitu:

- Batu bata merah, genting, lubang angin-angin hiasan genting, merupakan jenis produk terakota atau tembikar.

- Kendi, gentong, cobek, tutup pengukus, pot bunga, dan celengan dari tanah liat merupakan jenis produk gerabah.
- Mangkuk sayur, piring, cangkir, tatakan, dan teko merupakan produk jenis keramik.
- Tegel, perlengkapan saniter (bak pencuci, bak mandi), dan isolator listrik merupakan produk jenis porselin.

Kualitas terakota, gerabah, dan keramik lebih rendah dari porselin. Secara kasat mata sulit membedakan kualitas produk tanah liat dari tembikar sampai porselin, karena yang membedakan adalah komposisi kandungan mineral dari bahan dan tingkat pembakarannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk membedakan tingkat pembakarannya adalah mengetahui perbedaan suara dari suatu keramik yang telah dibakar. Makin nyaring suara suatu keramik disentuh atau dipukul, maka makin tinggi juga suhu pembakarannya.

Tanah liat menjadi bahan utama dari produk gerabah. Selain produk gerabah, tanah liat juga dapat dibuat menjadi bahan pembuat keramik. Saat ini keramik dapat dibuat dengan bahan tanah liat yang sudah dalam bentuk kemasan siap pakai, dikenal dengan Ready mix.

6.5 Bahan Gelas

Gelas atau kaca yang digunakan sehari-hari sudah digunakan oleh masyarakat prasejarah sejak zaman paleolitikum (zaman batu). Sejarah pembuatan kaca memang masih diperdebatkan, namun penggunaan kaca alami yang disebut obsidian tidak diragukan lagi.

Obsidian adalah produk sampingan alami dari letusan gunung berapi berupa benda yang tajam, mengkilap dengan warna hitam, orange, abu-abu, atau hijau. Obsidian merupakan benda yang sangat berharga bagi masyarakat prasejarah dan digunakan untuk membuat alat-alat dari batu. Menurut catatan sejarah, kaca sudah diproduksi sejak tahun 4 SM (Sebelum Masehi) yaitu dengan bahan pasir kuarsit yang dipanaskan sampai meleleh kemudian dibiarkan dingin, dan terbentuklah benda keras yang tembus pandang.

Gelas merupakan benda padat, dan strukturnya berbeda dengan keramik. Gelas merupakan

senyawa kimia dengan susunan yang kompleks, diperoleh dengan pembekuan lelehan melalui

pendinginan. Bahan baku pembuatan kaca ada dua kelompok yaitu (1) bahan yang dibutuhkan dalam jumlah besar meliputi pasir silika, soda abu, batu kapur, feldspar dan pecahan gelas (cullet), dan (2) bahan yang dibutuhkan dalam jumlah kecil meliputi natrium sulfat, natrium bikroma, selenium dan arang. Pasir silika, batu kapur dan feldspar sangat melimpah di Indonesia.

Gelas adalah produk yang bersifat bening, tembus pandang secara optik, dengan kekerasan yang cukup. Gelas bersifat sangat rapuh, mudah pecah menjadi pecahan yang tajam, mudah dimodifikasi bentuknya dengan proses kimia atau pemanasan, sehingga memiliki sifat estetika atau keindahan yang tinggi.

Gelas aman digunakan sebagai kemasan karena beberapa sifat unggul berikut.

- Kedap terhadap air, gas, bau-bauan dan mikroorganisme.
- Tidak dapat bereaksi dengan barang yang dikemas (bahan kimia).
- Dapat didaur ulang.
- Dapat ditutup kembali setelah dibuka.
- Tembus pandang sehingga isinya dapat dilihat.
- Memberikan nilai tambah bagi produk (nilai estetika).
- Kaku dan kuat sehingga dapat ditumpuk tanpa mengalami kerusakan.
- Gelas dapat disimpan dalam jangka waktu panjang tanpa mengalami kerusakan.

Keunggulan sifat-sifat gelas tersebut memungkinkan produk-produk gelas digunakan untuk menunjang kebutuhan sehari-hari meliputi barang setengah jadi maupun produk gelas yang siap jadi. Contoh produk barang setengah jadi adalah lempengan kaca, pipa kaca, benda kaca berongga untuk bahan membran dan penyaring, dan benda kebutuhan rumah tangga. Produk gelas yang siap pakai meliputi perabotan rumah tangga (piring gelas, cangkir gelas, botol gelas, dan lainnya), peralatan laboratorium (tabung reaksi, pipa kaca, beker gelas, kaca pembesar, dan lainnya), bahan bangunan atau industry seperti kaca jendela, bola lampu, lampu gantung, genting kaca, dan asesoris seperti manik-manik.

6.6 Bahan Kayu

Kayu digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari peralatan masak seperti sendok kayu, perabot (meja, kursi), bahan bangunan (pintu, jendela, rangka atap), bahan kertas, alat transportasi (perahu), dan banyak lagi. Kayu juga dapat dimanfaatkan sebagai hiasan-hiasan rumah tangga, aksesoris, dan cinderamata.

Kayu dimanfaatkan untuk berbagai keperluan karena mengandung komponen penting yaitu selulosa, lignin, dan senyawa ekstraktif (senyawa tertentu yang dapat diambil dari kayu). Selulosa merupakan senyawa polimer turunan dari glukosa, dapat mencapai 70% dari berat kayu. Selulosa merupakan bahan utama pembuatan kertas dan tekstil. Lignin merupakan komponen pembentuk kayu, meliputi 18-28% berat kayu. Secara kimiawi, kayu keras dan kayu lunak dibedakan pada jumlah dan jenis lignin yang terkandung di dalamnya. Senyawa ekstraktif dapat berupa zat warna, getah, resin, lilin, dan lainnya, yang jumlah dan jenisnya tergantung spesies pohonnya. Senyawa ekstraktif ini memiliki manfaat seperti melindungi kayu dari hama. Senyawa ekstraktif merupakan salah satu dari hasil hutan nonkayu.



