

DESKRIPSI MATA KULIAH STRUKTUR / ILMU BAHAN

Mata kuliah ini merupakan mata kuliah dasar. Mata Kuliah ini ditujukan agar peserta memiliki pemahaman tentang Ilmu Bahan, Struktur Kristal dan Penguatan Logam serta memahami aplikasinya dalam kehidupan.

Materi yang dibahas meliputi: Klasifikasi dan sifat Material dan Dasar-dasar teori atom: Ikatan Ion, Ikatan Kovalen, Ikatan Logam, dan Ikatan Sekunder. STRUKTUR KRISTAL: Bilangan Koordinasi, Memahami Sel Satuan, Kubus Sederhana (Simple Cubic), Kubus Pusat Badan (Body Center Cubic). Kubus Pusat Muka (Face Center Cubic). Index Miller dan penggunaan Index Miller. CACAT KRISTAL: Cacat Titik: Kekosongan (Vacancy), Penggantian (Substitusi), Penyisipan (Interstisi), Cacat Garis / Dislokasi Dislocation), Dislokasi Sisi (Edge Dislocation), Dislokasi Ulir (Screw Dislocation). Cacat Bidang, Batas Butir (Grain), Garis Kembar (Twin), Cacat Ruang. PENGUATAN LOGAM: Penambahan Jumlah Dislokasi, Penghalusan Butir, Perlakuan Panas, Pemaduan PADUAN LOGAM (ALLOY): Paduan Biner, Syarat Kelarutan. DIAGRAM FASA BINER: Jenis Diagram Fasa, dan Larut Sempurna Dalam Keadaan Cair dan Padat. Larut Sempurna Dalam Keadaan Cair dan Larut Sebagian Dalam Keadaan Padat yang Memiliki Reaksi Fasa Etektik, Memiliki Reaksi Fasa Peritektik, Memiliki Senyawa, dan Larut Sempurna Dalam Keadaan Cair dan Tidak Larut Samasekali Dalam Keadaan Padat.

Pelaksanaan perkuliahan ini dibahas materi di atas dengan buku panduan, komputer dan infocus. Metoda yang digunakan : Ceramah, tanya jawab, pemecahan masalah. Tugas: Penyelesaian soal-soal. EVALUASI: Kehadiran, Tugas, Quiz, dan Ujian Akhir. DAFTAR BUKU: Callister, W. D Jr., *Material Science And Engineering, An Introduction*, Salt Lake City, Utah, 1985. Dieter, G. E., *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Book Company, London, 1988. LA Van Vlack, Sriati Djafrie, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Erlangga, Jakarta, 1992. Honeycombe, R. W. K., *The Plastic Deformation of Metals*, Edward Arnold, London, 1977. Smallman, R. E., *Modern Physical Metallurgy*, Butterworth, London, 1976. Smith, W. ., *Principles of Material Science Engineering*, 5 th Edition, Addison Wesley, 1985. Thelning, K. E., *Steel and its Heat Treatment*, Butterworth, London, 1975.

SILABUS STRUKTUR / ILMU BAHAN

Materi dan Pembelajaran : Struktur / Ilmu Bahan

Standar Kompetensi : 1. Memahaman Ilmu Bahan dan Struktur Kristal
2. Memahami Penguatan Logam serta memahami aplikasinya dalam kehidupan.

Kompetensi Dasar	Indikator	Materi Pokok/ Pembelajaran	Kegiatan Pembelajaran	Penilaian	Alokasi Waktu	Sumber Belajar
Memahami Struktur/Ilmu Bahan	Peserta PLPG dapat memahami Struktur/ilmu bahan dan memahami aplikasinya dalam kehidupan	<ul style="list-style-type: none"> • Ilmu Bahan dan Struktur Kristal • Penguatan Logam serta memahami aplikasinya dalam kehidupan 	<ul style="list-style-type: none"> - Instruktur melakukan apresiasi berkaitan dengan Struktur/Ilmu Bahan - Menginforkamsikan sasaran diklat untuk pertemuan yang bersangkutan, yakni dengan memaparkan indikator ketecapaian tujuan umum - Mengkondisikan kelas untuk proses belajar mengajar dengan memberikan ilustrasi yang relevan. Selain itu, melontarkan pertanyaan yang mengarah kepada sasaran diklat - Meminta peserta PLPG untuk mengemukakan pendapat - Memeberikan kesempatan peserta untuk memberikan komentar terhadap hasil pembahasan proses pembelajaran 	<ul style="list-style-type: none"> a. Keaktifan b. Quiz c. Ujian Akhir 	4 x 60 menit	<p>Callister, W. D Jr., Material Science And Engineering, An Introduction, Salt Lake City, Utah, 1985</p> <p>Dieter, G. E., Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill Book Company, London, 1988</p> <p>LA Van Vlack, Sriati Djafrie, Ilmu dan Teknologi Bahan, Erlangga, Jakarta, 1992.</p> <p>Honeycombe, R. W. K., The Plastic Deformation of Metals, Edward Arnold, London, 1977</p> <p>Smallman, R. E., Modern Physical Metallurgy, Butterworth, London, 1976</p> <p>Smith, W. ., Principles of Material Science Engineering, 5 th Edition, Addison Wesley, 1985</p> <p>Thelning, K. E., Steel and ist Heart Treatment, Butterworth, London, 1975.</p>

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI DAN HALAMAN

JUDUL

KATA PENGANTAR	i
DESKRIPSI MATA KULIAH STRUKTUR / ILMU BAHAN	1
SILABUS STRUKTUR / ILMU BAHAN	2
DAFTAR ISI	4
KEGIATAN BELAJAR	7
A. TUJUAN PEMBELAJARAN	7
B. POKOK BAHASAN / SUB POKOK BAHASAN	7
C. MATERI AJAR	7
BAB I KLASIFIKASI DAN SIFAT MATERIAL	8
1.1 Klasifikasi Material	8
1.2 Sifat Material	9
BAB II ATOM DAN IKATAN ATOM PENYUSUN MATERIAL	11
2.1 Sifat Atom	11
2.2 Ikatan Atom	12
2.2.1 Ikatan Kuat	13
2.2.1.1 Ikatan Ion	13
2.2.1.2 Ikatan Kovalen	13
2.2.1.3 Ikatan Logam	14
2.2.2 Ikatan Lemah (Ikatan Sekunder)	15
BAB III STRUKTUR KRISTAL DAN BIDANG GESER	16
3.1 Struktur Kristal	16
3.2 Index Miller	19
3.3 Bidang Geser	21
BAB IV CACAT KRISTAL	25

4.1 Cacat Titik	25
4.1.1 Lowongan (Vacancy)	26
4.1.2 Penggantian (Substitusi)	26
4.1.3 Penyisipan (Intertisi)	27
4.2 Cacat Garis (Dislokasi)	27
4.2.1 Dislokasi sisi (edge dislocation)	27
4.2.2 Dislokasi ulir (screw dislokation)	28
4.3 Cacat Bidang	30
4.3.1 Batas butir (Grain boundary)	30
4.3.2 Garis kembar (Twin)	31
4.4 Cacat Ruang	32
BAB VPENGUATAN LOGAM	33
5.1 Menaikan Jumlah Dislokasi	33
5.2 Proses Perlakuan Panas	33
5.3 Penghalusan Butir	34
5.4 Pemaduan Logam	35
5.4.1 Paduan Biner	35
5.4.2 Syarat Kelarutan	37
5.4.2.1 Aspek geometri	37
5.4.2.2 Aspek Valensi	37
5.4.2.3 Stabilitas larutan (keelektronegatifan)	37
BAB VI DIAGRAM FASA BINER	40
6.1 Jenis Diagram Fasa	40
6.2 Contoh-contoh Diagram Fasa	40
6.2.1 Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair dan padat.	40
6.2.2 Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan larut terbatas dalam keadaan padat:	41
6.2.2.1 Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa eutektik	41

6.2.2.2 Diagram fasa yang mengandung fasa eritektik	42
6.2.2.3 Diagram fasa yang mengandung senyawa Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan ketidaklarutan dalam keadaan padat	42
6.2.4 Diagram Fasa Fe + C	43
6.2 Perubahan Fasa pada Diagram Fasa	44
6.3.1 Diagram fasa yang menunjukka adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair dan padat.	44
6.3.2 Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan lerut terbatas dalam keadaan padat:	51
6.3.2.1 Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa eutektik	51
6.3.2.2 Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa Peritektik	63
D. TUGAS DAN LATIHAN SERTA KUNCI JAWABAN	69
DAFTAR PUSTAKA	70
BANK SOAL DAN KUNCI JAWABAN	71

KEGIATAN BELAJAR

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pembelajaran Mata Kuliah ini ditujukan agar peserta memiliki pemahaman tentang Ilmu Bahan, Struktur Kristal dan Penguatan Logam serta memahaminya aplikasinya dalam kehidupan.

B. POKOK BAHASAN / SUB POKOK BAHASAN

KLASIFIKASI MATERIAL DAN SIFAT MATERIAL

Klasifikasi Material Secara Garis Besar, Sifat Fisik, sifat Mekanik, dan Sifat Teknologi dan Hubungan masing-masing sifat

ATOM DAN IKATAN ATOM PENYUSUN MATERIAL

Ikatan Kuat (Ikatan Primer), dan Ikatan Lemah (Ikatan Sekunder)

STRUKTUR KRISTAL INDEX MILLER DAN BIDANG GESER

Memahami Sel Satuan

Kubus Sederhana (Simple Cubic)

Kubus Pusat Badan (Body Center Cubic)

Kubus Pusat Muka (Face Center Cubic)

CACAT KRISTAL

Cacat Titik

Cacat Garis

Cacat Bidang

PENGUATAN LOGAM DAN APLIKASINYA DALAM KEHIDUPAN

Penambahan Jumlah Dislokasi

Penghalusan Butir

Perlakuan Panas

Pemaduan

DIAGRAM FASA

Diagram Fasa Biner

Contoh-contoh Diagram Fasa

Contoh-contoh Penggunaan Diagram Fasa

C. MATERI AJAR

BAB I

KLASIFIKASI DAN SIFAT MATERIAL

1.1 Klasifikasi Material

Berbagai jenis material digunakan manusia untuk memenuhi keperluan hidupnya. Namun secara garis besar khususnya pada bidang teknik, material teknik dikelompokkan pada tiga kelompok, yakni: logam, non logam, dan komposit.

Logam atau metal adalah material yang paling banyak digunakan pada bidang teknik. Secara garis besar logam dikelompokkan pada dua kelompok, yakni: logam ferro dan logam non ferro. Logam ferro meliputi: besi (iron), baja (steel), dan besi cor (cast iron). Logam non ferro adalah logam selain logam besi, seperti, aluminum, tembaga, magnesium, dan paduan-paduannya.

