

BAHAN AJAR
METALURGI FISIK

Bahan Ajar

METALURGI FISIK

Saloom Hilton Siahaan, ST., MT.



Bahan Ajar METALURGI FISIK

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:

Saloom Hilton Siahaan, ST., MT.

Editor: Dr. Muktar Panjaitan, S.Si., M.Pd.

Cetakan Pertama : September 2021

Cover: Rusli

Tata Letak : Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2021, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

**Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT**

Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org

E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2021 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I – : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2021
; 14,8 x 21 cm
ISBN : 978-623-6478-68-4

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Isi diluar tanggung jawab Penerbit
Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkatNya Bahan Ajar Metalurgi Fisik dapat diselesaikan. Tujuan dari pembuatan bahan ajar ini adalah untuk memudahkan mahasiswa dalam hal memahami pelajaran Metalurgi Fisik. Bahan Ajar Metalurgi Fisik ini telah disesuaikan dengan silabus dari jurusan teknik mesin.

Buku ini bisa digunakan juga sebagai pegangan dosen pengampu mata kuliah metalurgi fisik, karena selain disertai pembahasan yang mendetail tentang teori dasarnya, diberikan pula contoh-contoh soal setiap materi.

Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof.Dr. Sanggam Siahaan, M.Hum selaku Rektor Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar.
2. Prof. Dr.Selviana Napitupulu, M.Hum selaku Wakil Rektor I Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar.
3. Sahat Sitompul, ST., MSi, selaku Dekan Fakultas Teknik Dan Pengelolaan Sumber Daya Perairan Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar.
4. Isteriku terkasih Elfrida Christa Dora Hutajulu, SE.Ak., MSi., C.Ak dan Anakku terkasih Moses Michael Agustinus Giovanni Siahaan.
5. Rekan-rekan Dosen Program Studi Teknik Mesin yang telah memberikan masukan dalam penyelesaian buku ajar ini.

Yang telah memberikan bimbingan, dukungan dan saran-saran, dalam penyelesaian buku ajar Metalurgi Fisik ini. Penyusun menyadari dalam pembuatan bahan ajar ini masih banyak kekurangan dan sangat jauh dari sempurna. Untuk itu

saran serta kritik yang bersifat membangun akan kami terima dengan senang hati, untuk penyempurnaan di masa yang akan datang. Semoga bahan ajar ini bermanfaat untuk kemajuan Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Dan Pengelolaan Sumber Daya Perairan Universitas HKBP Nommensen Pematangsiantar.

Pematangsiantar, 18 September 2021

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
BAB I PRINSIP METALURGI FISIK PADA LOGAM.....	1
A. Arti Metalurgi.....	1
B. Ikatan Atom Dan Struktur Kristal.....	4
1. Bilangan Kuantum.....	6
2. Asas Aufbau.....	9
3. Stabilitas struktur atom	10
C. Ikatan Logam.....	11
1. Arti Ikatan Logam.....	11
2. Model Lautan Elektron.....	12
 BAB II STRUKTUR MIKRO	 17
A. Jenis Ikatan Dalam Bahan Padat.....	21
1. Ikatan Ionik.....	22
2. Ikatan Kovalen	24
3. Ikatan Logam.....	24
4. Ikatan dan Pengaruh Gaya Luar	24
B. Struktur Mikro Logam	25
1. Kubik Permukiman Ruang.....	30
2. Kubik Permukiman Sisi.....	30
 BAB III CACAT KRISTAL LOGAM	 33
A. Cacat Kristal.....	33
1. Ketidakmurnian Dalam Bahan Padat	33
B. Larutan Padat Dalam Logam.....	34
1. Larutan Padat Substitusi	35
2. Larutan Padat Interstisi	37

3. Larutan Padat Dalam Senyawa.....	38
C. Ketidaksempurnaan Dalam Kristal.....	39
1. Cacat Titik.	39
2. Cacat Garis (Dislokasi).....	40
3. Cacat Permukaan	42
D. Batas Butir.	43
1. Daerah Batas Butir Dan Besar Butir.....	45
 BAB IV DEFORMASI DAN REKRISTALISASI.....	47
A. Deformasi Elastis Dan Deformasi Plastis.....	47
1. Deformasi Elastik.....	48
2. Deformasi Plastik.....	50
B. Rekristalisasi	50
 BAB V TRANSFORMASI FASA.....	55
A. Kurva Pendinginan Logam Murni	55
B. Diagram Paduan	56
1. Diagram Paduan Yang Larut Sempurna	57
2. Diagram Paduan yang tak dapat larut dalam keadaan padat.....	58
3. Diagram Paduan yang tak dapat larut dalam keadaan padat dan membentuk senyawa.....	59
4. Diagram Paduan Yang Larut Terbatas Dalam Keadaan Padat.....	61
 DAFTAR PUSTAKA.....	65
BIODATA PENULIS	66

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pengaruh Sifat bahan terhadap struktur mikro.....	5
Tabel 2. Bilangan Kuantum Utama	7
Tabel 3. Bilangan Kuantum Utama Dan Magnetik.....	8
Tabel 4. Sistem Kristal	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Evolusi Struktur dalam logam padatan.....	1
Gambar 2. Penulisan Unsur.....	5
Gambar 3. Posisi Ion Dalam Unsur.....	6
Gambar 4. Urutan pengisian orbital-orbital atom mengikuti arah panah.....	9
Gambar 5. Skema ikatan logam	14
Gambar 6. Konfigurasi Ikatan Atom	23
Gambar 7. Struktur Kristal Tunggal.....	26
Gambar 8. Unit Sel.....	26
Gambar 9. Sel Satuan	27
Gambar 10. Konstanta Sisi.....	27
Gambar 11. Kubik Pemusatan Ruang.....	28
Gambar 12. Kubik Pemusatan Sisi.....	28
Gambar 13. Kristal bukan kubik	29
Gambar 14. Kristal & bentuk unit sel	29
Gambar 15. Larutan padat substitusi acak.....	35
Gambar 16. Larutan padat substitusi tertata.....	35
Gambar 17. Larutan Padat Interstisi.....	37
Gambar 18. Larutan Padat Substitusi Senyawa.....	38
Gambar 19. Struktur Cacat	38
Gambar 20. Cacat titik	40
Gambar 21. Dislokasi garis.....	41
Gambar 22. Energi Dislokasi.....	42
Gambar 23. Dislokasi Ulir	42
Gambar 24. Pembentukan Dislokasi	42
Gambar 25. Atom Permukaan.....	43
Gambar 26. Menghitung batas butir.....	44
Gambar 27. Kurva tegangan regangan suatu material	47
Gambar 28. Kurva tegangan-regangan suatu material.....	48
Gambar 29. Perbedaan butir logam.....	49