6.7 Plastik

6.7.1 Polyethylene Terephthalate

PETE atau PET merupakan salah satu plastik yang sering digunakan sebagai wadah makanan. Plastik PETE dapat kita temukan pada hampir semua botol air mineral dan beberapa pembungkus. Plastik ini dirancang untuk satu kali penggunaan saja. Jadi, jika digunakan berulang dapat meningkatkan resiko ikut terkonsumsinya bahan plastik dan bakteri yang berkembang pada bahan itu. Hal ini disebabkan jenis plastik PETE ini sulit untuk dibersihkan dari bakteri dan bahan plastik PETE dapat bersifat racun. Plastik ini sebaiknya didaur ulang dan tidak digunakan kembali.

6.7.2 HDPE (High-Density Polyethylene)

Plastik HDPE merupakan jenis plastik yang biasanya digunakan untuk membuat botol susu, botol deterjen, botol shampo, botol pelembab, botol minyak, mainan, dan beberapa tas plastik. HDPE merupakan plastik yang paling umum didaur ulang dan dianggap plastik paling aman. Proses daur ulang plastik ini cukup sederhana dan tidak membutuhkan biaya banyak. Plastik HDPE ini sangat keras dan tidak mudah rusak karena pengaruh sinar matahari, panas yang tinggi, atau suhu yang dingin. Karena itu, HDPE digunakan untuk membuat meja piknik, tempat sampah, dan produk lain yang membutuhkan ketahanan terhadap cuaca.

6.7.3 PVC (Polyvinyl Chloride)

Plastik PVC memiliki sifat lembut membuat plastik pembungkus makanan, botol minyak sayur, dan mainan anak-anak seperti pelampung renang. Selain itu juga digunakan untuk membuat pipa plastik, dan komponen kabel komputer. PVC dikhawatirkan sebagai "plastik beracun" karena mengandung berbagai racun yang dapat mencemari makanan. Plastik ini juga sukar didaur ulang. Produk PVC sebaiknya tidak digunakan kembali sebagai pembungkus makanan.

6.7.4 LDPE (Low-Density Polyethylene)

LDPE biasa ditemukan pada pembungkus baju, kantung pada layanan cuci kering, pembungkus buah-buahan agar tetap segar, dan pada botol pelumas. LDPE dianggap memiliki tingkat racun yang rendah dibandingkan dengan plastik yang lain. LDPE tidak umum untuk didaur ulang, jika didaur ulang plastik LDPE biasanya digunakan sebagai bahan pembuat ubin lantai.

6.7.5 PP (Polypropylene)

Plastik PP bersifat kuat, ringan, dan tahan terhadap panas. Plastik PP mampu menjaga bahan yang ada di dalamnya dari kelembaban, minyak dan senyawa kimia lain. PP biasanya digunakan sebagai pembungkus pada produk sereal sehingga tetap kering dan segar. PP

juga digunakan sebagai ember, kotak margarin dan yogurt, sedotan, tali, isolasi, dan kaleng plastik cat. Plastik dari PP dianggap aman jika digunakan kembali dan dapat didaur ulang.

6.7.6 Polystyrene

Polystyrene atau styrofoam merupakan plastik yang murah, ringan, dan mudah dibentuk. Plastik ini banyak digunakan dalam berbagai kebutuhan. Biasanya plastik PS digunakan sebagai botol minuman ringan, karton telur, kotak makanan, dan pembungkus bahan yang akan dikirim dalam jarak jauh. Plastik PS ini mudah rusak dan rapuh, sehingga mudah terpotong-potong menjadi kecil dan mudah mencemari lingkungan. Senyawa styrene pada plastik polystyrene mungkin bisa lepas dari plastik tersebut dan jika dikonsumsi dapat memicu kanker dan gangguan sistem reproduksi. Oleh karena itu, jika memungkinkan kita dapat menghindari plastik ini untuk digunakan sebagai pembungkus makanan.

6.7.7 Bahan Plastik Lain (BPA, Polycarbonate, dan LEXAN) atau Kode 7

Plastik ini biasanya digunakan untuk membuat aksesoris kendaraan, namun ada juga pabrik yang menggunakan plastik ini sebagai bahan baku botol minuman bayi dan pembungkus makanan. Penggunaan plastik ini sebagai botol minuman dan pembungkus makanan sangat tidak dianjurkan, karena salah satu zat penyusun plastik ini misalnya BPA (Bisphenol A) merupakan senyawa yang dapat mengganggu kerja hormon-hormon tubuh.

6.8 Biokomposit

Secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan. Jadi komposit adalah suatu bahan yang merupakan gabungan atau campuran dari dua material atau lebih pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat. Komposit dan paduan memiliki perbedaan dari cara penggabungannya yaitu apabila komposit digabung secara makroskopis sehingga masih kelihatan serat maupun matriknya (komposit serat) sedangkan pada paduan digabung secara mikroskopis sehingga tidak kelihatan lagi unsur-unsur pendukungnya.

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu:

1. Penguat (*reinforcement*).

Penguat atau *reinforcement* mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat.

2. Matriks.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

- Mentransfer tegangan ke serat.

- Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- Tetap stabil setelah proses manufaktur
- Melindungi serat

Penggunaan komposit yang berbahan baku biopolimer maupun serat alam telah berkembang pesat pada dasa warsa terakhir ini. Berbagai produk yang bisa diurai secara biologis telah dihasilkan menggunakan serat-serat lignoselulosa dan biopolimer untuk aplikasi-aplikasi yang berbeda, dari kendaraan otomotif yang meliputi truk, konstruksi (perumahan dan struktur tahan badai, khususnya di Amerika Serikat) dan panel-panel isolasi, hingga tekstil khusus (geotekstil dan tekstil non-tenun). Perumahan yang tahan badai, struktur dan berbagai produk yang dikembangkan menggunakan minyak kedelai dengan serat lignoselulosa bisa menjadi pelopor berbagai aplikasi untuk komposit-komposit yang bisa terurai secara biologis. Penggunaan-penggunaan lain yang bisa diidentifikasi untuk materi-materi ini meliputi bak mandi, lengkung penahan, dan pelapis perahu. Gambar 8 menunjukkan beberapa produk yang bisa terurai secara biologis yang dibuat oleh berbagai peneliti. Produk-produk ini meliputi panel-panel atap yang telah dipatenkan, yang dipertimbangkan sebagai revolusioner karena bebas perawatan, dan komponen-komponen ringan yang tahan lebih lama dan terlihat lebih baik, seperti pengepak kosmetik, perabotan meja dan furnitur.