Material non logam atau material bukan logam, yakni: polimer, dan keramik. Polimer meliputi thermoset dan thermoplastis, yang di dalamnya termasuk juga karet, dan plastik. Sedangkan keramik meliputi keramik konvensional dan keramik modern, dari mulai gerabah, genting ubin, alat rumah tangga, sampai pada keramik modern dan canggih seperti semikonduktor, komponen elektronik sampai pada komponen pesawat luar angkasa yang tahan temperatur tinggi.

Komposit diartikan sebagai gabungan beberapa bahan, dimana bahan-bahan yang digabung masih bisa terlihat dengan mata telanjang. Sebagai contoh: beton, ban mobil, dan fiberglass. Beton merupakan komposit gabungan keramik dengan logam, yang bila beton dipotong masih terdapat atau terlihat logam baja dan tembok sebagai bahan keramiknya. Ban mobil merupakan bahan komposit gabungan polimer dan logam, yang bila dipotong, akan terlihat karet sebagai bahan polimer dan kawat baja sebagai bahan logamnya. Fiberglass merupakan bahan komposit gabungan polimer dengan keramik, dimana pada bahan tersebut terlihat

serat-serat sebahen bahan keramiknya, dan plastik sebagai bahan polimernya yang juga merupakan matriknya.

1.2 Sifat Material

Material dimanfaatkan oleh manusia karena material punya sifat-sifat (propertis) yang dibutuhkan manusia, seperti logam dimanfaatkan karena punya sifat: kuat, keras, pengantar panas, pengantar listrik, dan diforinable (mudah dibenruk). Sedangkan sifat-sifat (proferties) itu sendiri secara garis besar dikelompokkan pada tiga, yakni: sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat teknologi. Contoh sifat-sifat tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Sifat fisik : kapasitas panas, koefisien muai, ketahanan korosi, dan koefisien gesek
2. Sifat mekanik : kuat, keras, ulet, dan tangguh.
3. Sifat teknologi : mampu bentuk, mampu las, dan mampu mesin.

Sifat fisik adalah sifat yang dihubungkan dengan keadaan fisik material tersebut. Sedangkan sifat mekanik adalah sifat logam yang dikaitkan dengan kelakuan logam tersebut jika dibebani dengan beban mekanik.

Beban mekanik dikelompokkan pada dua, yakni: Beban statik, dan beban dinamik. Beban stastik adalah beban yang tidak berubah terhadap waktu, dan beban dinamik adalah beban yang berubah terhadap waktu, seperti beban angkot, atau beban pada kursi dimana yang duduknya ganti-ganti.

Sifat teknologi adalah sifat yang dikaitkan dengan kemudahan material untuk diproses. Contoh: mampu mesin (machining ability), mampu las (welding ability), dan mampu bentuk, (forming ability). Sifat-sifat material di atas diperoleh dengan melakukan 'pengujian'.

Dalam prakteknya antara sifat-sifat tersebut saling berpengaruh satu dengan yang lainnya dan memungkinkan pengetahuan berkembang terus. Kalau sifat mekanik bagus, maka sifat teknologinya tidak. Kalau sifat teknologinya bagus, sifat yang lainnya tidak. Contoh: Baja yang kuat maka tidak tahan korosi, maka

dilapisi Zn (seng), sehingga ketahanan korosi naik. Sifat keras, maka tak mudah dibentuk. Sifat fisik lebih lanjut dibahas pada struktur dan sifat fisik material, sedang yang banyak dibahas disini "sifat mekanik dan sifat teknologi teknik pembentukan, pelapisan dan seterusnya.

Sifat-sifat di atas diperoleh dengan cara pengujian, dan pada pengujian harus ada: prosedur uji dan peralatan uji. Karena hasil pengujian harus bisa dibandingkan :artinya prosedur uji harus mengikuti standar uji (begitu juga peralatan ujinya). Standar uji yang harus diikuti tergantung permintaan konsumen. Contoh DIN (jerman), JIS (Jepang), ASTM (USA), dan SNI (Indonesia).

Peralatan uji harus menghasilkan data yang sama setiap saat. Untuk itu harus dilakukan proses kalibrasi di lab. Met. industri. Contoh timbangan. Umur kalibrasi berbeda-beda, ada yang 6 bulan, 1 tahun, tiap dipakai dan seterusnya, tergantung jenis alatnya.

Pengujian yang harus dilakukan tergantung sifat apa yang ingin diperoleh. Jika sifat mekanik yang diinginkan, maka dpengujian mekanik yang dilakukan. Untuk mengetahui sifat mekanik, maka dilakukan uji mekanik (mech testing). Ada dua jenis pengujian mekanik jika dikaitkan dengan bebannya, yakni: uji mekanik dengan beban ' pembebanan statik', dan uji mekanik dengan beban 'penbebanan dinamik'. Contoh pengujiannya, yakni:

- Beban Statik : uji tarik (tensile test), uji puntir (tortion test), uji bentuk (incompact test), uji keras (hardness test), uji mulur (creep test).
- Beban dinamik : uji lelah (fatigue test)

Catatan. Beban statis itu tak murni statis sehingga dalam praktek di sebut juga quasi static.

Sifat-sifat di atas perlu diketahui. Tujuannya supaya bisa menganalisis untuk proses pemilihan bahan dan proses pembuatan product pada saat mendesign.

BAB II

ATOM DAN IKATAN ATOM PENYUSUN MATERIAL

2.1 Sifat Atom

Pada material padat, atom-atom saling terikat. Ikatan inilah yang memberikan kekuatan dan menentukan sifat-sifat dari material tersebut. Sebagai contoh ikatan yang kuat akan mengakibatkan titik cair yang tinggi, modulus elastis tinggi, dan koefisien muai yang rendah. Karena besar pengaruhnya terhadap sifat-sifat material tersebut, maka pada bab ini dibahas tentang atom dan ikatannya.

Pada ilmu material, atom dianggap sebagai satuan dari struktur intern. Dalam hal ini, bisa dijelaskan tentang atom sebagai berikut:

1. Atom-atom terdiri dari
 - Inti
 - Elektron yang berputar mengelilingi inti, yang berkaitan dengan
 - i. Karakteristik magnetic
 - ii. Kuantifikasi dari level energi
- Catatan :
- (1) inti terdiri dari proton dan neutron
 - (2) massa proton >>>> massa elektron
 - (3) proton bermuatan positif (+), elektron bermuatan negatif (-), dan neutron bermuatan netral.
2. Suatu atom pada hakekatnya adalah netral
 - Massa atom didasarkan pada massa proton
 3. Sifat atom erat kaitannya dengan jumlah elektron yang terdapat pada kulit (kulit terluar)
 - Atas dasar hal ini (kulit terluar) maka disusun table DAFTAR PERRIODIK yang dibuat oleh MENDELEYEV
-

- Akibatnya :
 - i. Dapat dikenal atom-atom dengan konfigurasi STABIL dan TIDAK STABIL dari susunan konfigurasi elektron.
 - ii. Contoh : atom-atom yang terletak pada kolom yang paling kanan (gas mulia) termasuk kategori STABIL, sedangkan atom-atom disebelah kiri TIDAK STABIL.

Analisisnya sbb :

1. He memiliki 2 elektron pada lintasan luar
2. Selain He (misalnya: Argon, Xenon, Neon, dsb) memiliki 8 elektron pada lintasan luarnya, dari 8 elektron ini diturunkan teori tentang STABILITAS ATOM yang dikenal dengan teori OKTET

Catatan:

1. Atom-atom yang tidak stabil akan mengarah sehingga perlu tambahan elektron (dari atom sejenis atau dari atom lain)
2. Atas dasar tersebut maka diturunkan konsep IKATAN ATOM (atomic bonding) dalam beberapa literatur disebut juga IKATAN KIMIA (chemical bonding)

Dengan adanya pengertian ikatan, maka dapat dianalisis sifat ikatannya:

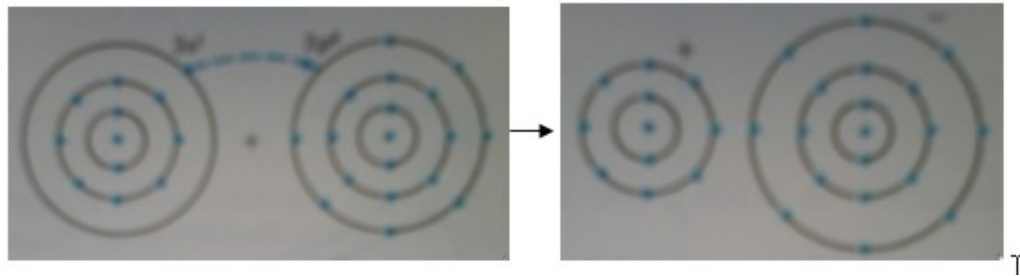
2.2 Ikatan Atom

Ikatan atom dikelompokkan pada dua, yakni ikatan kuat (ikatan primer), dan ikatan lemah (ikatan sekunder). Ikatan kuat meliputi: ikatan ion (ikatan elektrovalen), ikatan kovalen (ikatan homopolar), dan ikatan logam (ikatan kovalen sesaat). Sedangkan ikatan lemah (ikatan sekunder), yakni ikatan van der Waals.

2.2.1 Ikatan Kuat

2.2.1.1 Ikatan Ion

Ikatan yang diakibatkan oleh gaya elektrostatis diantara atom-atom yang berikatan, karena adanya transfer elektron (agar timbul konfigurasi oktet atau dua) Akibat dari perpindahan elektron yang menerima jadi negatif dan melepaskan jadi positif.