Gambar 30. Perubahan dimensi sesuai dengan arah tegangan (a) Kristal mengalami gaya tarik; (b) Kristal pada posisi normal; (c) Kristal pada keadaan tertekan.	49
Gambar 31. Perubahan Butir Setelah Dianil.....	51
Gambar 32. Perubahan struktur mikro dan sifat mekanik logam terdeformasi selama proses rekristalisasi	52
Gambar 33. Kurva Pendingin Logam Murni.....	56
Gambar 34. Kurva Pendingin Besi Murni.....	56
Gambar 35. Diagram Zat Larut Sempurna.....	57
Gambar 36. Diagram Paduan Yang Tidak Dapat Larut Dalam Keadaan Padat.....	59
Gambar 37. Diagram paduan yang tak dapat larut dalam keadaan padat dan membentuk senyawa.....	60
Gambar 38. Diagram Paduan Yang Larut Terbatas.....	61
Gambar 39. Diagram paduan yang larut terbatas dalam keadaan padat Tipe Eutectic	62
Gambar 40. Diagram paduan yang larut terbatas dalam keadaan padat tipe peritectic.....	64

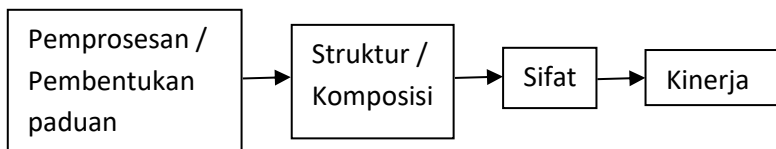


BAB I

PRINSIP METALURGI FISIK PADA LOGAM

A. Arti Metalurgi

Metalurgi fisik sangat berkaitan terhadap evolusi struktur pembentukan solid (padatan) dari suatu fase cair (liquid) dimana efek dari elemen paduan dan ketidakmurnian pada proses transformasi dan efek dari teknik pengolahan terhadap perubahan struktur meskipun berfokus pada logam dan paduan sehingga dapat dipergunakan untuk keramik, polimer atau bidang bahan lainnya. Logam dan paduan telah lama dipergunakan sejak dahulu dimana beberapa periode peradaban manusia yang dinamakan dengan logam dan paduan, contohnya Zaman Perunggu (Zaman Logam).



Gambar 1. Evolusi Struktur dalam logam padatan

Proses metalurgi diperkenalkan sekitar pertengahan abad sembilan belas dimana baja sudah dihasilkan dalam jumlah besar dan telah menjadi salah satu bahan utama untuk bidang konstruksi saat ini. Baja bisa mempunyai rentang kekuatan dari 240 Mpa dengan cara mengatur proses produksi, perlakuan panas, dan lain-lain. Aluminium, Tembaga, Logam, Zinc sudah mulai banyak ditemukan sejak abad ke duapuluh dimana material tersebut sangat populer dalam bidang

konstruksi.

Ada beberapa hal yang perlu dipahami sebelum mempelajari tentang metalurgi fisik yaitu :

1. Ikatan Atom dan Struktur Kristal :

Ikatan Logam, Sel Satuan, Atom Packing, Situs Interstisial, Indeks Miller, Orientasi Kristal, Proyeksi Stereographic.

2. Perangkat dan Teknik Eksperimental :

Metalografi (Optical TEM, SEM), Difraksi Sinar X, Sifat-sifat Mekanik, Analisis Termal.

3. Pemadatan Logam Murni :

Aturan fase, konsep energi bebas, entropi, energi permukaan (batas butir) dan pada pendinginan, nukleasi dan pertumbuhan butir, nukleasi homogen dan heterogen, pembekuan directional.

4. Diffusi:

Konsep dasar fenomena dan pendekatan atomistik.

5. Pemadatan Paduan Biner:

Batas kelarutan (solubility), sistem isomorphous, lever rule, constitutional super cooling, pengaruh pendinginan equilibrium, sistem eutectik, peritectik, eutectoid dan peritectoid, diagram fasa kompleks, diagram ternary, segitiga komposisi, ternary eutectic, bidang vertikal & horizontal, struktur logam coran, segregasi dan porositas, diagram besi-karbon, baja dan besi cor.

6. Diagram Fasa Biner Paduan Logam Komersil Yang Umum:

Cu-Ni, Au- Cu, Ni-Cr, Al-Si, Al-Zn, Al-Ag, Pb- Sn, Cu-Zn, Cu-Sn, Cu-Al, Ti-Al, Ti- V: interpretasi struktur mikro dan sifat.

7. Pengerjaan Dingin Dan Annealing :

Recovery, recrystallization dan pertumbuhan butir, pendekatan fenomena dan mekanis.

8. Presipitasi Dari Terminal Super Saturasi-Terminal Larutan Padat :

Presipitasi kinetik dan termodinamik, pengerasan presipitasi (precipitation hardening).

9. Perlakuan Panas Pada Baja :

Diagram T-T-T; transformasi perlitik, martensitik dan bainitik, efek unsur paduan terhadap diagram fasa dan diagram TTT, diagram CCT, Annealing, normalizing, hardening dan tempering, hardenability.

10. Penerapan Metalurgi Fisik :

Mekanisme Penguatan, kekuatan vs ketangguhan (keuletan), pengolahan thermo-mekanik, paduan mikro baja, baja kekuatan ultra tinggi, superalloy, kontrol tekstur.