Dengan perkiraan sekitar 100.000 metrik ton per tahun serat linoselulosik pada tahun 2010 untuk komposit di sektor otomotif Eropa sendiri, pengembangan berbagai produk khususnya untuk aplikasi-aplikasi di dalam ruangan di sektor industri otomotif dan bangunan telah diantisipasi. Ini lebih ditegaskan oleh perkiraan pasar global sekitar 900.000 metrik ton plastik kayu dan komposit-komposit serat alami.

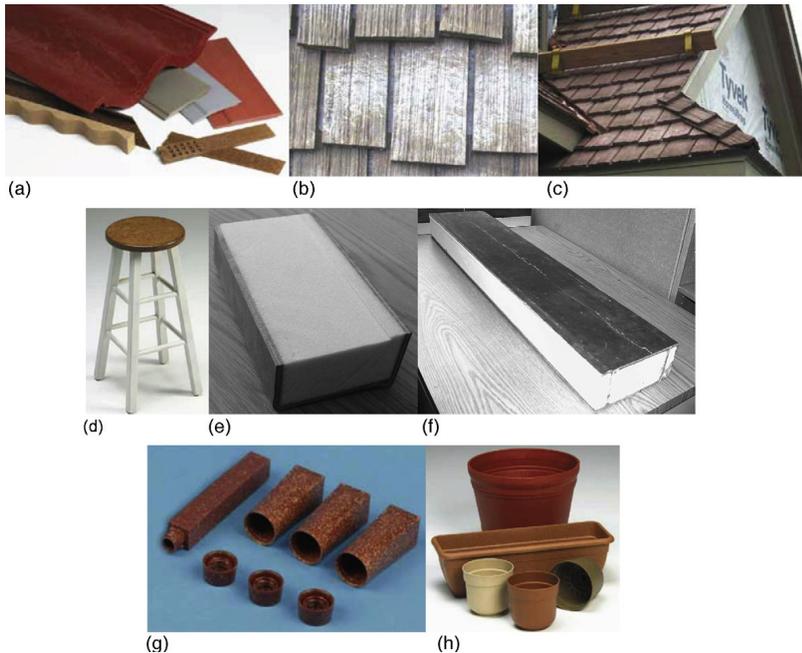
Pengembangan materi baru dengan sifat konstanta dielektrik rendah yang cocok untuk aplikasi elektronik juga telah dilakukan. Materi baru tersebut menggunakan bahan serat keratin yang mempunyai struktur berlubang dan minyak kedelai yang dimodifikasi secara kimia sebagai resin. Rendahnya nilai konstanta dielektrik dari material baru ini disebabkan karena terbentuknya struktur mikrokristalin yang

berongga dari pencampuran serat keratin dan molekul trigliserida. Koefisien ekspansi termal dari komposit itu cukup rendah dibandingkan dengan nilai bahan silikon atau polyamides digunakan dalam papan sirkuit tercetak. Serat keratin dapat diperoleh dari bulu-bulu unggas, diantaranya ayam, angsa maupun itik. Material baru ini memiliki potensi untuk menggantikan material dielektrik yang digunakan pada microchip dan papan sirkuit barang-barang elektronik.

Dalam industri otomotif, serat kapas yang tertanam dalam matriks poliester digunakan dalam bodi merek Trabant dari Jerman. Di samping itu penggunaan serat rami di cakram rem mobil untuk menggantikan serat asbes juga mulai dikembangkan. Perusahaannya, Daimler-Benz telah mengeksplorasi ide penggantian serat kaca dengan serat alami dalam komponen otomotif sejak tahun 1991. Sebuah anak perusahaan, Mercedes Benz di Sao Paolo, Brasil telah mempelopori penggunaan serat kelapa dalam bodi kendaraan komersial. Mercedes Benz juga mulai menggunakan panel pintu jute untuk kendaraan model E-kelas pada tahun 1996. Pada bulan September 2000, Daimler Chrysler mulai menggunakan serat alami untuk produksi kendaraan mereka. Serat kulit pohon terutama digunakan dalam aplikasi otomotif karena mereka menunjukkan kekuatan terbesar. Keuntungan lainnya menggunakan serat kulit pohon dalam industri otomotif termasuk penghematan berat antara 10% dan 30%. Studi terbaru juga menunjukkan bahwa serat rami termoplastik alami adalah kandidat yang menjanjikan pada aplikasi otomotif di mana kekakuan spesifik tinggi diperlukan.

Hampir semua produsen mobil besar di Jerman (Daimler Chrysler, Mercedes, Volkswagen, Audi Group, BMW, Ford dan Opel) sekarang menggunakan biokomposit dalam berbagai aplikasi. Komponen trim interior seperti dashboard dan panel pintu menggunakan polypropylene dan serat alami. Pada tahun 2000 Audi meluncurkan mobil yang menggunakan panel pintu terbuat dari polyurethane diperkuat dengan campuran serat sisal dan flax. Saat ini Daimler Chrysler kini telah meningkatkan penelitian dan pengembangan komposit rami polyester bertulang untuk aplikasi eksterior.