Gambar 1. Ikatan Ion

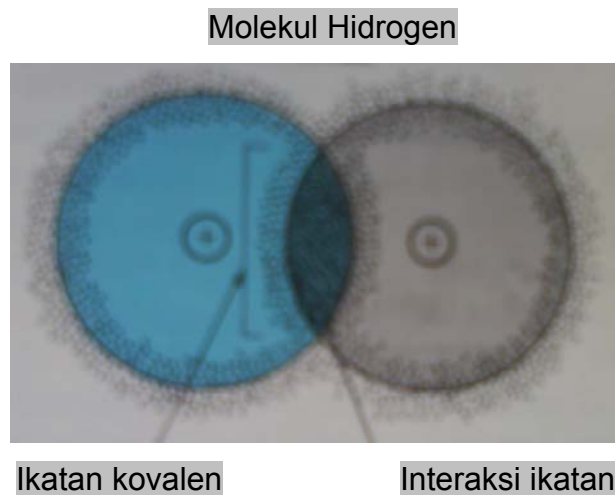
Contoh : Ikatan $\text{Na}_{11} \text{Cl}_{17} \rightarrow \text{NaCl}$

Ikatannya sangat kuat

Titik cair menjadi tinggi

2.2.1.2 Ikatan Kovalen

Ikatan kovalen terbentuk karena penggunaan elektron secara bersama-sama



Gambar 2. Ikatan Kovalen

Contoh : H

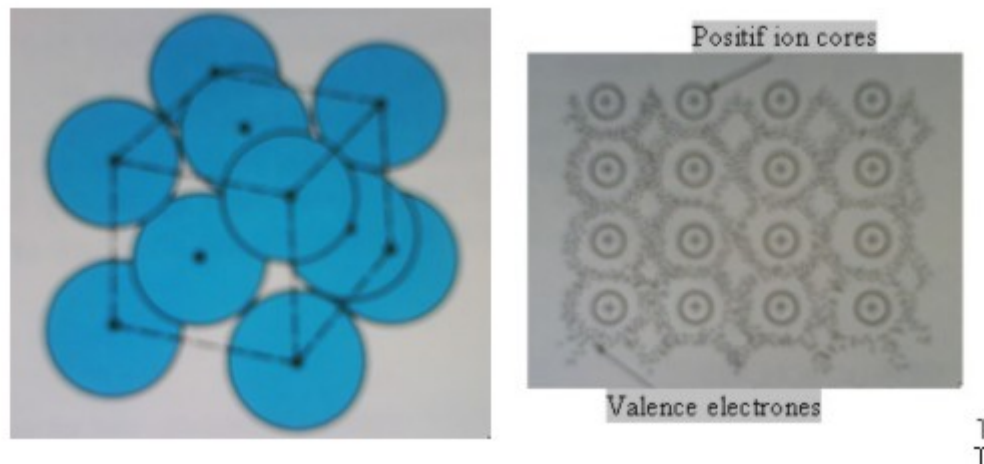


(1) Intan(karbon berikatan dengan karbon lainnya), tidak ada elektron yang bebas, sehingga keras.

(2) Grafit (salah satu lengan elektronnya tidak digunakan oleh ikatan. Elektron yang tidak digunakan meenjadi lemah, memiliki elektron bebas.

Grafit disebut juga ikatan kovalen tidak tentu, bisa dibuat intan buatan dengan cara metalurgi.

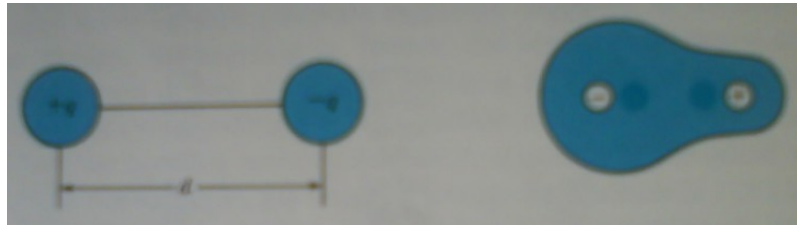
2.2.1.2 Ikatan Logam



Gambar 3. Ikatan Logam

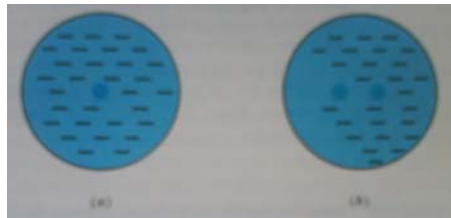
1. Logam terdapat ditengah pada susunan berkala unsur, sehingga disebut **TRANSISI**; ada penyimpangan dalam pengisian orbit oleh elektron.
 2. Disebut juga ikatan kovalen sesaat; yang berperan dalam ikatan yang tidak hanya elektron pada **kulit** terluar, tapi juga pada kulit dalam. Melibatkan seluruh elektron dalam berikatannya (membentuk aan elektron)
 3. sifat ikatannya relatif rendah dibanding ikatan ion dan ikatan kovalen.
-

2.2.2 Ikatan Lemah (Ikatan Sekunder)

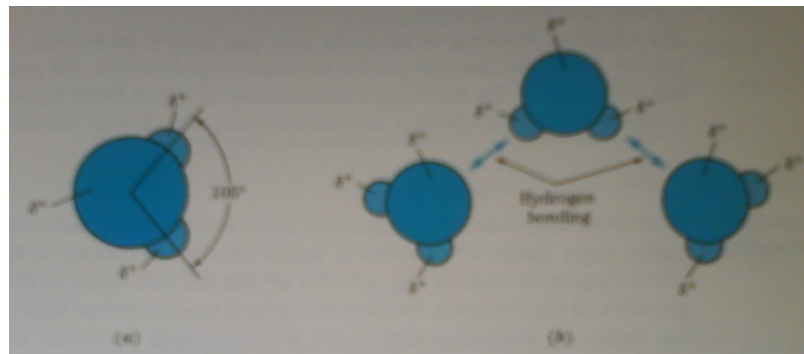


Gambar 4a. Ikatan Van Der Walls

Hanya karena efek polaritas, dikemukakan oleh **Van Der Walls**



Gambar 4b. Ikatan Van Der Walls



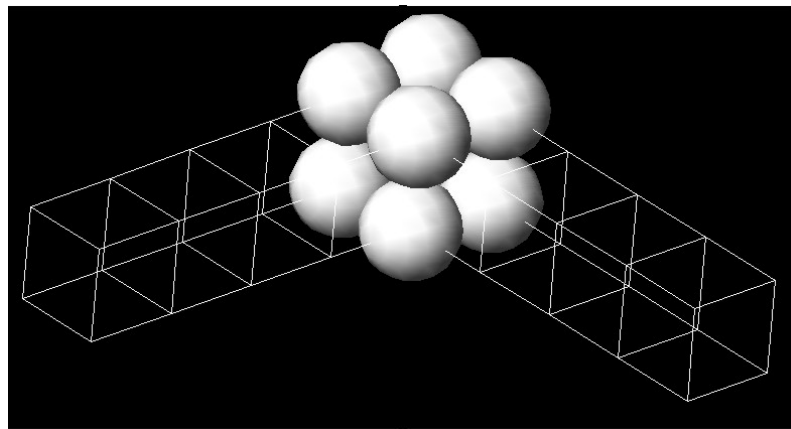
Gambar 4c. Ikatan Van Der Walls

BAB III

STRUKTUR KRISTAL DAN BIDANG GESER

3.1 Struktur Kristal

Kristal adalah susunan atom-atom yang mengatur diri secara teratur dan berulang pada pola tiga dimensi. Semua logam, sebagian besar keramik, dan beberapa polimer akan membentuk kristal ketika bahan tersebut membeku. Pola ini kadang-kadang menentukan bentuk luar dari kristal, contoh bentuk enam bunga salju, batu mulia, kristal kwarsa (SiO_2) dan garam biasa (NaCl). Bagian terkecil dari struktur kristal yang berulang disebut *sel satuan*.



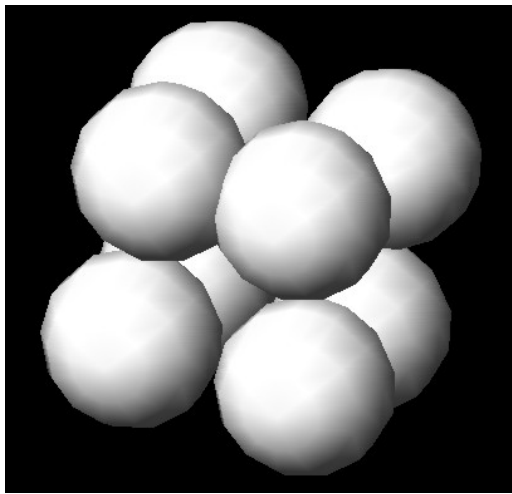
Gambar 5. Susunan atom terkecil yang berulang pada pola 3 dimensi

Kristal memiliki tujuh jenis sel satuan, diantaranya kubus, tetragonal, dan heksagonal. Secara umum logam memiliki sel satuan kubus dan heksagonal, sedangkan secara khusus besi atau baja memiliki sel satuan kubus.

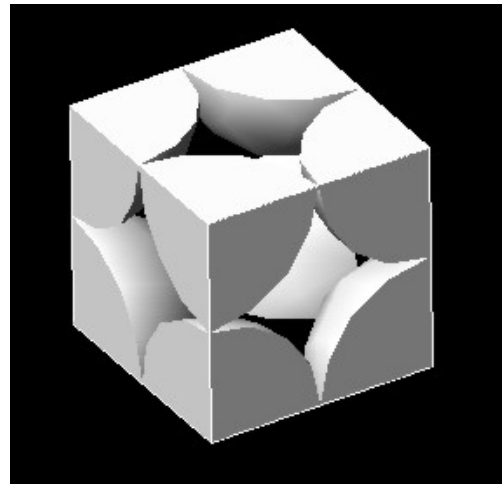
Sel satuan kubus terdiri dari tiga jenis, yakni: kubus sederhana, kubus pusat badan, dan kubus pusat muka. Adapun karakteristik masing-masing adalah sebagai berikut:

1. KUBUS SEDERHANA / *SIMPLE CUBIC (SC)*:

- a. Jumlah atom pada tiap sel satuan (N_A/ss) = 8
- b. Jumlah volume atom pada tiap sel satuan ($N_{VA/ss}$) = $(8 \times 1/8) = 1$
- c. Bilangan Koordinasi (BK) = 6, BK adalah atom tetangga, yakni atom terdekat yang jaraknya sama.
- d. $a = 2r$, yakni panjang sisi kubus sama dengan dua kali jari-jari atom.



(a)

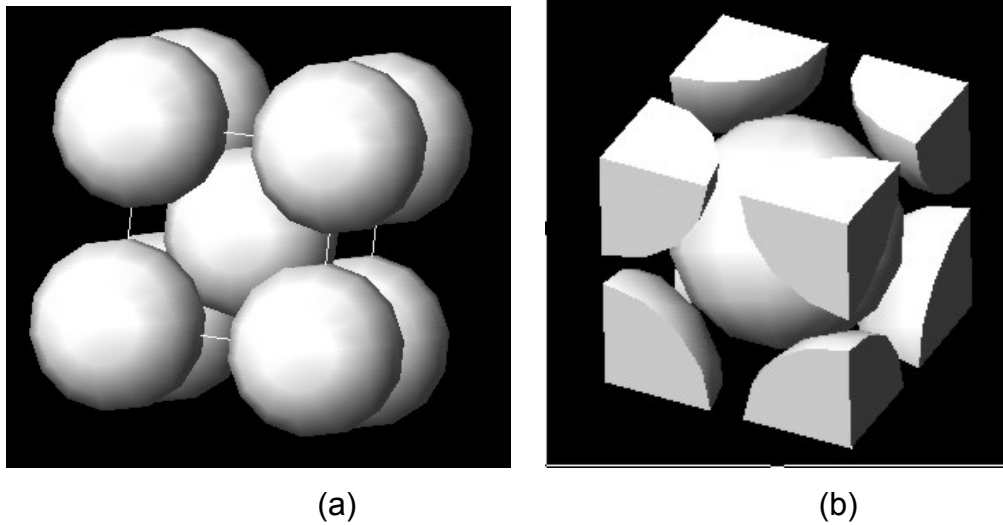


(b)

Gambar 6. (a) Susunan atom pada Sel satuan SC. (b) Sel satuan SC yang dimiliki oleh satu sel satuan SC.