Selanjutnya, akan dibahas pula mengenai pemadatan logam murni; bagaimana logam diproduksi serta bagaimana proses transformasinya logam murni selama prosesnya; konsep dasar dan prinsip dasar termodinamika, yang kadang termodinamis sekaligus kinetis, yang nantinya akan membantu memahami perkembangan struktur pada logam murni.

1. Deformasi plastik pada logam murni: mekanisme (slip & puntir), peregangan stres geser kritis, uji tarik kristal tunggal (fcc), kekuatan teoritis kristal yang ideal.
2. Cacat kristal dalam logam: kosong, interstitial, substitusi, energi bebas pencampuran, dislokasi (konsep dasar saja), dislokasi garis/ ulir, dislokasi parsial, stacking fault, dislokation lock, dislokasi

menumpuk, hubungan Hall-Petch, struktur batas butir.

Logam juga memiliki sifat yang menarik yang dibentuk oleh proses mekanik yang dikenal sebagai deformasi plastis. Deformasi plastis pada logam mulia (poly crystalline bukan kristal tunggal), sering digunakan untuk lebih memahami kekuatan teoritis kristal ideal. Secara praktis, kristal ideal tak selamanya terjadi dengan mudah, kadangkala cacat dapat saja muncul di dalam logam, sehingga sifat material sedikit banyaknya akan dipengaruhi juga oleh cacat yang muncul. Oleh karena itu, akan dipelajari juga mengenai macam-macam cacat dan bagaimana sifat material dapat berubah karenanya. Tak hanya sifat mekanis, sifat fisik material juga dipengaruhi oleh kekosongan.

B. Ikatan Atom Dan Struktur Kristal

Dalam bagian ini akan dipelajari beberapa hal berkaitan dengan:

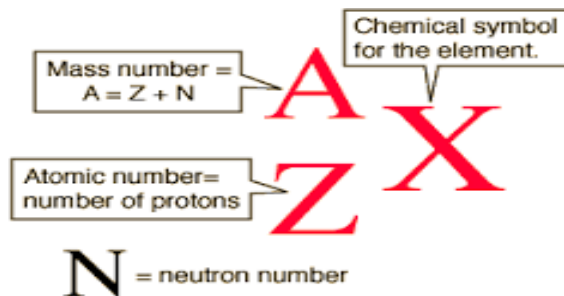
1. Ikatan logam
2. Struktur kristal: unit cell, packing atomik, situs interstitial
3. Indeks miller: arah dan bidang kristal
4. Proyeksi stereografik: arah kristal

Dalam bagian ini akan dijelaskan beberapa gagasan ringkas tentang ikatan atom, dan struktur kristal. Keduanya merupakan fokus utama pada ikatan logam, sistem struktur-kristal yang kita pakai untuk memperbaiki bidang kristal, dan arahnya. Dan bagaimana kristal menjadi padatan, berapa besar perbedaan arahnya, dan bidang, dan arah dari kristal direpresentasikan dalam suatu proyeksi yang disebut proyeksi stereographic.

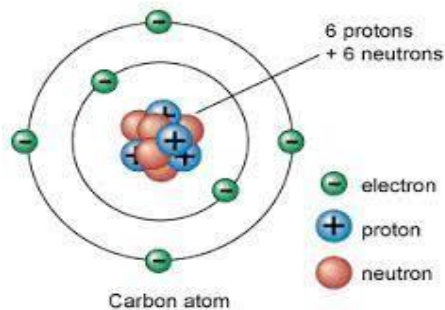
Tabel 1. Pengaruh Sifat bahan terhadap struktur mikro

Sifat	Kristal / Cacat Kristal	Struktur Mikro
Mekanis	Sangat kuat	Sangat-kuat
Elektrik	Rendah	Rendah-kuat
Magnetik	Rendah	Rendah-kuar
Kimia	Rendah	Rendah-sedang

Penjelasan diatas diharapkan telah memberi pemahaman tentang susunan atom, dan struktur mikro, dan sifat-sifat khas seperti sifat mekanik, listrik, termal, magnetik, dan kimia. selain itu, apakah sifat mekanik, yang memiliki ketergantungan yang kuat pada struktur kristal, dan cacat kristal? Ini tidak berarti bahwa, yang lain tidak tergantung.



Gambar 2. Penulisan Unsur



Gambar 3. Posisi Ion Dalam Unsur

Atom terdiri dari partikel-partikel sub atom, ada Nucleus, di mana massa total terkonsentrasi. Nukleus atau inti terdiri dari proton, dan Neutron. Proton bermuatan positif, dan jumlah proton sama dengan nomor atom. Dan A adalah bilangan massa atom sedangkan Z (bermuatan negatif) adalah jumlah Neutron.

Artinya, inti memiliki seluruh massa, dan kemudian elektron terus bergerak dalam orbit yang berbeda. Dan keadaan energi dalam orbit ini dijelaskan oleh satu set bilangan kuantum, yang tercantum di sini bilangan kuantum prinsip memiliki bilangan kuantum azimut, bilangan kuantum magnetik.

1. Bilangan Kuantum

Bilangan Kuantum adalah suatu nilai yang menjelaskan kuantitas kekal dalam sistem dinamis. Bilangan kuantum menggambarkan sifat orbital dan elektron dalam orbital. Bilangan kuantum menentukan tingkat energi utama atau jarak dari inti, bentuk orbital, orientasi orbital, dan spin elektron. Setiap sistem kuantum dapat memiliki satu atau lebih bilangan kuantum.

Macam-Macam Bilangan Kuantum:

Untuk menjelaskan elektron secara lengkap dibutuhkan empat macam bilangan kuantum, yaitu:

1. Bilangan kuantum utama (n) yang menyatakan tingkat energi.
2. Bilangan kuantum azimut (ℓ) yang menyatakan bentuk orbital.
3. Bilangan kuantum magnetik (m) yang menyakatakan orientasi orbital dalam ruang tiga dimensi.
4. Bilangan kuantum spin (s) yang menyatakan spin elektron pada sebuah atom.