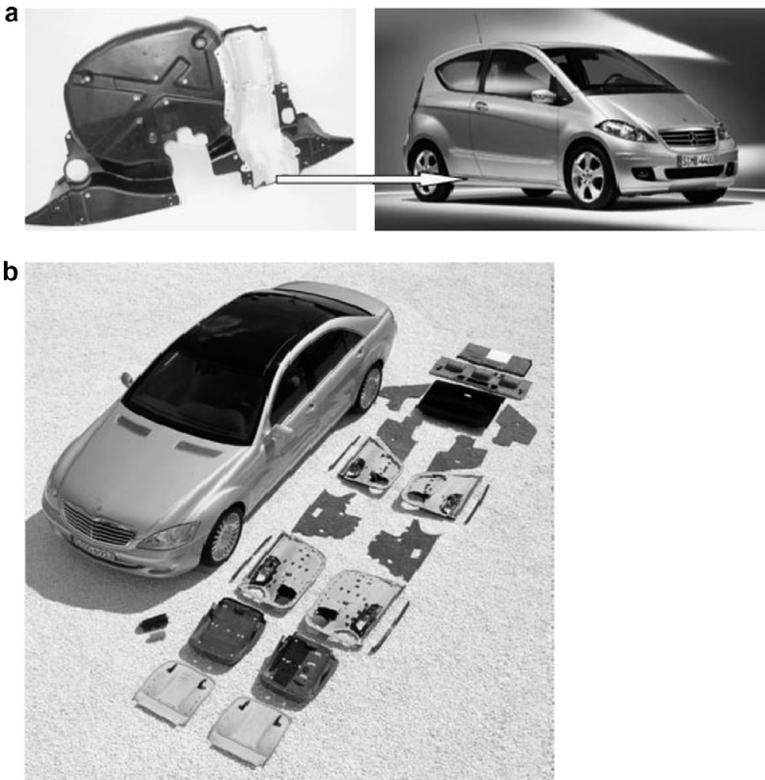
Penggunaan kembali serat alam dipicu oleh adanya regulasi tentang persyaratan habis pakai (end of life) produk komponen otomotif bagi negara-negara Uni Eropa dan sebagian Asia. Bahkan sejak tahun 2006, negara-negara Uni Eropa telah mendaur ulang 80% komponen otomotif, dan akan meningkat menjadi 85% pada tahun 2015. Di Asia khususnya di Jepang, sekitar 88% komponen otomotif telah di daur ulang pada tahun 2005 dan akan meningkat pada tahun 2015 menjadi 95%.



Gambar 6.1. Komposit yang bisa terurai secara biologis. (a-c) Komponen-komponen bangunan; (d) furnitur; (e) balok dari komposit berbasis resin minyak kedelai-ayam (f) balok komposit berbasis resin minyak kedelai-kertas; (g) pengepakan kosmetik; (h) perkakas rumah tangga.

P.T. INKA juga termasuk perusahaan yang mengembangkan aplikasi komposit pada gerbong kereta api telah mampu mengaplikasi komposit glass fiber reinforced polyester (GFRP) untuk front end KRLI dan mask KRL-Nas. Aplikasi dari GFRP telah meluas penggunaannya pada industri pembuatan pesawat terbang, kereta api, dan mobil. Namun dibandingkan dengan penggunaan serat alam, komposit serat gelas mengalami kekurangan karena tidak ramah lingkungan pada limbahnya

yang tidak dapat terurai.



Gambar 6.2. Penggunaan komposit serat alam untuk kendaraan Mercedes: (a) A-class; (b) E-class

Pada bidang konstruksi, komposit kayu dan plastik digunakan dalam sejumlah besar aplikasi dalam bodi kapal, dermaga, bingkai jendela dan komponen panel. Telah dilaporkan nilai perdagangan dari bahan komposit tersebut mencapai 460 juta pound pada tahun 1999. Statistik menunjukkan bahwa produksi komposit ini pada tahun 2001 telah meningkat sampai 700 juta pound. Selama tiga dekade terakhir pengembangan serat alam sebagai pengganti serat asbes telah intensif dilakukan. Di Australia serat asbes telah digantikan oleh serat alam yang dibuat dari pulp kayu pohon pinus. Penggunaan serat bambu serat bambu sebagai penguat pada elemen struktur beton juga telah mulai dikembangkan. Pulp dari limbah kayu putih dan sisa sisal dan serat

sabut juga telah diteliti sebagai pengganti asbes di komponen atap. Penggunaan pulp kaktus sebagai bahan stabilisasi untuk memperbaiki perilaku tanah yang diperkuat serat sisal telah dikembangkan.

6.9 Latihan Soal

1. Apa yang dimaksud dengan alloy?
2. Jenis logam apa yang sering digunakan sebagai campuran besi untuk membentuk baja?
3. Apa yang disebut dengan kuningan dan perunggu?
4. Sebutkan jenis-jenis plastik?
5. Apa yang disebut dengan biokomposit?

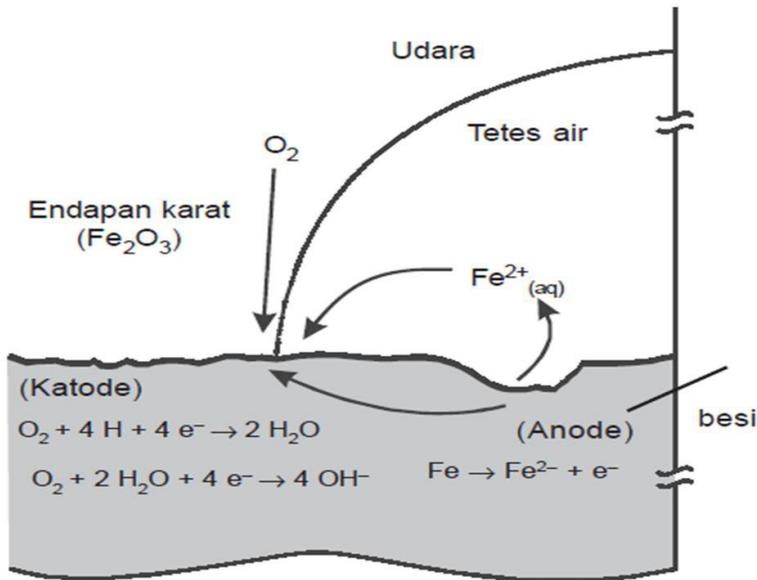
BAB 7

Korosi

Capaian Pembelajaran

Mahasiswa mengetahui dan memahami tentang korosi dan penyebabnya.