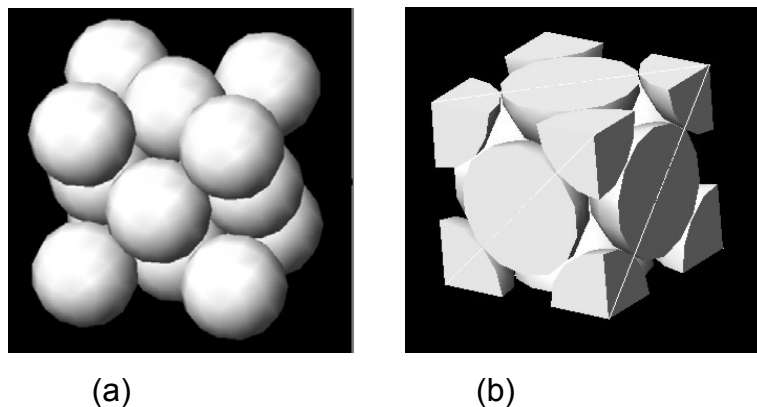
2. KUBUS PUSAT BADAN / *BODY CENTERED CUBIC (BCC)*:

- a. Jumlah atom pada tiap sel satuan (N_A/ss) = $(8 + 1) = 9$
 - b. Jumlah volume atom pada tiap sel satuan ($N_{VA/ss}$) = $(8 \times 1/8 + 1) = 2$
 - c. Bilangan Koordinasi (BK) = 8
 - d. $a = 4r / \sqrt{3}$
-



Gambar 7. (a) Susunan atom pada Sel satuan BCC. (b) Sel satuan BCC yang dimiliki oleh satu sel satuan BCC.

3. KUBUS PUSAT MUKA / *FACE CENTERED CUBIC (FCC)*:



Gambar 8. (a) Susunan atom pada Sel satuan FCC. (b) Sel satuan FCC yang dimiliki oleh satu sel satuan FCC.

- a. Jumlah atom pada tiap sel satuan (N_A/ss) = $(8 + 6) = 14$
 - b. Jumlah volume atom pada tiap sel satuan ($N_{VA/ss}$) = $(8 \times 1/8 + 3) = 4$
 - c. Bilangan Koordinasi (BK) = 12
 - d. $a = 4r / \sqrt{2}$
-

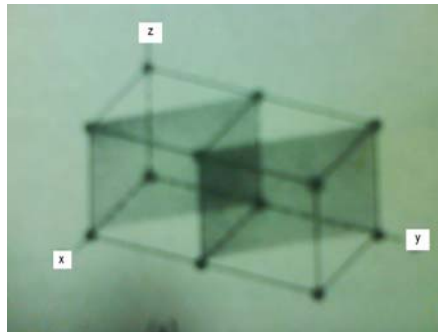
3.2 Index Miller

Index Miller digunakan untuk mengidentifikasi bidang, arah-arah, dan posisi atom pada sel satuan. Memberikan index bidang pada satu sel satuan, dilakukan dengan tahapan sebagaiberikut:

- Tahap 1. tentukan sumbu-sumbu yang ada pada sel satuan tempat bidang yang akan ditentukan index millernya
- Tahap 2. tentukan nilai atau jarak dari pusat sumbu ke titik potong bidang pada tiap sumbu.
- Tahap 3. tentukan nilai kebalikannya dari tiap titik potong pada setiap sumbu
- Tahap 4. tuliskan tanda kurung buka dan tutup dari tahap 3 sebagai index millernya.

Contoh 1

menentukan index miller dari bidang di bawah, adalah sebagai berikut:

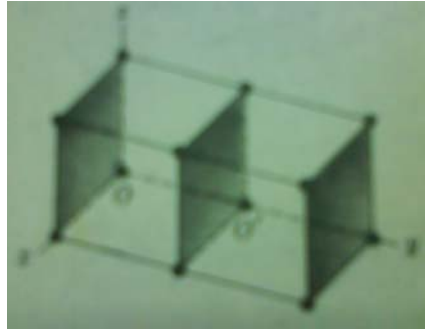


Gambar 9a. Bidang dengan Index Miller (110)

Tahap 1. tentukan sumbu-sumbu	X	Y	Z
Tahap 2. tentukan nilai titik potong bidang	1	1	∞
Tahap 3. tentukan nilai kebalikannya	1/1	1/1	1/ ∞
Tahap 4. tuliskan tanda kurung sebagai index millernya.	(1 1 0)		

Contoh 2

menentukan index miller dari bidang di bawah, adalah sebagai berikut:



Gambar 9b. Bidang dengan Index Miller (010)

Tahap 1. tentukan sumbu-sumbu	X	Y	Z
Tahap 2. tentukan nilai titik potong bidang	∞	1	∞
Tahap 3. tentukan nilai kebalikannya	$1/\infty$	$1/1$	$1/\infty$
Tahap 4. tuliskan tanda kurung sebagai index millernya.	(0 1 0)		

Index miller untuk bidang ditandai dengan tanda kurung, contoh (110), sedangkan kelompok bidang ditandai dengan tanda kurawal, contoh {110}, yang meliputi bidang (110), (101), (-101), dan seterusnya. Arah bidang merupakan arah yang tegak lurus dengan bidang, dan ditandai dengan tanda [], sedangkan kelompok arah bidang ditandai dengan tanda < >.

Index miller bermanfaat juga untuk menghitung jarak antar bidang (d)

$$d = \frac{a}{\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}}$$

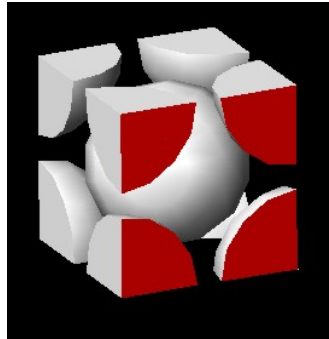
Pada x-ray difraksi, digunakan untuk menghitung jarak antar bidang (d) pada Hukum Bragg:

$$2 d \sin \Theta = n \lambda$$

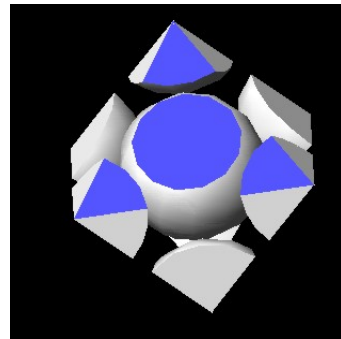
dimana λ adalah panjang gelombang

3.3 Bidang Geser

Bidang geser adalah bidang tempat bergesernya atom-atom. Pada tiap sel satuan, bidang geser terjadi pada bidang yang paling padat oleh atom. Pada BCC, bidang gesernya terletak pada bidang diagonalnya, yang jumlahnya ada 6, sistem gesernya 12.

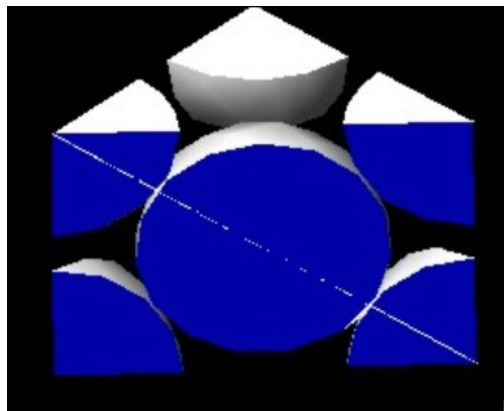


(a)



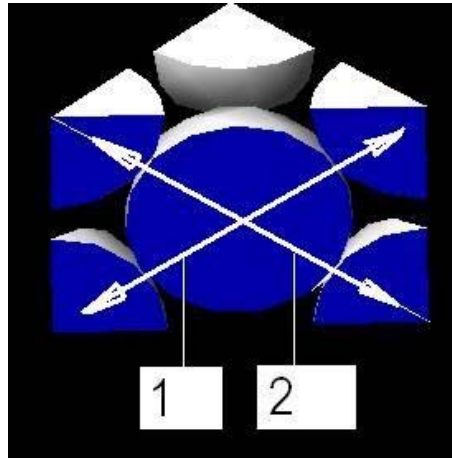
(b)

Gambar 10.(a) Bidang sisi $\{100\}$ pada BCC. (b) Bidang $\{111\}$ pada BCC.



(c)

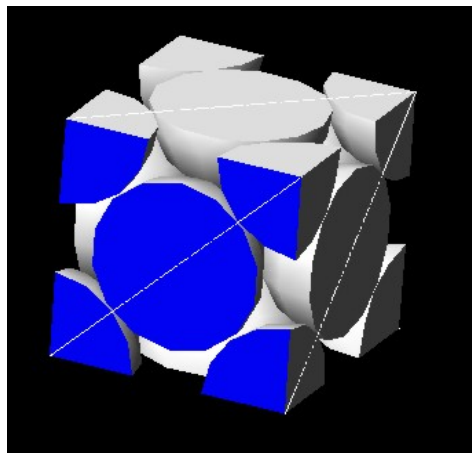
Gambar 10 (c) Bidang diagonal ruang $\{110\}$, sebagai bidang paling padat dan jadi bidang geser pada sel satuan BCC.



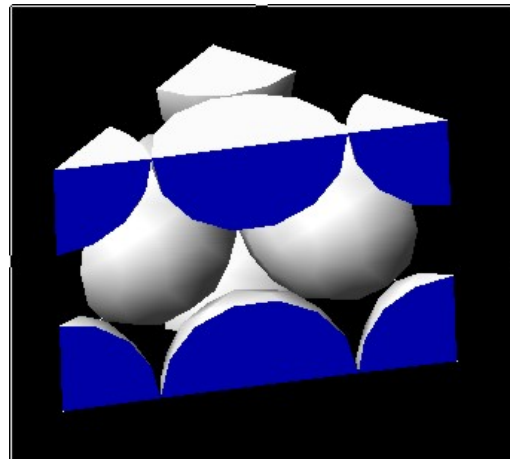
Gambar 10(d) Dua Sistem geser atom pada bidang geser sel satuan BCC
 Dari gambar-gambar BCC di atas diperoleh:

- Bidang geser = 6
- Sistem geser = $(6 \times 2) = 12$

Sedangkan pada sel satuan FCC, bidang geser terjadi pada bidang (111) yang jumlahnya ada 8. Adapun sistem gesernya ada 24 yang diperoleh dari 8 bidang yang masing-masing bidang memiliki 3 sistem geser.