Bilangan Kuantum Utama

Bilangan kuantum utama (primer) digunakan untuk menyatakan tingkat energi utama yang dimiliki oleh elektron dalam sebuah atom. Bilangan kuantum utama tidak pernah bernilai nol. Semakin tinggi nilai n semakin tinggi pula energi elektron. Untuk sebuah atom, nilai bilangan kuantum utama berkisar dari 1 ke tingkat energi yang mengandung elektron terluar. Bilangan kuantum utama mempunyai nilai sebagai bilangan bulat positif 1, 2, 3, dst. Nilai-nilai tersebut melambangkan K, L, M, dst.

Tabel 2. Bilangan Kuantum Utama

Kulit	K	L	M	N	O
Nilai n	1	2	3	4	5

Bilangan Kuantum Azimut (Bilangan Kuantum Angular) :

Energi sebuah elektron berhubungan dengan gerakan orbital yang digambarkan dengan momentum sudut. Momentum sudut tersebut dikarakterisasi menggunakan bilangan kuantum azimut. Bilangan kuantum azimut

menyatakan bentuk suatu orbital dengan simbol ℓ .

Bilangan kuantum azimut juga berhubungan dengan jumlah subkulit. Nilai ini menggambarkan subkulit yang dimana elektron berada. Untuk subkulit s, p, d, f, bilangan kuantum azimut berturut- turut adalah 0, 1, 2, 3.

Bilangan Kuantum Magnetik

Bilangan kuantum magnetik menyatakan tingkah laku elektron dalam medan magnet. Tidak adanya medan magnet luar membuat elektron atau orbital mempunyai nilai n dan ℓ yang sama tetapi berbeda m. Namun dengan adanya medan magnet, nilai tersebut dapat sedikit berubah. Hal tersebut dikarenakan timbulnya interaksi antara medan magnet sendiri dengan medan magnet luar.

Tabel 3. Bilangan Kuantum Utama Dan Magnetik

Kulit (n)	Subkulit (l)	Nama Orbital (nl)	Orientasi (ml)	Jumlah Orbital	Maksimum Terisi
n = 1	l = 0	1s	ml = 0	1	2 e-
	l = 0	2s	ml = 1, 0-1	1	2 e-
n = 2	l = 1	2p	ml = 1, 0-1 (px,py,pz)	3	6 e-
	l = 0	3s	ml = 0	1	2 e-
n = 3	l = 1	3p	ml = 1,0,-1	3	6 e-
	l = 2	3d	ml = 2,1,0,-1,-2 (dxy,dyz,dxz)	5	10 e-

Bilangan Kuantum Spin :

2. Asas Aufbau

Metalurgi Fisik | 9

Asas ini bekerja dengan baik (untuk keadaan dasar atom-atom) untuk 18 unsur pertama; ia akan menjadi semakin kurang tepat untuk 100 unsur sisanya. Bentuk modern asas Aufbau menjelaskan urutan energi orbital berdasarkan kaidah Madelung, pertama kali dinyatakan oleh Erwin Madelung pada tahun 1936.[7][9].

Orbital diisi dengan urutan peningkatan $n+l$;

Apabila terdapat dua orbital dengan nilai $n+l$ yang sama, maka orbital yang pertama diisi adalah orbital dengan nilai n yang paling rendah. Sehingga, menurut kaidah ini, urutan pengisian orbital adalah sebagai berikut:

1s 2s 2p 3s 3p 4s 3d 4p 5s 4d 5p 6s 4f 5d 6p 7s 5f 6d 7p

Asas Aufbau dapat diterapkan, dalam bentuk yang dimodifikasi, ke proton dan neutron dalam inti atom.

3. Stabilitas struktur atom

Berikut ini adalah contoh perpidahan elektron (melepas dan menerima) pada saat terbentuknya ikatan atom yang stabil. Sebuah atom cenderung melepaskan elektron apabila memiliki elektron terluar 1, 2, atau 3 elektron dibandingkan konfigurasi elektron gas mulia yang terdekat.

Contoh:

$_{11}\text{Na} : 2\ 8\ 1$

Gas mulia terdekat ialah $_{10}\text{Ne} : 2\ 8$. Jika dibandingkan dengan atom Ne, maka atom Na kelebihan satu elektron. Untuk memperoleh kestabilan, dapat dicapai dengan cara melepaskan satu elektron.



Sebuah atom cenderung menerima elektron apabila memiliki elektron terluar 4, 5, 6, atau 7 elektron dibandingkan konfigurasi elektron gas mulia yang terdekat.

Contoh:

${}_9\text{F} : 2 \ 7$

Konfigurasi elektron gas mulia yang terdekat ialah ${}_{10}\text{Ne} : 2 \ 8$. Konfigurasi Ne dapat dicapai dengan cara menerima satu elektron.



Jika masing-masing atom sukar untuk melepaskan elektron (memiliki keelektronegatifan tinggi), maka atom-atom tersebut cenderung menggunakan elektron secara bersama dalam membentuk suatu senyawa. Cara ini merupakan peristiwa yang terjadi pada pembentukan ikatan kovalen. Misalnya atom fluorin dan fluorin, keduanya sama-sama kekurangan elektron, sehingga lebih cenderung memakai bersama elektron terluarnya.

Jika suatu atom melepaskan elektron, berarti atom tersebut memberikan elektron kepada atom lain. Sebaliknya, jika suatu atom menangkap elektron, berarti atom itu menerima elektron dari atom lain. Jadi, susunan elektron yang stabil dapat dicapai dengan berikatan dengan atom lain. Kondisi tersebut mempengaruhi titik leleh dan titik didih. Titik leleh helium adalah 1 derajat Kelvin dan di atas helium (dalam sistem periodik) ada neon; neon dengan titik leleh pada 24 K, argon 84 K, dan radon 211 K. Jadi, kriteria utama yang paling penting dari stabilitas struktur atom adalah sel terluar yang paling dekat.