Korosi adalah proses degradasi/deteorisasi/perusakan material yang terjadi disebabkan oleh lingkungan sekelilingnya. Korosi tidak hanya berlaku pada logam saja, tetapi berlaku juga untuk material non logam, seperti keramik, plastik, karet. Sebagai contoh rusaknya cat karet karena sinar matahari atau terkena bahan kimia, mencairnya lapisan tungku pembuatan baja, serangan logam yang solid oleh logam yang cair (liquid metal corrosion). Adapun proses korosi yang terjadi, di samping oleh reaksi kimia biasa, maka yang lebih umum adalah proses elektro kimia. Menurut proses elektrokimia, bahwa proses korosi pada logam disebabkan karena logam itu mempunyai komposisi kimia yang tidak homogen. Dalam kenyataan memang logam sangat sulit untuk dibuat betul-betul homogen. Akibatnya akan ada perbedaan potensial yang dapat menimbulkan korosi galvanis bila ada elektrolit (uap air dan udara). Bagian yang berpotensi lebih rendah akan menjadi anoda sedangkan yang berpotensi lebih tinggi akan menjadi katoda. Korosi dapat berjalan secara cepat ataupun lambat tergantung dari material bahan, lingkungan, temperatur dan lain sebagainya. Kondisi lingkungan sangat mempengaruhi tingkat korosifitas pada suatu material.



Gambar 7.1. Proses Korosi.

Pada umumnya logam-logam pada suhu tinggi sangat mudah rusak, karena adanya reaksi yang cepat dengan oksigen dari udara. Kecuali logam mulia yang mempunyai daya affinitas yang sangat rendah terhadap oksigen, sehingga terbentuk lapisan oksida yang sangat tipis. Apabila dipanaskan maka oksida tersebut akan terurai kembali. Sebagai contoh perak, di atas $1800\text{ }^\circ\text{C}$ tidak akan terbentuk oksida lagi, juga paladium pada $4500\text{ }^\circ\text{C}$ terjadi hal yang sama. Wolfram yang dipanaskan di udara maka tidak menunjukkan perubahan warna yang nyata, hanya beratnya bisa berkurang karena terjadinya penguapan dari oksida yang terjadi.

Pada logam-logam ringan kecuali aluminium, oksidanya tidak membentuk lapisan yang cukup kedap (tidak dapat tembus air), hingga pada suhu tinggi akan lebih mudah teroksidasi, sambil memancarkan cahaya (magnesium). Pada besi sebenarnya terjadi lapisan oksida yang merata dan kedap, tapi sering retak karena molekul oksida besi lebih besar dari besinya dan timbul dorongan sesamanya, dan oksigen dapat berdifusi lagi ke dalamnya, sehingga proses oksidasi dapat berlangsung

lagi. Faktor penentuan terjadinya proses ini adalah suhu dan waktu, maka semakin tinggi suhu maka kecepatan oksidasi juga meningkat dengan cepat.

Meskipun oksidasi umumnya mengacu pada reaksi menghasilkan elektron, istilah ini juga digunakan untuk menunjukkan reaksi yang terjadi antara logam dan udara (oksigen) di dalam lingkungan air atau fase berair. Scaling, tarnishing, dry corrosion kadang-kadang digunakan untuk menggambarkan fenomena ini. Karena hampir setiap logam dan paduan logam akan bereaksi dengan udara pada suhu tinggi, maka ketahanan oksidasi harus diperhatikan dalam aplikasi metalurgi teknik. Karena peningkatan suhu ini, oksidasi logam juga meningkat. Seperti dalam aplikasi untuk turbin gas, mesin roket dan suhu tinggi sistem petrokimia.

Korosi di kilang dapat diklasifikasikan menjadi korosi suhu rendah, dianggap terjadi di bawah suhu 2600 °C (5000 °F). Korosi suhu rendah ini mengharuskan adanya air sebagai elektrolitnya. Sedangkan korosi suhu tinggi terjadi berkisar diatas 2600 °C (5000 °F). Air tidak diperlukan dalam korosi ini karena korosi terjadi oleh reaksi langsung antara logam dengan lingkungannya. Karat suhu tinggi yang terjadi pada sudu-sudu pertama dari turbin gas bekerja di bawah suhu antara 6500 °C atau di bawah 7000 °C. Sudu-sudu tersebut mengalami serangan oksidasi yang sangat cepat (accelerated oxidation).

Korosi adalah reaksi kimia antara logam dan lingkungannya yang berakibat mengalirnya arus listrik. Lingkungan yang dimaksud adalah lingkungan yang berair, tetapi ini tidak berarti bahwa korosi tidak terjadi bila air tidak ada. Banyak reaksi korosi dapat berlangsung di lingkungan yang dikatakan kering. Selain itu ingat bahwa korosi dapat terjadi di udara karena kandungan uap air, serta bahan-bahan ionik cukup untuk menyebabkan korosi seperti bila logam direndam dalam air. Keberadaan air dan bahan ionik saling menunjang: arus hanya dapat diangkut melalui air oleh ion-ion bebas, sementara air menyebabkan terurainya padatan ionik menjadi ion-ion bebas yang dibutuhkan.

Wet corrosion terjadi ketika ada fasa cair yang terlibat dalam proses korosi.

Korosi ini biasanya melibatkan larutan berair atau elektrolit. Contoh yang sering dijumpai adalah korosi besi karena berada di lingkungan berair. Dry corrosion terjadi karena tidak adanya fasa cair atau fasa di atas titik embun dari lingkungan. Penyebab dari korosi ini adalah uap air dan gas-gas yang ada di lingkungan sekitarnya. Korosi ini paling sering dikaitkan dengan suhu yang tinggi. Sebagai contoh serangan korosi pada baja akibat dimasukkan di dalam tungku pembakaran.

Karena hampir semua korosi adalah merupakan suatu reaksi elektrokimia, semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Hukum Ohm dapat diterapkan untuk bagian elektrik dari sel korosi. Laju korosi berbanding lurus dengan sejumlah arus yang mengalir pada sel korosi elektrokimia. Jika arus dapat diukur, suatu kalkulasi yang tepat dari kehilangan metal dapat ditentukan. Ini berarti bahwa suatu pengukuran dalam ampere atau milliampere secara matematis dihitung dalam kilogram (pound) per tahun. Suatu Amp tahun adalah satu Ampere yang mengalir selama periode satu tahun. Logam yang berbeda memiliki laju korosi yang berbeda.