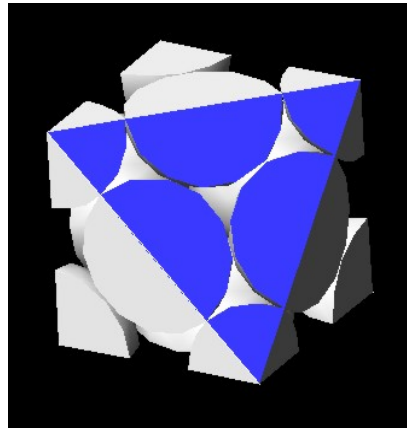


(a)

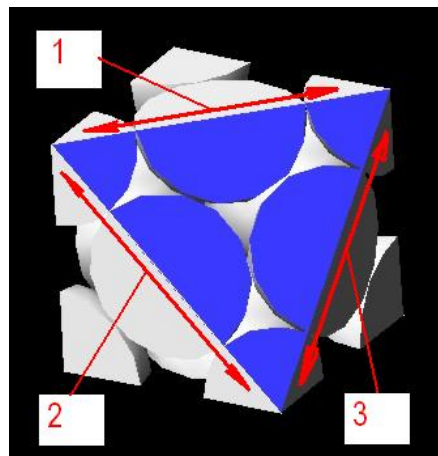


(b)

Gambar 11. (a) Bidang sisi $\{100\}$ pada FCC. (b) Bidang $\{110\}$ pada FCC



Gambar 12. Bidang $\{111\}$, sebagai bidang paling padat dan jadi bidang geser pada sel satuan FCC.



Gambar 13. Tiga Sistem geser atom pada bidang geser sel satuan FCC

Sehingga dari gambar-gambar di atas, pada FCC diperoleh”

- Bidang geser = 8
- Sistem geser = $(8 \times 3) = 24$

Besi atau baja memiliki sel satuan kubus BCC dan FCC, karena besi memiliki sifat **polytropy**, yakni memiliki lebih dari satu sel satuan, dan bersiat **alotropy**, yakni merubah sel asatuannya dari BCC \rightarrow FCC \rightarrow BCC. BCC terjadi pada Fe dengan temperatur $< 910^{\circ}\text{C}$, lalu berubah jadi FCC jika temperatur berada

diantara $910 - 1350^{\circ}\text{C}$, kemudian berubah kembali menjadi BCC jika temperatur naik dan berada diantara $1350 - 1535^{\circ}\text{C}$.

Perubahan sel satuan pada besi akan merubah sifatnya, secara khusus sifat mekaniknya yang diakibatkan oleh berubahnya jumlah bidang dan sistem geser pada tiap sel satuan. Makin banyak bidang dan sistem geser maka atom makin mudah bergeser yang berarti besi makin lunak dan makin mudah dibentuk.

Bidang geser adalah bidang tempat bergesernya atom-atom. Pada tiap sel satuan, bidang geser terjadi pada bidang yang paling padat oleh atom. Bidang geser pada sel satuan BCC terjadi pada kelompok bidang $\{110\}$ yang berjumlah 6 bidang geser dan tiap bidang geser memiliki 2 sistem geser atau total sistem geser sebanyak 12. Sedangkan Bidang geser pada sel satuan FCC terjadi pada kelompok bidang $\{111\}$ yang berjumlah 8 bidang geser dan tiap bidang geser memiliki 3 sistem geser atau total sistem geser sebanyak 24. Pada sel satuan FCC besi 2 kali lebih mudah untuk dibentuk dibanding pada sel satuan BCC, dan karena kondisi ini pula yang dimanfaatkan agar besi mudah dibentuk, maka besi dipanasi sampai sel satuannya berubah menjadi FCC, sebelum dibengkokkan atau dibentuk, seperti yang dilakukan pada saat pengerolan panas, pembentukan golok, atau lainnya.

Setelah besi atau baja dibentuk menjadi benda misalnya golok, maka supaya memiliki kekerasan yang tinggi, maka golok tersebut dipanaskan kembali sampai sel satuannya berubah kembali menjadi FCC, kemudian di quench atau didinginkan mendadak pada air atau media pendingin lain. Setelah diquench, struktur mikro baja dalam hal ini besar butirnya akan halus karena tidak sempat berkembang, dan sel satuan berubah menjadi BCT yang di dalamnya ada unsur karbon yang terjebak yang mengakibatkan medan tegangan pada atom-atom Fe disekitarnya sehingga Fe susah bergerak, dan akibatnya baja menjadi keras.

BAB IV

CACAT KRISTAL

Cacat pada material selalu ada, secara khusus cacat pada kristal. Jika susunan atom dalam ruang terjadi dengan sempurna, maka logam dalam keadaan padat akan sangat kuat, dengan kekuatan yang dimiliki sebesar:

$$\tau = \frac{G}{2\pi} \quad \text{dimana, } G = \text{Modulus geser}$$

namun dalam kenyataannya, susunan atom tidak pernah sempurna. Hal ini diakibatkan adanya:

1. efek **vibrasi** yang ada pada atom, sehingga atom mudah pindah
2. inklusi atau adanya atom asing
3. gaya-gaya dari luar yang memungkinkan atom-atom berpindah tempat, contoh: beban termal, dan beban mekanik

akibat adanya ketidaksempurnaan susunan atom, maka kekuatan menjadi turun.

Adapun jenis-jenis ketidaksempurnaan atau jenis-jenis cacat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Cacat titik (Point defect)
2. Cacat garis (Line defect)
3. Cacat bidang
4. Cacat ruang/volume (miss:pororitas)

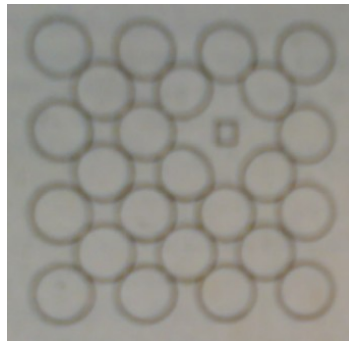
4.1 Cacat Titik

Cacat titik atau point defect terdiri dari tiga jenis cacat, yakni lowongan (vacancy), penggantian atom (substitusi), dan penyisipan atom (interstisi).

Substitusi atau interstisi, ditentukan oleh ukuran atau diameter atom asingnya. Interstisi jika atom yang nyisip lebih kecil dengan perbedaan diameter atom lebih besar dari 15%. Sedangkan substitusi jika diameter atom hampir sama atau perbedaan diameter atom lebih kecil dari 15%.

4.1.4 Lowongan (Vacancy)

Cacat titik lowongan, yakni cacat yang diakibatkan satu atom hilang dan tempatnya kosong tidak terisi.



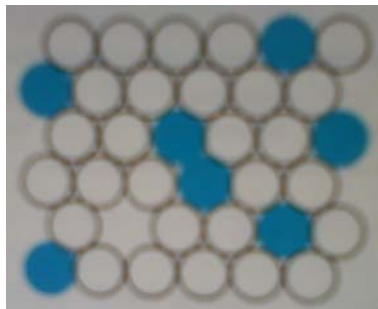
Gambar 14. Cacat titik Vacancy

Cacatan :

- Lowongan memudahkan atom untuk berpindah tempat
- Proses pemindahan atom dari suatu tempat ke tempat lain disebut DIFUSI

4.1.5 Penggantian (Substitusi)

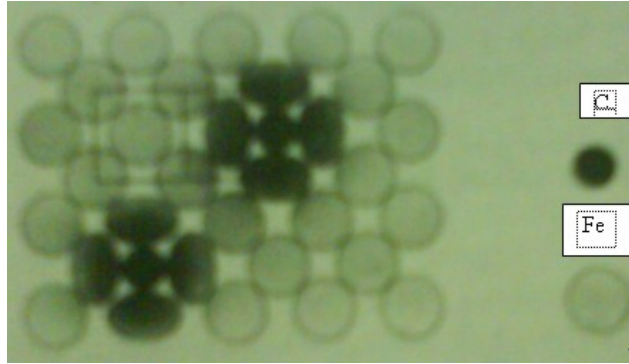
Cacat titik Substitusi, yakni cacat yang diakibatkan satu atom diganti oleh atom lain yang diameternya hampir sama atau lebih besar



Gambar 15. Cacat titik Substitusi

4.1.6 Penyisipan (Intertisi)

Cacat titik interstisi, yakni cacat yang diakibatkan satu atom asing yang lebih kecil, nyisip di rongga



Gambar 16. Cacat titik Lowongan

Apa akibatnya terhadap karakteristik lattice?

Ingat :

$$F = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

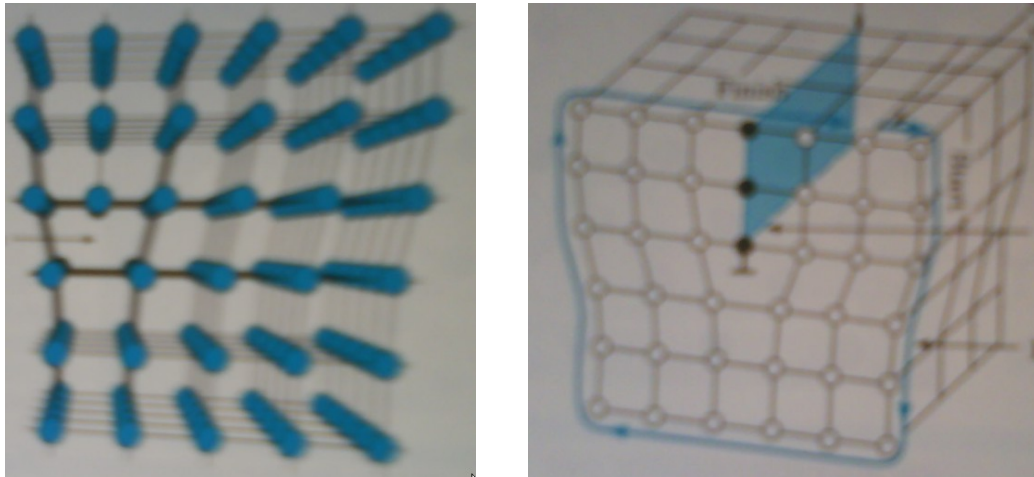
Akibatnya akan terjadi distorsi

4.2 Cacat Garis (Line Defect)

Cacat garis disebut juga dislokasi atau dislocation. Dislokasi terbagi dua, yakni dislokasi sisi (edge dislocation), dan dislokasi ulir (screw dislocation).