C. Ikatan Logam

1. Arti Ikatan Logam

Logam merupakan material yang telah lama dipergunakan dalam berbagai bidang dimana logam adalah material yang paling populer dari bahan-bahan teknik lainnya, sebagai bahan yang utama dalam pembuatan mesin. Pengetahuan tentang logam (metalurgi) baik yang mengandung besi (ferro)

dan juga bukan besi (non ferro) yang memiliki sifat-sifatnya dalam proses pembentukan dan proses pengujiannya.

Lebih dari delapan puluh unsur yang ada di sistem periodik unsur adalah logam. Logam bersifat padat pada temperatur dan tekanan standar, dengan pengecualian unsur merkuri dan galium yang keduanya berupa cairan. Sebagai pengingat, sifat-sifat logam adalah sebagai berikut:

1. Mempunyai konduktivitas termal dan listrik yang tinggi.
2. Berkilau dan memantulkan cahaya.
3. Dapat ditempa.
4. Mempunyai variasi kekuatan mekanik.

Ikatan logam adalah suatu kekuatan utama yang menyatukan atom-atom logam. Ikatan logam merupakan akibat dari adanya tarik menarik muatan positif dari logam dan muatan negatif dari elektron yang bergerak bebas.

Sifat-sifat logam tidak dapat dimasukkan dalam kriteria ikatan seperti ikatan kovalen maupun ikatan ion. Senyawa ionik tidak dapat mengantarkan listrik pada fase padatan, dan senyawa ionik bersifat rapuh (berlawanan dengan sifat logam). Atom dari senyawa logam hanya mengandung satu sampai tiga elektron valensi. Dengan demikian atom tersebut tidak mampu membentuk ikatan kovalen. Senyawa kovalen merupakan penghantar listrik yang buruk dan umumnya berupa cairan (dengan sifat berkebalikan dengan pembentukan logam). Dengan demikian, logam membentuk model ikatan yang berbeda.

2. Model Lautan Elektron

Untuk menjelaskan ikatan pada logam, Lorentz mengusulkan sebuah model yang dikenal dengan model gas

elektron atau model lautan elektron. Model ini didasarkan pada sifat logam berikut:

Energi Ionisasi Yang Rendah

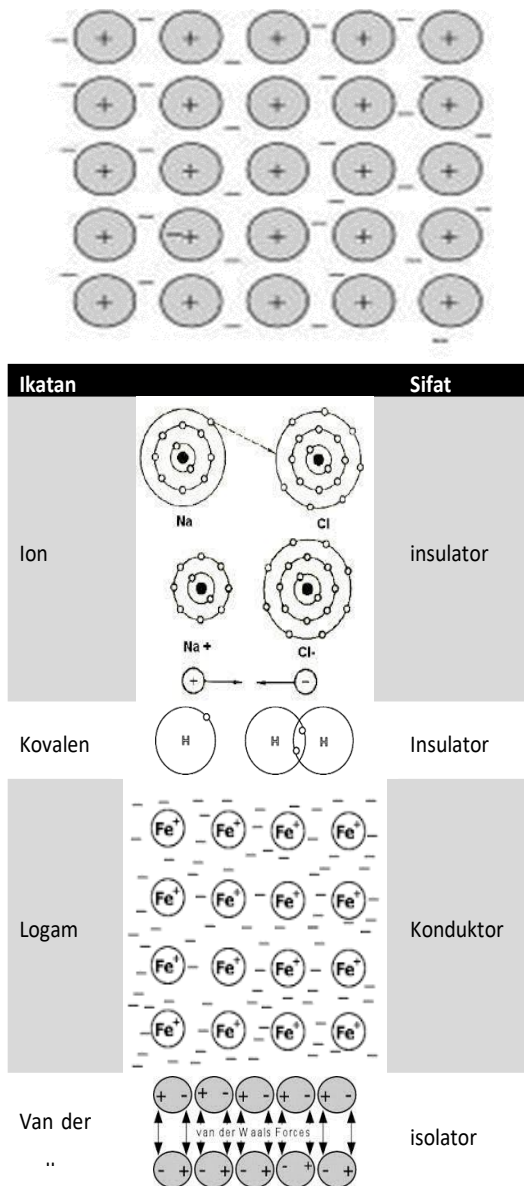
Logam umumnya mempunyai energi ionisasi yang rendah. Secara tak langsung, pengertian ini merujuk pada elektron valensi yang tidak terikat dengan kuat oleh inti. Elektron valensi dapat bergerak dengan bebas diluar pengaruh inti. Dengan demikian, logam mempunyai elektron yang bebas bergerak.

Banyak Orbital Kosong

Telah diteliti bahwa logam mempunyai banyak orbital yang kosong sebagai akibat elektron valensi logam lebih rendah daripada orbital valensi logam. Sebagai contoh, logam litium mempunyai orbital 2p yang kosong; natrium mempunyai orbital 3p dan 5d yang kosong; dan magnesium mempunyai orbital 3p dan 3d yang juga masih kosong.

Contoh Ikatan Logam

Elektron yang paling luar pada sebagian besar logam biasanya mempunyai hubungan yang tidak erat dengan inti karena letaknya yang jauh dari muatan positif inti. Semua elektron valensi logam-logam bergabung membentuk lautan elektron yang bergerak bebas di antara inti atom. Elektron yang bergerak bebas beraksi sebagai ikatan terhadap ion bermuatan positif. Ikatan logam tidak mempunyai arah. Akibatnya, ikatan tidak rusak ketika logam ditempa.



Gambar 5. Skema ikatan logam

Ikatan unsur yang mempunyai ikatan logam adalah sebagian besar logam seperti Cu, Al, Au, Ag, dsb. Logam transisi seperti Fe, Ni, dsb membentuk ikatan campuran yang terdiri dari ikatan kovalen (pada elektron 3d) dan ikatan logam.



BAB II

STRUKTUR MIKRO

Tujuan dan Sasaran

1. Memahami Jenis Ikatan Bahan Padat
2. Mempelajari pengaruh Struktur Atom, Struktur Kristalin dan Perilaku Bahan dalam bentuknya yang utuh.