Suatu reaksi elektrokimia dikatakan terpolarisasi apabila terjadi proses perlambatan dari laju reaksi semula. Polarisasi bertindak sebagai pelapis tambahan, dan mempengaruhi tingkat pH dan konsentrasi ion pada elektrolit. Kecepatan pada reaksi elektrokimia terbatas oleh bermacam-macam faktor fisis dan kimia. Oleh karena itu reaksi elektrokimia dapat dikatakan sebagai polarisasi atau penurunan yang disebabkan oleh faktor lingkungan. Polarisasi dapat dibagi menjadi dua jenis yang berbeda yaitu akitifasi polarisasi dan konsentrasi polarisasi. Polarisasi aktivasi adalah polarisasi yang disebabkan oleh faktor pelambat yang berasal dari reaksi elektrokimia itu sendiri, yakni terjadinya evolusi terbentuknya gas hidrogen di katoda.

Sebagai ilustrasi yang mudah adalah reaksi terlepasnya atom hidrogen pada logam zinc sebagai akibat dari korosi pada lingkungan asam. Tahapan ini dapat pula terjadi pada suatu jenis atom yang tereduksi pada permukaan logam. Tahap pertama atom tersebut harus dapat mengikat suatu permukaan sebelum terjadinya reaksi. Tahap kedua harus terjadi

transfer elektron sebagai hasil reduksi dari atom tersebut. Tahap ketiga, dua atom hidrogen menyatu untuk membentuk gelembung dan pada tahap ke empat, gelembung tersebut menjadi gas hidrogen. Kecepatan reduksi pada ion hidrogen dapat dikendalikan dengan memperlambat empat tahap di atas.

Laju reduksi ion hidrogen menjadi gas hidrogen merupakan fungsi beberapa faktor termasuk kecepatan transfer elektron ke ion hidrogen di permukaan metal. Jadi terdapat keterkaitan antara laju reaksi dengan jenis metal, konsentrasi ion hidrogen serta suhu reaksi tersebut. Kemampuan metal-metal untuk mentransfer elektron ke ion hidrogen dipermukaannya berbeda-beda, sehingga karenanya laju evolusi gas hidrogen pada permukaan berbagai bahan metal pun berbeda-beda pula.

Polarisasi konsentrasi menyangkut proses pelambatan reaksi elektro kimiawi sebagai akibat dari perubahan konsentrasi di dalam larutan di dekat permukaan metal. Untuk kasus evolusi hidrogen, dimana terdapat ion-ion hidrogen yang sangat kecil, dan kecepatan reduksi dapat dikendalikan oleh difusi pada ion-ion hidrogen yang terjadi pada permukaan logam. Aktifasi polarisasi biasanya dapat dikontrol pada media yang mengandung konsentrasi tinggi dan pada media pengkorosian aktif (contoh: konsentrasi asam). Konsentrasi polarisasi pada umumnya didominasi ketika konsentrasi pada proses reduksi adalah kecil, (contoh: asam yang terlarut dan aerasi garam). Konsentrasi yang berhubungan dengan logam biasanya kecil dan bisa diabaikan. Konsentrasi polarisasi sangat penting hanya pada reaksi reduksi.

Apabila reaksi tetap berlangsung pada laju yang tinggi, sedang konsentrasi ion hidrogen di dalam larutan relatif rendah, maka di daerah dekat permukaan metal akan kekurangan ion hidrogen karena telah dikonsumsi oleh reaksi katodik. Pada kondisi ini laju reaksi ditentukan oleh laju difusi ion hidrogen ke permukaan metal.

Pada dasarnya, pasivitas adalah lepasnya suatu unsur akibat reaksi kimia yang dialami oleh beberapa logam dan paduan pada suatu kondisi lingkungan khusus. Logam dan paduan yang mengalami pasivitas

diantaranya besi, nikel, silicon, chromium, titanium dan paduan-paduannya. Observasi juga telah dilakukan untuk mengetahui efek pasivitas pada beberapa logam, diantaranya zinc, cadmium, tin dan thorium.

Jenis-jenis material dibagi menjadi tiga kategori yaitu aktif, pasif dan transpatif. Untuk material pada daerah aktif biasanya daerah ini identik dengan logam pada umumnya, dimana penambahan daya oksidasi dengan menggunakan elektroda potensial diikuti dengan penambahan laju korosi. Untuk material yang berada pada daerah pasif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi yang terjadi pada material tersebut. Sedangkan untuk daerah transpatif, penambahan daya oksidasi tidak mempengaruhi laju korosi, namun untuk penambahan daya oksidasi yang besar, laju korosi material tersebut juga ikut bertambah.

Untuk logam yang ditunjukkan pada daerah transisi aktif- pasif, sifat pasif dicapai bila kuantitas oksigen tercukupi. Bertambah cepatnya laju korosi seiring dengan bertambahnya konsentrasi oksigen yang ditambahkan hal ini digambarkan pada daerah 1 dimana karakteristik daerah ini dimiliki oleh logam monel dan tembaga pada lingkungan acid solution yang mengandung oksigen.

Kebanyakan material menunjukkan bahwa efek konsentrasi korosif tidak terlalu berdampak pada laju korosi. Seperti yang ditunjukkan pada kurva bagian pertama. Adapun material yang lain menunjukkan perilaku yang berbeda ketika konsentrasi korosif meningkat mengakibatkan laju korosi meningkat pula. Timah adalah contoh yang menunjukkan pengaruh tersebut. Pada konsentrasi yang rendah timah membentuk lapisan pelindung, namun pada konsentrasi yang tinggi lapisan pelindung tersebut larut sehingga laju korosi bertambah seiring dengan pertambahan konsentrasi korosif. Namun karena konsentrasi asam terus meningkat, laju korosi mencapai titik maksimum dan akhirnya akan menurun. Hal ini tidak diragukan lagi karena fakta, bahwa konsentrasi yang sangat tinggi maka ionisasi asam akan berkurang. Karena ini, kebanyakan larutan asam seperti sulfuric, acetic, hydrofluoric dan yang lainnya pada hakekatnya tidak dapat bereaksi pada kondisi murni atau 100% konsentrasi.