4.2.1 Dislokasi sisi (edge dislocation)

Dislokasi sisi terjadi jika garis dislokasinya tegak lurus dengan vector BURGER

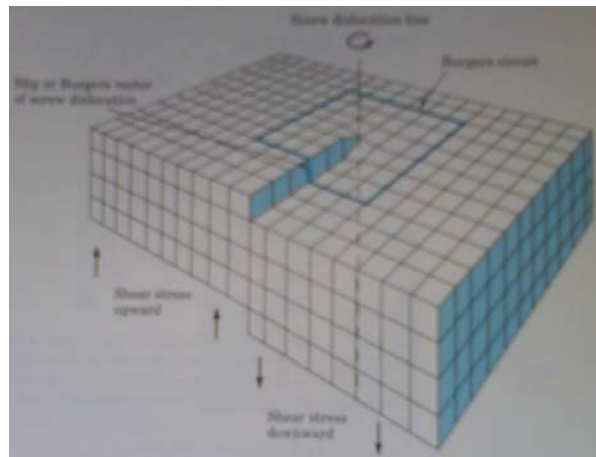


(a)

(b)

Gambar 17 Dislokasi sisi

4. 2.2 Dislokasi ulir (screw dislokation)

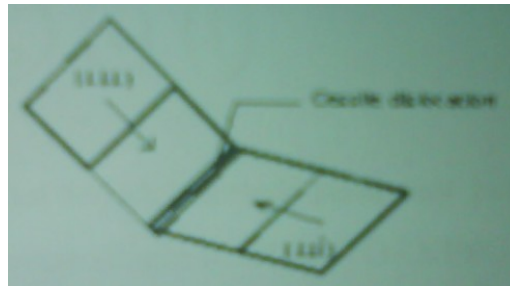


Gambar 18 Dislokasi Ulir

Catatan :

- Garis dislokasinya sejajar dengan vector BURGER
 - jika dislokasinya diteruskan sampai permukaan, maka akan terjadi DEFORMASI
 - Dibawah pengaruh tegangan (dimana tegangan $> \sigma_y$ material tersebut), maka dislokasi dapat bergerak (hanya yang terletak pada bidang geser)
-

- Dislokasi akan bergerak terus jika tegangan lebih besar dari σ_y , sehingga ke dua dislokasi akan bertemu, maka vector bergeser tidak terletak pada bidang geser akan menyebabkan terkuncinya dislokasi (CESSILE DISLOCATION)

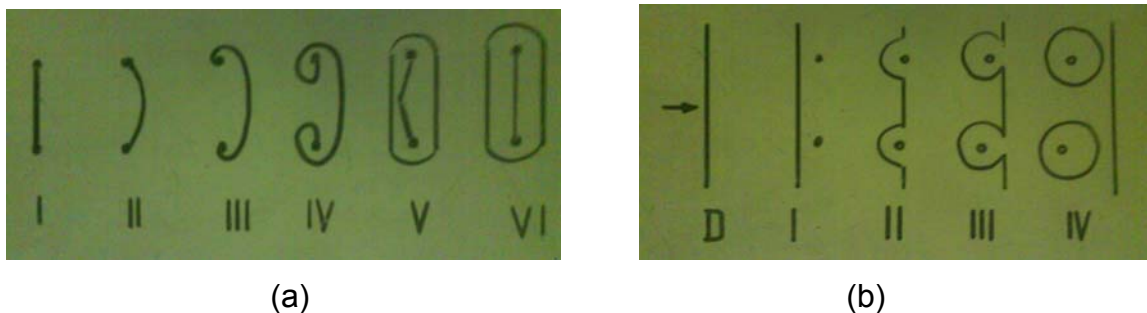


Gambar 19 Cessil Dislocation

- Mudah tidaknya dislokasi digerakkan erat kaitannya dengan kekuatan logam atau ketahanan terhadap DEORMASI PLASTIS
- Gerakan yang mencapai permukaan logam menandakan logam tersebut telah mengalami deformasi.
- Agar logam kuat maka buatlah dislokasinya agar tidak/sukar bergerak

jika kedua dislokasi bertemu maka dislokasinya akan sempurna (dislokasi makin banyak)

Pola MULTIPLIKASI DISLOKASI seperti gambar berikut disebut pola “**FRANK-REED**”



(a)

(b)

Gambar 20 Multiplikasi Dislokasi

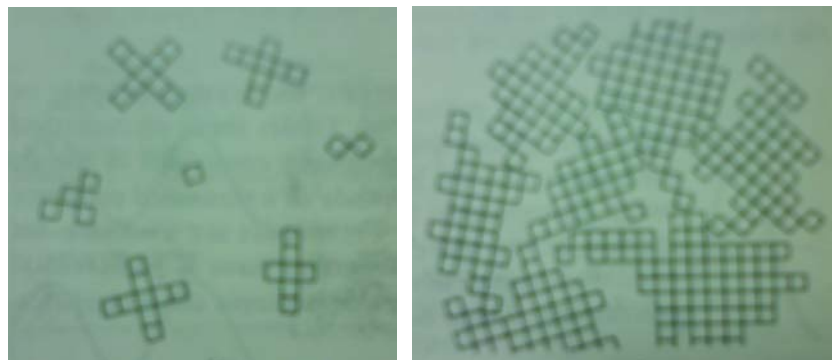
Pola tersebut terjadi saat pengerjaan logam mengalami pengerjaan dingin (COLD WORKING). Maka tinggi dislokasi, logam makin keras, disebut STRAIN HARDENING (jika beban $> \sigma_y$). Yang menghambat suatu dislokasi biasanya merupakan dislokasi lain atau bisa juga penyebab yang lain (misalnya :pelarut)

4.3 Cacat Bidang

Cacat bidang adalah cacat pada atom, dimana satu bidang atom mengalami cacat. Cacat bidang terbagi jadi dua, yakni: batas butir (Grain boundary), dan garis kembar (Twin).

4.3.3 Batas butir (Grain boundary)

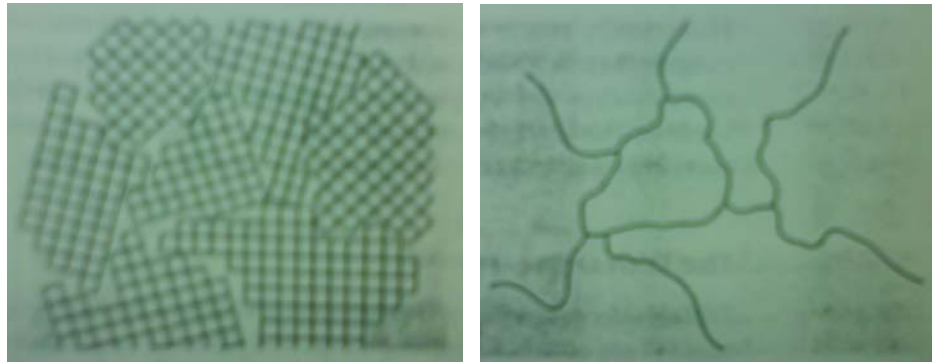
Batas butir merupakan garis batas yang terjadi dari pertemuan orientasi butir yang berbeda. Awalnya ketika terjadi pembekuan, pembekuan dimulai dari dari satu titik pengintian dengan orientasi butir yang berbeda dari tiap titik pengintian padat, sebagaimana terlihat pada gambar 21 a. Tiap butir berkembang terus mengikuti orientasi butir masing-masing, sejalan dengan berkurangnya temperatur, sebagaimana terlihat pada gambar 21 b. Tiap butir berkembang terus mengikuti orientasinya sampai bertemu atau berpotongan dengan orientasi butir lain, sebagaimana terlihat pada gambar 21 c. Garis pertemuan atau perpotongan tiap butir disebut batas butir, sebagaimana terlihat pada gambar 21 d. Batas butir inilah yang teramati pada mikroskop optik.



(a)

(b)

Gambar 21 Pembentukan batas butir



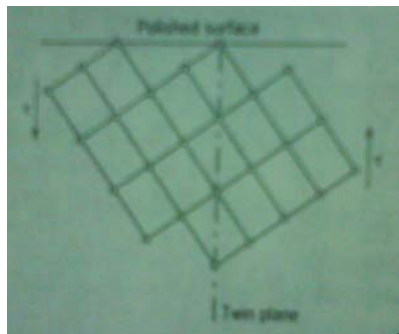
(c)

(d)

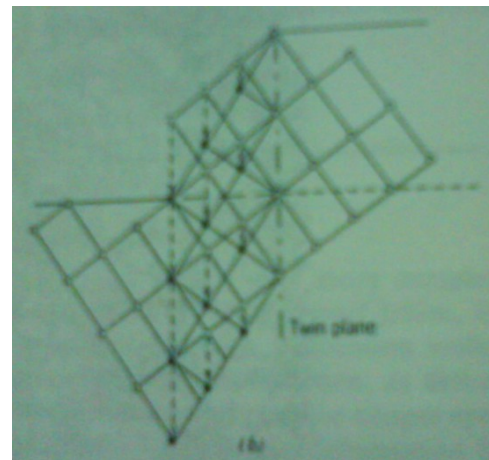
Gambar 21 Pembentukan batas butir

4.3.4 Garis kembar (Twin)

Garis kembar (Twin) adalah dua garis sejajar yang terjadi akibat slip, dan ini terjadi pada material yang memiliki banyak bidang slip atau bidang geser, yakni material yang memiliki sel satuan FCC.

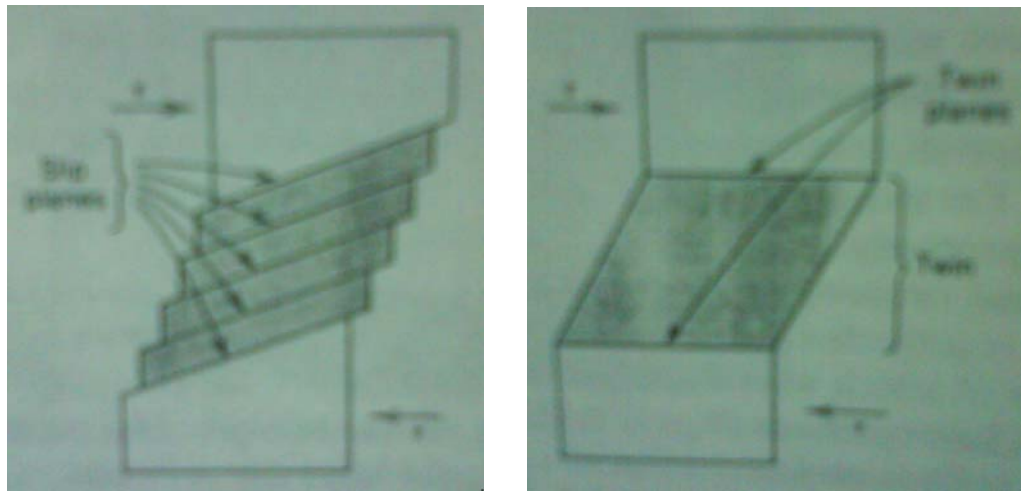


(b)



(b)

Gambar 22 Garis kembar (Twin)



(a)

(b)

Gambar 22 Garis kembar (Twin)

Garis kembar terjadi karena butir-butir saling berdesakan

Butir halus → logam kuat

→ batas butir banyak akibatnya cacat bidang banyak, karena terjadi banyak dislokasi

4.4 Cacat Ruang

Cacat ruang adalah cacat apabila satu ruangan atom hilang. Cacat ini bisa dikenali juga sebagai porositas. Pada logam besi cor, porositas ini bisa terjadi akibat udara yang terjebak saat pengecoran.