Logam (Ferro) merupakan suatu logam yang meliputi dari campuran unsur karbon dengan besi. Untuk menghasilkan suatu logam paduan yang memiliki 2 sifat yang berbeda dengan besi dan karbon maka harus dicampur dengan bermacam-macam logam lainnya dimana logam merupakan elemen kerak bumi (mineral) yang terbentuk secara alami. Jumlah logam diprediksi 4% dari kerak bumi.

Secara umum sifat-sifat logam berhubungan dengan :

a. Sifat Kimia

Bahwa secara kimia, sifat logam berkaitan dengan :

1. Keelektronegatifan

Adalah kecenderungan untuk melepas elektron membentuk ion positif dimana sifat logam tergantung terhadap energi ionisasi. Jika ditinjau dari konfigurasi elektron, unsur-unsur logam cenderung melepaskan elektron (memiliki energi ionisasi yang kecil), sedangkan unsur-unsur bukan logam akan cenderung menangkap elektron (memiliki keelektronegatifan yang besar). Kecenderungan energi ionisasi dan keelektronegatifan, maka sifat logam-non logam dalam periodik unsur adalah :

- a. Dari kiri ke kanan dalam satu periode, sifat logam akan berkurang, sedangkan sifat nonlogam akan bertambah.
- b. Dari atas ke bawah dalam satu golongan, sifat logam akan bertambah, sedangkan sifat non-logam akan berkurang.

2. Titik Leleh dan Titik Didih,

Dalam satu periode, titik cair dan titik didih naik dari kiri ke kanan sampai golongan IVA, kemudian turun drastis. Titik cair dan titik didih terendah dimiliki oleh unsur golongan VIIIA dimana satu golongan, ternyata ada dua jenis kecenderungan: unsur-unsur golongan IA – IVA, titik cair dan titik didih makin rendah dari atas ke bawah; unsur-unsur golongan VA – VIIIA, titik cair dan titik didihnya makin tinggi.

b. Sifat Fisik

1. Titik Leleh dan Titik Didih

Sifat fisik logam yang pertama yaitu logam-logam cenderung memiliki titik leleh dan titik didih yang tinggi karena atom-atom logam terikat oleh ikatan logam yang kuat. Untuk mengatasi ikatan tersebut, diperlukan energi dalam jumlah yang besar.

Kekuatan ikatan berbeda antara logam yang satu dengan logam yang lain tergantung pada jumlah elektron yang terdelokalisasi pada lautan elektron, dan pada susunan atom-atomnya. Daya hantar listrik memiliki sifat fisik logam yang kedua yaitu memiliki daya hantar listrik yang baik, yang disebabkan oleh adanya elektron valensi yang bergerak bebas dalam kristal logam. Jika listrik dialirkan melalui logam, elektron-elektron valensi

logam akan membawa muatan listrik ke seluruh logam dan bergerak menuju potensial yang lebih rendah sehingga terjadi aliran listrik dalam logam.

2. Daya Hantar Panas

Sifat fisik logam yang ketiga yaitu memiliki daya hantar panas yang baik. Daya hantar panas disebabkan adanya elektron valensi yang dapat bergerak bebas. Bila bagian tertentu dari logam dipanaskan, maka elektron-elektron pada bagian logam tersebut menerima sejumlah energi sehingga energi kinetisnya bertambah dan gerakannya makin cepat. Elektron-elektron yang bergerak dengan cepat tersebut menyerahkan sebagian energi kinetisnya kepada elektron lain sehingga seluruh bagian logam menjadi panas dan naik suhunya.

3. Dapat Ditempa, Dibengkokkan Dan Ditarik

Ikatan dalam kisi kristal logam tidak kaku seperti kristal senyawa kovalen, sebab dalam kisi kristal logam tidak terdapat ikatan terlokalisasi. Karena daya tarik setiap ion logam bermuatan positif terhadap elektron valensi sama besarnya, maka suatu lapisan ion logam bermuatan positif dalam kisi kristal mudah bergeser. Jika ikatan logam putus, maka akan segera terbentuk ikatan logam yang baru. Oleh karena itu, sifat fisik logam dapat ditempa menjadi lempeng yang sangat tipis, dapat ditarik menjadi kawat yang halus atau dibengkokkan.

4. Sifat Mengkilap

Bila cahaya tampak jatuh pada permukaan logam, sebagian elektron valensi yang mudah bergerak tersebut tereksitasi (elektron berpindah dari tingkat energi yang lebih rendah ke tingkat energi yang lebih tinggi). Ketika elektron

tereksitasi tersebut kembali pada keadaan dasarnya, maka energi cahaya dengan panjang gelombang tertentu (di daerah cahaya tampak) akan dipancarkan kembali. Peristiwa ini dapat menimbulkan sifat fisik logam yang khas yaitu mengkilap.

c. Sifat Mekanik

Sifat mekanik logam adalah suatu sifat terpenting karena sifat mekanik logam menyatakan kemampuan suatu logam untuk menerima beban atau gaya dari luar tanpa mengalami kerusakan pada logam tersebut. Beberapa sifat-sifat mekanik antara lain:

1. Kekuatan (Strength) [N/mm², kg/mm², lb/in²]

Merupakan kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut patah. Kekuatan ada beberapa macam tergantung pada jenis beban yang bekerja. Contohnya: kekuatan tarik, tekan, geser, torsi, dan kekuatan lengkung.

1. Kekerasan (Hardness) [BHN, VHN, HRC]

Kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menerima penetrasi benda runcing, goresan, kikisan tanpa mengalami deformasi

2. Kekenyalan (Elasticity) [%]

Kekenyalan merupakan kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi).

3. Plastisitas (Plasticity) [%]

Merupakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Mekanisme yang mempunyai plastisitas yang tinggi dikatakan sebagai

material yang ulet (ductile), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (brittle).

4. Ketangguhan (Toughness) [kg/mm]
Merupakan kemampuan bahan untuk menyerap energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.
5. Kekakuan (stiffness)
Kemampuan suatu bahan untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi.
6. Kelelahan (Fatigue) [siklus]
Merupakan kecenderungan bahan untuk patah apabila menerima tegangan berulang-ulang yang besarnya jauh dibawah batas kekakuan elastisitas.
7. Mulur (Creep) [siklus]
Menyatakan kecenderungan logam mengalami deformasi platis yang besarnya merupakan fungsi waktu saat menerima beban yang besarnya tetap.