Di kebanyakan pemanfaatan material, kontak antara material-material yang berbeda adalah sesuatu yang sulit untuk dihindarkan. Di dalam proses aliran fluida dan pemipaan, perbedaan material dan paduan sering terjadi kontak antara material tersebut. Sepotong seng dicelupkan ke dalam larutan asam klorida dan disambungkan dengan logam mulia seperti platinum. Karena platinum tidak dapat bereaksi dalam medium tersebut, hal itu akan menyebabkan terjadinya evolusi ion hidrogen dipermukaan platinum tersebut. Selanjutnya, evolusi hidrogen lebih mudah terjadi pada permukaan platina dibandingkan dengan seng. Akibat dari pasangan galvanik pada contoh tersebut adalah hampir identik dengan penambahan oksidator pada larutan korosif. Dalam kasus tersebut logam akan kehilangan elektronnya dan karenanya tingkat pelarutan logam juga meningkat.

7.1 Latihan Soal

1. Suatu campuran logam (*alloy*) digunakan sebagai bahan penyangga untuk dok kapal kecil di tepi laut. Tiang penyangga tersebut seringkali terendam air laut terutama ketika permukaan air laut meninggi. Jelaskan jenis korosi apakah yang mungkin dapat terjadi pada logam penyangga tersebut. Apakah kemungkinan penyebab dari korosi tersebut? Jika digunakan campuran logam aluminium dan magnesium, tentukan logam manakah yang memiliki kemungkinan lebih besar untuk mengalami korosi. Jelaskan mengapa logam tersebut dapat terkorosi secara elektrokimia, jika diketahui potensial elektroda (*emf*) logam:

- Aluminium = -1,662 V
- Magnesium = -2,363 V

Untuk mencegah campuran logam tersebut mengalami korosi, jelaskan beberapa metode (minimal 2) yang dapat dilakukan.

1. Jelaskan dampak yang dapat terjadi dalam hal ekonomi, lingkungan dan sosial pada berbagai proses pada siklus material tersebut. Bagaimanakah cara mengurangi dampak tersebut? Jelaskan alasannya!

2. Jelaskan secara detail perbedaan material degradable dan non-degradable beserta sifat-sifat masing-masingnya dan sebutkan contoh materialnya
1. Jelaskan ada berapa volume ratio dari golongan logam dan sebutkan sifat-sifatnya.
2. Tuliskan reaksi besi terkorosi menjadi karat. Dan sebutkan bagaimana cara pencegahan material dari korosi



Referensi

Fontana M.G., "Corrosion Engineering", 3rd ed., Mc Graw Hill Book Co., New York, 1986.

Pulukhin P. Prof, "Metal Process Engineering", Peace Publishers, Moscow.

Tata Surdia dan Shinroku Saito, "Pengetahuan Bahan Teknik", cetakan kedua, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1992.

Vlack V., "Element of Materials Science and Engineering", 4th ed., Addison-Wiley Publishing Co., Massachusett, 1980.

Glosari

- age hardening : teknik perlakuan panas yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan luluh dari material yang lunak, diantaranya paduan dari aluminium, magnesium, nikel, titanium, baja dan baja tahan karat.
- alloy : merupakan campuran logam atau campuran logam dengan unsur lainnya yang terbentuk dari ikatan logam. Paduan dapat merupakan larutan padat unsur logam (fasa tunggal) atau campuran fase logam (dua atau lebih larutan).
- amorf : bentuk material padat atau kristal yang tidak beraturan
- annealing : perlakuan panas yang mengubah struktur mikro material yang menyebabkan perubahan sifat seperti kekuatan, kekerasan, dan keuletan
- anoda : elektroda, bisa berupa logam maupun penghantar listrik lain, pada sel elektrokimia yang terpolarisasi jika arus listrik mengalir ke dalamnya.
- austenite : larutan padat dari campuran karbon dan besi yang bersifat nonmagnetik dan stabil pada suhu tinggi
- biopolimer : bahan polimer yang berasal dari bahan alam
- body-centered cubic : sistem kristal dalam sebuah bentuk kubus di mana mempunyai 1 titik

		lattice di pusat sel satuan ditambah 8 titik sudutnya
cementite	:	larutan padat dari campuran karbon dan besi yang terbentuk pada temperatur di bawah 727 oC, mempunyai sifat kuat dan rapuh
face-centered cubic	:	sistem kristal dalam sebuah bentuk kubus di mana terdapat sebuah atom di tiap-tiap pojok kubus dan satu ditengah di setiap sisi kubus. Disebut juga dengan kubus pemusatan sisi.
faktor penumpukan atom	:	fraksi volum dari sel satuan yang ditempati oleh bola-bola padat dapat dihitung dari perbandingan volume atom dalam sel satuan dengan volume sel satuan.
ferrite	:	besi murni dengan struktur kubus pemusatan ruang.
hardening	:	perlakuan panas terhadap baja untuk meningkatkan kekerasan alami baja dengan cara pemanasan sampai suhu pengerasan dan kemudian didinginkan secara cepat dengan kecepatan pendinginan kritis.
hardness	:	sifat mekanik suatu bahan yang berkaitan dengan kekerasan.
ikatan kovalen	:	jenis ikatan kimia yang memiliki karakteristik berupa pasangan elektron yang saling terbagi (pemakaian bersama elektron) di antara atom-atom yang berikatan.