BAB V

PENGUATAN LOGAM

Logam dengan atom-atom yang sama disebut logam murni. Pada kenyataannya, jarang sekali ditemukan logam murni, selain itu seperti halnya emas murni kekuatannya rendah atau lunak, dan untuk memperkuatnya logam dipadu. Selain dipadu, penguatan logam bisa dilakukan dengan penghalusan butir, menaikkan jumlah dislokasi, dan proses perlakuan panas.

5.1 Menaikan Jumlah Dislokasi

Menaikan jumlah dislokasi dilakukan dengan pengerjaan dingin, yakni dilakukan dengan cara memberikan gaya atau beban mekanik seperti gaya tarik, gaya tekan, gaya bengkok dan gaya lainnya. Penambahan gaya akan menyebabkan bergerak dislokasi. Pergerakan dislokasi yang melewati angker yang berupa inklusi, atom asing, atau sessil dari dislokasi lain, maka dislokasi yang bergerak sesuai sifatnya, akan terjadi multiplikasi dislokasi atau pelipatgandaan jumlah dislokasi.

Makin banyaknya jumlah dislokasi akan menyebabkan atom atau dislokasi lain susah bergerak, terlebih bergerak sampai ke permukaan. Sedangkan deformasi atau perubahan bentuk itu sendiri diakibatkan oleh pergerakan atom atau pergerakan dislokasi sampai ke permukaan. Sehingga untuk menggerakkan atom atau dislokasi sampai ke permukaan diperlukan gaya atau energi yang lebih besar. Perlunya energi yang lebih besar untuk merubah bentuk material maka ini berarti material ini menjadi lebih keras.

5.2 Proses Perlakuan Panas

Perlakuan panas pada logam, khususnya pada baja untuk meningkatkan kekuatan dilakukan dengan cara menaikkan temperatur baja sampai temperatur

autenitisasi dan fasanya berubah menjadi fasa gamma (γ) atau fasa austenit, kemudian di quench atau didinginkan secara mendadak pada media pendingin.

Pendinginan mendadak akan menyebabkan pertumbuhan butir tidak sempat berkembang karena temperatur keburu dingin dengan cepat dan akhirnya butir menjadi halus. Makin halus butir suatu material, maka kekuatan akan meningkat. Selain itu khususnya pada baja, dengan pendinginan cepat, menyebabkan banyaknya atom karbon yang nyisip pada rongga-rongga Fe tidak sempat keluar dan akhirnya terjebak. Atom karbon yang nyisip pada Fe akan menyebabkan medan tegangan di sekitarnya, sehingga atom-atom Fe lebih susah untuk bergerak. Makin banyaknya atom karbon yang nyisip terjebak pada rongga-rongga Fe, makin banyak medan tegangan yang berarti atom makin susah bergerak, dan material makin keras.

5.3 Penghalusan Butir

Material dengan butir yang lebih halus akan lebih kuat dibanding dengan yang memiliki butir kasar, karena deformasi atau perubahan bentuk lebih susah terjadi pada butir yang halus. Deformasi atau perubahan bentuk itu sendiri diakibatkan oleh pergerakan atom atau pergerakan dislokasi sampai ke permukaan. Pergerakan atom atau dislokasi sampai ke permukaan pada material dengan butir halus akan lebih susah terjadi karena **lebih banyak batas butir yang harus dilewati** untuk sampai ke permukaan. Banyaknya batas butir yang harus dilewati memerlukan energi yang lebih banyak untuk melewatinya, artinya lebih banyak tenaga yang diperlukan untuk merubah bentuk material berbutir halus, dan ini berarti pula material tersebut lebih keras.

Penguatan logam dengan penghalusan butir bisa dilakukan dengan dua cara, yakni dengan pengerjaan dingin (cold working) dan perlakuan panas (hot working). Penghalusan butir dengan pengerjaan dingin, dilakukan dengan cara memberikan beban mekanik atau gaya pada material sehingga dislokasi akan bertambah. Penambahan gaya akan terus menamabahan jumlah dislokasi.

Tumpukan dislokasi akan membentuk garis butir baru, sehingga butir menjadi banyak, yang berarti butir menjadi halus.

Penghalusan butir dengan perlakuan panas dilakukan sebagaimana dijelaskan pada poin 5.2, contoh pada baja, yakni dengan cara menaikkan temperatur sampai temperatur autenitisasi dan fasanya berubah menjadi fasa gamma (γ) atau fasa austenit, kemudian di quench atau didinginkan secara mendadak pada media pendingin. Pendinginan mendadak akan menyebabkan pertumbuhan butir yang tidak sempat berkembang karena temperatur keburu dingin dengan cepat dan akhirnya butir menjadi halus. Makin halus butir suatu material, maka kekuatan akan meningkat.

5.4 Pemaduan Logam

Pemaduan logam ditujukan untuk memperoleh sifat yang lebih baik dari logam asal. Pemaduan didefinisikan sebagai campuran dua unsur atau lebih sehingga diperoleh hasil yang lebih baik.

Paduan berdasarkan jumlah unsur yang dipadukan, dikelompokkan pada paduan biner yakni paduan dua unsur, paduan terner yakni paduan tiga unsur, dan paduan kuarter yakni paduan empat unsur. Contohnya:

- $A+B \rightarrow$ Paduan biner, seperti: Ar & Cu, Cu & Zn (kuningan), Cu + Sn (perunggu)
- $A+B+C \rightarrow$ Paduan terner, seperti: Cu&Al&Zn
- $A+B+C+D \rightarrow$ Paduan kuarterner

5.4.1 Paduan Biner

Paduan biner lebih banyak dipelajari pada bagian ini. Paduan biner dikelompokkan pada beberapa kelompok, berdasarkan: jenis unsur yang dipadu, proses pembuatannya, susunan atom pemadu, posisi atom pemadu, fasa padat paduannya.

Paduan berdasarkan jenis unsur yang dipadukannya dikelompokkan pada dua, yakni:

- Unsur Logam + Unsur Logam Lain → Paduan logam (Sifatnya seperti logam)

Contoh: Cu + Al

Cu + Ni, ini pada uang logam, dimana nilai logamnya lebih kecil dari nilai uangnya

- Unsur Logam + Unsur Bukan logam → Paduan logam

Contoh: Fe + C → Baja (Steel), dimana C sedikit

Fe + C → Besi Cor (Cast iron), dimana C banyak

Paduan berdasarkan proses pembuatannya, paduan logam dalam prakteknya, ada dua cara :

- Dipadukan dalam keadaan caia → Liquid treatment

Banyak digunakan dalam teknologi pengecoran

- Dipadukan dalam keadaan padat → Solid treatment

Banyak digunakan dalam metalurgi serbuk (powder metallurgy)

Hasil pemanduan dimanfaatkan dalam keadaan padat

Paduan berdasarkan pola atau susunan atom pemandu, dikelompokkan pada:

- Teratur (order)
- Acak (random)

dalam keadaan padat salah satu fasa bisa susunannya, teratur, acak atau kombinasi dari keduanya

Paduan berdasarkan fasa padat paduannya, dikelompokkan pada:

- Larutan padat (Solid solution)
- Senyawa (Compound)
- Kombinasi larutan padat dan senyawa

Larutan padat dan senyawa sama-sama ada distribusi atom lain, sedang perbedaannya dari aspek jumlah distribusi atom lainnya.

Paduan berdasarkan posisi atom pemandu pada atom yang dipadu, dikelompokkan pada:

- Penggantian posisi (Substitusi)
- Penyisipan (Interstisi)

5.4.2 Syarat Kelarutan

Untuk terjadi kelarutan dengan sempurna pada paduan, maka ada syarat: aspek geomtri, aspek Valensi, stabilitas larutan (keelektronegatifan),

5.4.2.1 Aspek geomtri

a. Diameter atom

b. Bentuk sel satuan

- Jika perbedaan diameter atom kurang dari 15%, maka akan terjadi larutan padat **SUBSTITUSI**
- Jika perbedaan diameter atom lebih besar dari 15%, maka akan terjadi larutan padat **INTERTISI**
- Jika sel satuannya sejenis, maka akan lebih mudah timbul larutan

Contoh : Cu +Al,Ni+Fe, Au+Ag → terjadi substitusi Fe +C → terjadi Interstisi

5.4.2.2 Aspek Valensi

Mengatur mudah tidaknya kelarutan, dilihat dari elektron valensi atau elektron terluar dari atom.

5.4.2.3 Stabilitas larutan (keelektronegatifan)

Stabilitas larutab sangat dipengaruhi oleh sifat keelektronegatifan unsur-unsur yang digunakan. Material Elektro Positif positif dipadukan dengan material Elektro Negatif, akan menghasilkan larutan yang sangat stabil, namun ada juga kemungkinan terbentuknya senyawa (coumpound).

Jika senyawa diperbandingkan dengan Larutan padat, maka akan diperoleh suatu distribusi atom-atom yang teratur, Sehingga terbentuk suatu SUPERLATICCE

Contoh senyawa:

- Pada paduan Cu-Al \rightarrow CuAl_2 disebut senyawa **LAVES**
- Pada paduan Fe-C \rightarrow Fe_3C disebut karbida besi

Senyawa unsur karbon dengan

Unsur logam disebut karbida dan umumnya

sifatnya sangat keras.

Karbida vanadium \rightarrow VC

Karbida wolfram \rightarrow WC

Kesimpulan :

Jika memadukan logam (A dan B) maka akan diperoleh :

(1) Larutan Padat

- b. Larutan padat substitusi
- c. Larutan padat interstisi

(2) Senyawa

- a. Intermetalik (logam-logam)
- b. Karbida (logam-karbon)

Dengan memperhatikan syarat kelarutan dari HUME ROTHERY, akan diperoleh 3 kelompok :

(1). $A + B \rightarrow C$

C sifatnya beda dengan A

Disebut A dan B larut sempurna satu sama lain

(2). $A + B \rightarrow A + B$

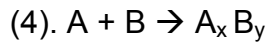
Tidak larut

Tembaga + timah hitam

(3). $A + B \rightarrow A'$

A' sifatnya mirip dengan A

Larut sebagian/larut terbatas



Menghasilkan senyawa

Untuk mempelajari hasil-hasil pemanduan dapat dilihat pada suatu diagram yang disebut DIAGRAM FASA, karena diagram ini menghubungkan temperatur dan komposisi (jumlah dan besarnya komponen yang dipadukan) dan fasa (produk yang dihasilkan).