Sifat bahan pada dasarnya ditentukan oleh:

1. Interaksi antar atom bahan;
2. Perilaku gugus-gugus atom tersebut (mungkin mempunyai struktur kristalin yang teratur);
3. Atribut yang berkaitan dengan gabungan gugus-gugus atom tersebut.

A. Jenis Ikatan Dalam Bahan Padat

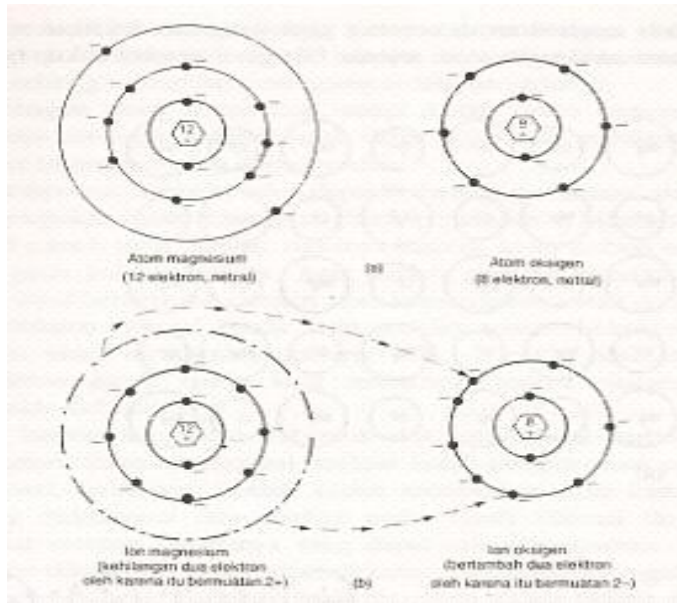
Elektron tersusun dalam beberapa tingkatan energi atau kulit energi. Kulit energi terluar mempunyai ikatan yang paling lemah dengan intinya. Gambar 2.1(a) memperlihatkan gambaran dua dimensi untuk magnesium, jenis atom logam yang memiliki dua elektron pada kulit terluar, dan oksigen,

atom unsur bukan logam yang mempunyai enam elektron pada kulit paling luar. Keduanya mempunyai dua elektron pada kulit yang paling dekat dengan intinya.

Kemampuan interaksi antar atom berkurang bila kulit terluar diduduki oleh delapan elektron. Atom yang tidak memiliki konfigurasi ini selalu berusaha untuk membentuk ikatan sedemikian rupa sehingga mencapai konfigurasi ini. Karakteristik inilah yang mendorong terbentuknya tiga jenis ikatan atom yaitu ikatan ionik, ikatan kovalen, dan ikatan logam.

1. Ikatan Ionik

Ikatan ionik terjadi antara atom logam dan atom bukan logam dan merupakan ikatan yang sangat kuat. Bahan dengan ikatan ionik mempunyai ciri: temperatur lebur tinggi, keras, dan rapuh. Ikatan ionik terbentuk bila atom oksigen "menangkap" dua elektron terluar atom magnesium (gambar 2.1b). Dengan demikian, atom oksigen bertambah dua muatan negatif dan atom magnesium kehilangan dua elektron terluarnya sehingga mempunyai kelebihan dua muatan positif. Baik oksigen maupun magnesium kini memiliki delapan elektron pada kulit terluarnya dan mencapai keseimbangan kimiawi seperti gas mulia. Akan tetapi, kedua atom yang tadinya netral itu sekarang mempunyai muatan elektrostatik yang berlawanan dan inilah yang menghasilkan ikatan ionik yang merupakan gambar dua dimensi senyawa oksida magnesium (MgO).



Gambar 6. Konfigurasi Ikatan Atom

Atom bermuatan sejenis tolak menolak, sedangkan atom dengan muatan berlawanan tarik menarik. Jadi, pada bahan utuh yang terdiri atas atom yang berikatan ionik, terbentuk struktur kristal dengan pola teratur dalam tiga dimensi. Tiap atom dikelilingi oleh atom dengan muatan yang berlawanan. Kekuatan senyawa seperti ini ditentukan oleh kekuatan ikatan elektrostatik antar atom tak sejenis, dan kerapuhannya ditentukan oleh ketahanan atom bermuatan terhadap usaha yang memaksanya menduduki posisi dekat dengan atom yang bermuatan sama. Oksida magnesium menentang gaya yang mendekatkan atom oksigen dan atom magnesium dengan atom sejenis. Bila gaya tersebut cukup besar, kristal akan retak.

2. Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen terjadi antara atom dengan empat elektron atau lebih pada kulit terluarnya, suatu kondisi yang dijumpai pada unsur bukan logam. Sebuah atom tak mungkin menampung semua elektron kulit terluar atom lain. Sekiranya hal itu terjadi, maka kulit elektron terluarnya akan kelebihan elektron (jumlah ideal adalah delapan elektron). Bila terdapat empat elektron atau lebih pada kulit terluar, atom sedemikian rupa sehingga mereka dapat berbagi elektron luar.

3. Ikatan Logam

Elektron pada kulit terluar suatu logam bergerak sebagai awan melalui ruang antar inti yang bermuatan positif bersama kulit elektron lainnya. Inti beserta kulit elektron di bagian dalam dianggap sebagai bola keras yang tersusun padat dengan pola teratur, membentuk apa yang disebut *susunan kristal*. Susunan ion positif terikat menjadi satu oleh awan elektron bermuatan negatif membentuk ikatan khas yang disebut ikatan *logam*. Oleh karena ion tidak memiliki kecenderungan khusus untuk menempati lokasi tertentu, ion dapat bergerak dalam kisi kristal tanpa mengganggu keteraturan pola.