ikatan logam	:	ikatan yang terjadi antara atom-atom logam, baik atom-atom logam sejenis maupun yang berlainan.
ion	:	atom atau sekumpulan atom yang bermuatan listrik.
isolator	:	bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik.
katoda	:	kutub elektroda dalam sel elektrokimia yang terpolarisasi jika kutub ini bermuatan positif (sehingga arus listrik akan mengalir keluar darinya, atau gerakan elektron akan masuk ke kutub ini).
kisi	:	sebuah susunan atom yang teratur dan periodik di dalam ruang dikenal juga dengan lattice
komposit	:	material yang tersusun atas campuran dua atau lebih material dengan sifat kimia dan fisika berbeda, dan menghasilkan sebuah material baru yang memiliki sifat-sifat berbeda dengan material-material pengusunnya.
korosi	:	kerusakan atau degradasi logam akibat reaksi redoks antara suatu logam dengan berbagai zat di lingkungannya yang menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak dikehendaki. Dalam bahasa sehari-hari, korosi disebut perkaratan.
kristal	:	suatu padatan yang atom, molekul, atau ion penyusunnya terkemas secara teratur dan polanya berulang melebar secara tiga dimensi.

kuningan	:	paduan logam tembaga dan logam seng dengan kadar tembaga.
matriks	:	bahan dasar pembentuk komposit yang mengikat bahan pengisi dengan tidak terjadi ikatan secara kimia.
neutron	:	partikel yang menyusun atom dan tidak bermuatan (netral) dan memiliki massa 1.6749×10^{-27} kg.
normalizing	:	proses perlakuan panas terhadap baja dengan tujuan mendapatkan struktur, butiran yang halus dan seragam untuk menghilangkan tegangan dalam akibat pengerjaan dengan mesin.
Pasangan Elektron Bebas	:	pasangan elektron yang berikatan satu dengan yang lain dengan unsur pengikatnya.
Pasangan Elektron Ikatan	:	pasangan elektron yang tidak saling mengikat, tidak memiliki teman, berdiri sendiri, dan belum stabil.
perunggu	:	campuran tembaga dengan unsur kimia lain, biasanya dengan timah, walaupun bisa juga dengan unsur-unsur lain seperti fosfor, mangan, aluminium, atau silikon. Perunggu bersifat keras dan digunakan secara luas dalam industri.
polimer	:	molekul raksasa (makromolekul) yang merupakan gabungan dari molekul-molekul identik (monomer).
proton	:	bagian dari inti suatu atom yang



		bermuatan positif.
quenching	:	proses pendinginan cepat yang dilakukan pada logam yang telah dipanaskan diatas temperatur kritisnya.
reinforcement	:	bahan penguat yang ada pada komposit yang bersifat nin elastis.
sel satuan	:	susunan dari beberapa atom yang teratur dan mempunyai pola yang berulang.
strain	:	perbandingan antara pertambahan panjang terhadap panjang mula-mula. Disebut juga dengan regangan
stress	:	perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda.
tempering	:	suatu teknik perlakuan panas untuk logam dan alloy.

Index

A

aerasi 87

age hardening 56

alloy 65

amorf 27

annealing 59

Atom 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 16, 17, 27, 31, 32, 40, 41, 42

austenite 51, 52, 61

B

Baja 61, 65, 66

batas butir 42, 43, 47, 49, 52

biopolimer 78

Body-centered cubic 32

Bohr 5, 6, 7, 8

C

cementite 52

D

Dalton 2, 3

deformasi 23, 39, 40, 45, 46, 48, 56, 62

desitas 25

difusi 39, 42, 46, 55, 56, 87

dipol 16, 19

E

elastisitas 23, 46, 68, 69

elektrokimia 83, 86, 89

elektron 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 17, 19, 31, 34, 85, 87

elektronegatif 18

eutektik 50

F

Face-centered cubic 31, 32

faktor penumpukan atom 31

ferrite 51, 52, 61, 62

fiber 80

free energy 52

G

galvanis 83

Galvanum 66

Gaya Coulomb 5

Gelas 72, 73

H

hardening 56, 60, 61, 62

hardness 23

heksagonal 32

hidrogen 3, 9, 14, 18, 19, 20, 86, 87, 89

Hukum Ohm 86

I

ikatan kovalen 14, 15, 16

Ikatan logam 16

ion 6, 13, 14, 15, 37, 39, 85, 86, 87, 89

isolator 14, 34, 72

K

karet 23, 69, 70, 83

katoda 2, 3, 83, 86

kayu 66, 74, 78, 81

keramik 27, 34, 37, 71, 72, 73, 83

kisi 28, 29, 30, 34, 37, 40

komposit ix, 77, 78, 79, 80, 81

korosi 66, 67, 83, 85, 86, 88

Korosi 83, 84, 85, 86

korosif 88, 89

kovalen vii, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 26

kristal

Kristal 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 46, 47, 55

kubus pemusatan ruang 30

kubus pemusatan sisi 30

Kuningan 34, 49, 67

L

lattice 29

Lattice parameter 29

logam 3, 13, 16, 17, 23, 24, 27, 30, 31, 34, 37, 39, 42, 46, 48, 49, 55, 56, 61, 65, 66, 67, 71, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90

M

massa jenis 25

Matriks 77

mekanik 21, 22, 47, 48, 49, 56

mikroskop 42, 47

modulus Young 46

monotektik 50

N

neutron 1, 2, 8, 9

normalizing 58, 59

nukleasi 42

O

oksidasi 58, 84, 85, 88

oksidator 89

Orthorombic 52

P

Pasangan Elektron Bebas 16

Pasangan Elektron Ikatannya 16

peritektik 50

Perunggu 67

plastik 39, 42, 46, 75, 76, 77, 78, 81, 83

Plastik 46, 75, 76, 77

plum pudding model 3

Polarisasi 86, 87

poliester 79
polimer 15, 27, 68, 70, 74
polimorfisme 30
proton 1, 6, 8, 9

Q

quenching 55, 57, 60, 61, 62

R

reduksi 87
reinforcement 77

S

sel satuan 28, 29, 30, 31, 32, 37, 40, 42, 46, 51, 52, 53
serat ix, 67, 68, 69, 77, 78, 79, 80, 81
strain 21, 22
stress 21, 22, 55

T

tempering 56, 60, 61, 62
Thompson 2, 3, 4

U

Unit sel 29

V

Van Der Waals 19