4. Ikatan dan Pengaruh Gaya Luar

Di samping kemampuan gerak elektron pada ikatan logam, perbedaan besar lain antara ikatan logam dan ikatan lainnya terletak pada perilakunya bila dipengaruhi oleh gaya luar. Gaya kecil tak seberapa pengaruhnya terhadap ketiga jenis ikatan tersebut. Regangan atau perpanjangan yang terjadi lenyap bila gaya diiadakan. Sifat ini disebut *perpanjangan elastik* atau *kompresi elastik*.

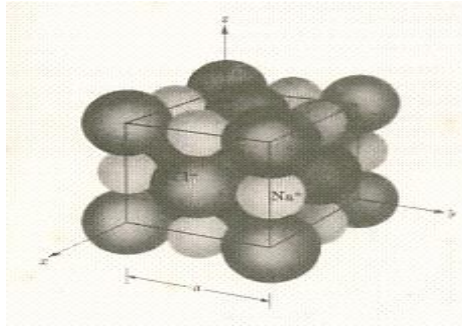
Bila gaya cukup besar, pada ikatan logam dapat terjadi

pergelinciran ion logam membentuk pola sejenis yang tetap bertahan meski gaya ditiadakan. Ini dimungkinkan karena semua ion memiliki sifat yang sama dan elektron tidak terikat pada atom tertentu. Sebaliknya, atom dengan ikatan ion menentang gerak luncuran tersebut karena antara ion dan elektron terdapat ikatan kuat. Oleh karena itu, bahan dengan ikatan ion cenderung rapuh.

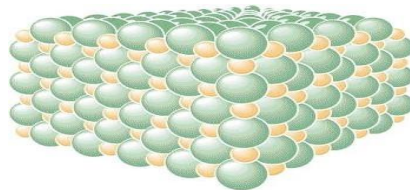
Karena adanya kemampuan inti untuk saling meluncur, kristal dengan ikatan logam dapat dibentuk secara mekanik dan ikatan antar atomnya tetap kuat. Sifat ini disebut *keuletan (ductility)* atau kenyal bentuk dan merupakan karakteristik keadaan logam. Apa pun bentuk ikatannya, bahan umumnya membentuk susunan tiga dimensi (atau struktur kristal) yang teratur dalam ruang. Ada empat belas jenis struktur, tetapi hanya empat yang biasanya ditemukan pada logam yang digunakan dalam penerapan keteknikan. Sel tunggal sederhana mewakili jumlah atom yang tak terhingga dalam susunan tiga dimensi kristal utuh.

B. Struktur Mikro Logam

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*.



Gambar 7. Struktur Kristal Tunggal.



○ Sodium ion (Na^+)

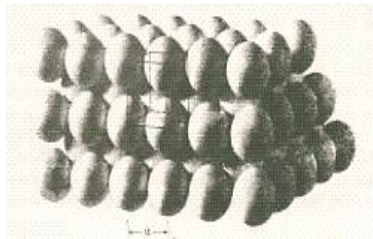
● Chloride ion (Cl^-)

Copyright 1998 by John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

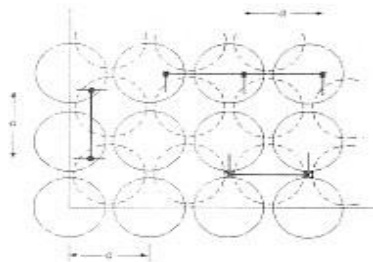
Gambar 8. Unit Sel

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. Dalam setiap contoh yang dikemukakan tadi, 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. Hal yang sama kita jumpai pada pengaturan heksagonal molekul air dalam es atau bunga salju.

Jarak yang selalu terulang, yang disebut *konstanta kisi*, dalam pola jangkau panjang kristal. Jadi dimensi yang berulang atau a , (lihat Gambar 10), juga merupakan dimensi sisi sel satuan. Karena pola kristal (lihat Gambar 9), identik dalam ketiga arah tegak lurus, sel satuan ini berbentuk kubik dan a adalah konstanta kisi dalam ketiga arah koordinat. Dalam kristal bukan kubik, konstanta kisi berbeda dalam ketiga arah koordinat.



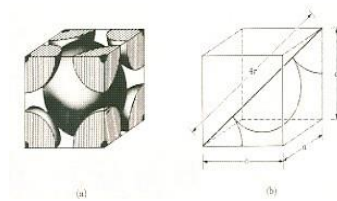
Gambar 9. Sel Satuan



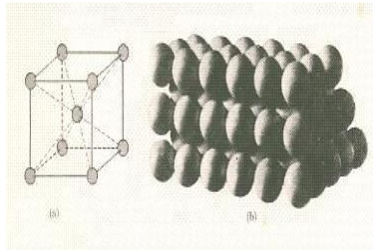
Gambar 10. Konstanta Sisi

Titik sudut sel satuan dapat ditempatkan *dimana saja* dalam suatu kristal. jadi, sudut tersebut dapat berada dipusat atom, tempat lain dalam atom-atom atau diantara atom-atom. Volum yang kecil tadi dapat diduplikasikan dengan volum yang identik disebelahnya (asalkan sel tadi memiliki orientasi yang sama dengan pola kristal) dimana setiap sel mempunyai

ciri-ciri geometrik, yang sama dengan kristal keseluruhan.



Gambar 11. Kubik Pemusatan Ruang



Gambar 12. Kubik Pemusatan Sisi

Kristal kubik memiliki pola yang sama sepanjang ketiga sumbu tegak lurus: $a_1 = a_2 = a_3$. Kebanyakan logam dan beberapa jenis keramik berbentuk kubik. Kristal bukan kubik terjadi bila pola ulangnya tidak sama dalam ketiga arah koordinatnya atau sudut antara ketiga *sumbu kristal* tidak sama dengan 90° . Ada tujuh *sistem kristal*, dengan karakteristik geometriknya seperti tercantum dalam Tabel 1.4. Dalam pelajaran pengantar dasar ilmu logam ini perhatian kita tertuju pada bentuk kristal kubik yang lebih sederhana. Akan tetapi disamping itu kita perlu mengenal juga sistem heksagonal. Disamping itu, kristal tetragonal dan ortorombik dengan karakteristik sel satuan seperti Gambar 13.