BAB VI

DIAGRAM FASA BINER

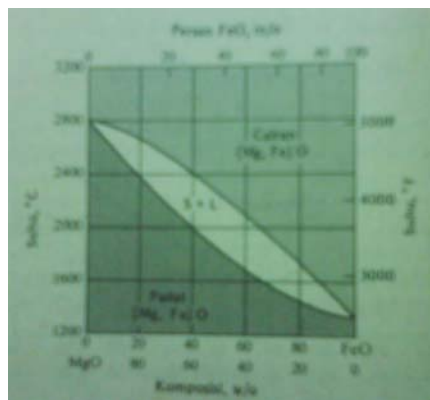
6.1 Jenis Diagram Fasa

Dalam praktek jumlah diagram fasa relative banyak, namun apabila diamati dengan cermat, ternyata hanya ada 3 kelompok diagram fasa, yakni:

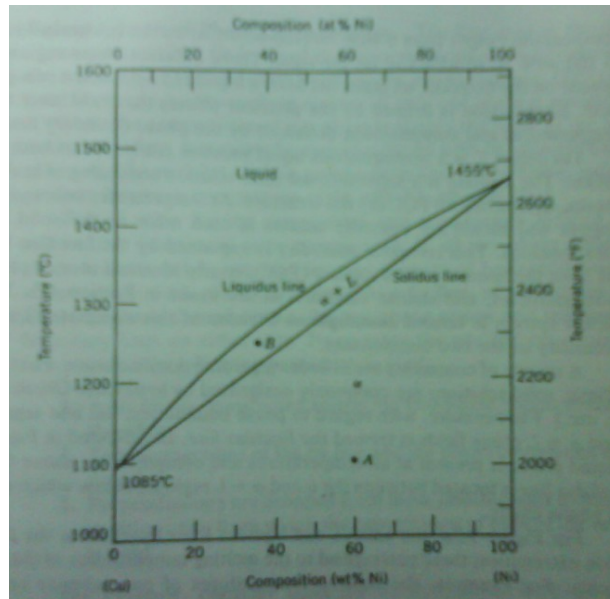
1. Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair dan padat.
2. Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan larut terbatas dalam keadaan padat:
 - a. Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa eutektik
 - b. Diagram fasa yang mengandung fasa eritektik
 - c. Diagram fasa yang mengandung senyawa
3. Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan ketidaklarutan dalam keadaan padat

6.2 Contoh-contoh Diagram Fasa

- 6.2.1 Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair dan padat.



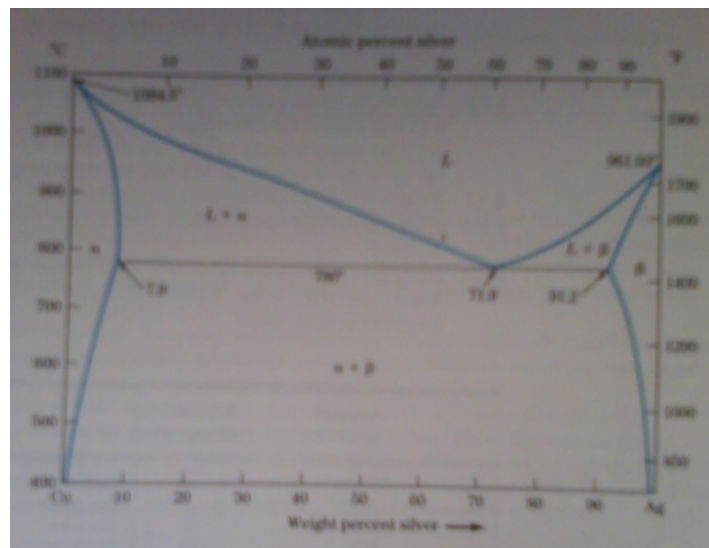
Gambar 23.a. Diagram fasa larut sempurna dalam keadaan padat



Gambar 23.b. Diagram fasa larut sempurna dalam keadaan padat

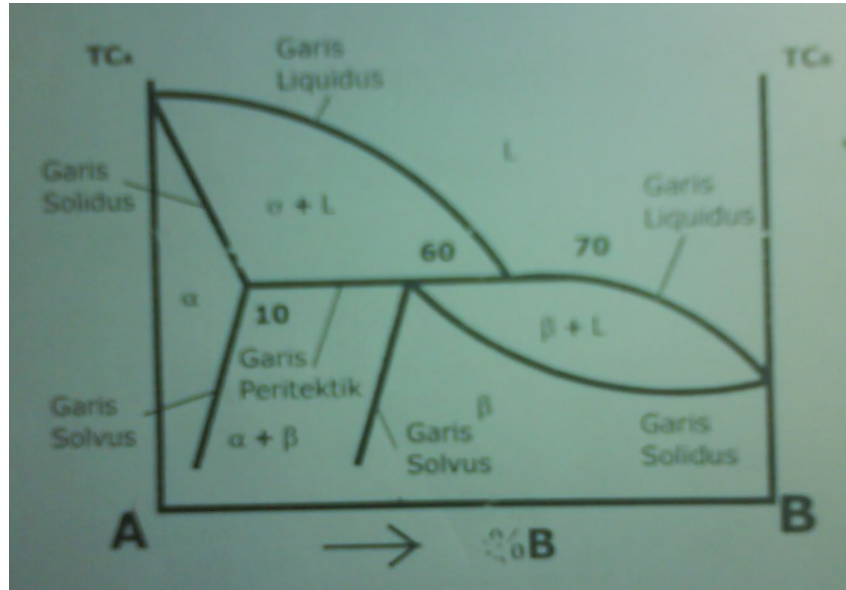
6.2.2 Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan larut terbatas dalam keadaan padat:

6.2.2.1 Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa eutektik



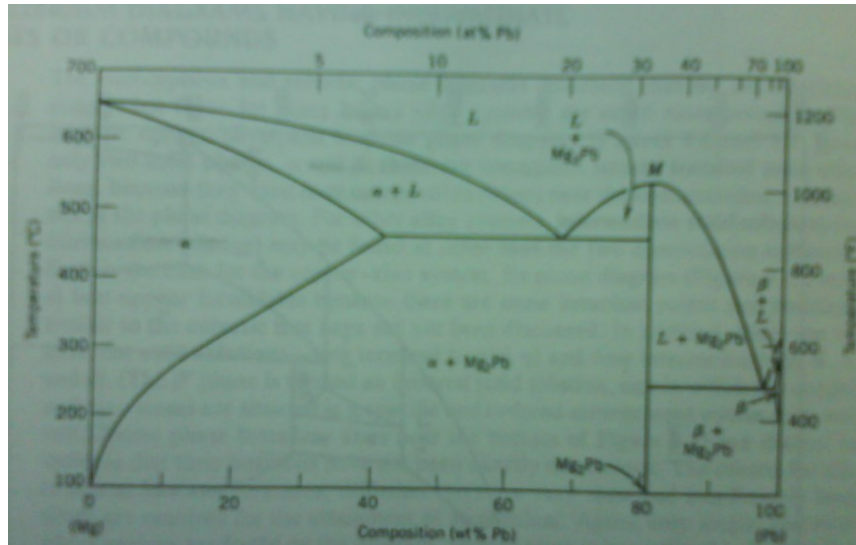
Gambar 24 Diagram fasa larut sebagian dalam keadaan padat dan memiliki reaksi fasa eutektik

6.2.2.2 Diagram fasa yang mengandung fasa Peritektik



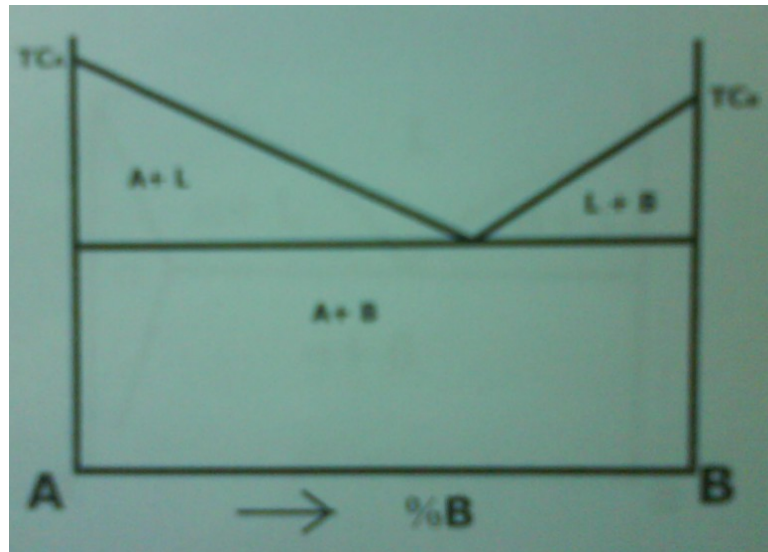
Gambar 25 Diagram fasa yang memiliki reaksi fasa peritektik

6.2.2.3 Diagram fasa yang mengandung senyawa



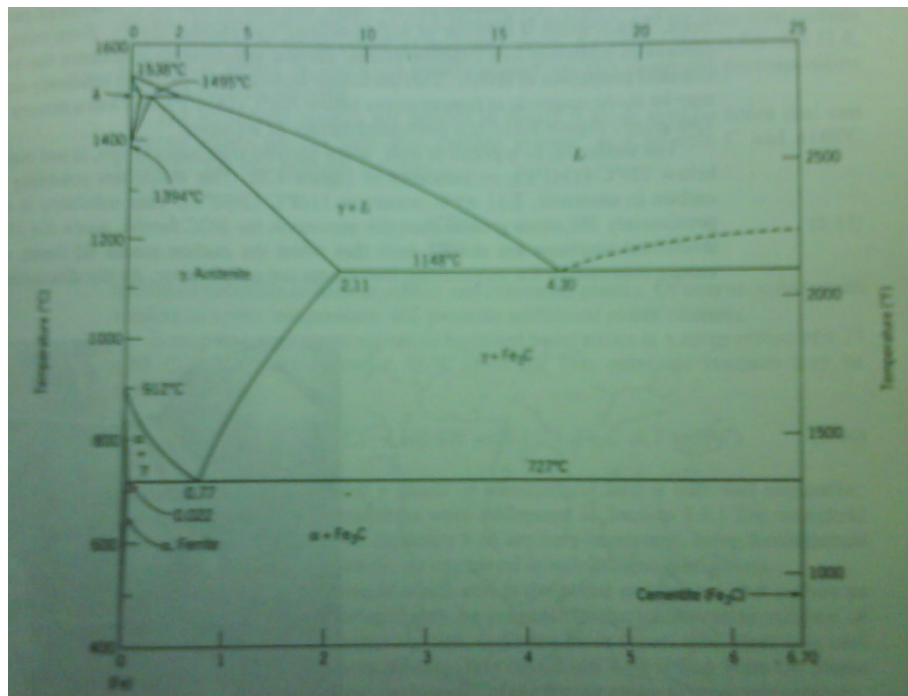
Gambar 26 Diagram fasa larut sebagian dalam keadaan padat dan memiliki reaksi fasa senyawa

6.2.3 Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan ketidaklarutan dalam keadaan padat



Gambar 27 Diagram fasa tidak larut sama sekali dalam keadaan padat

6.2.4 Diagram Fasa Fe + C

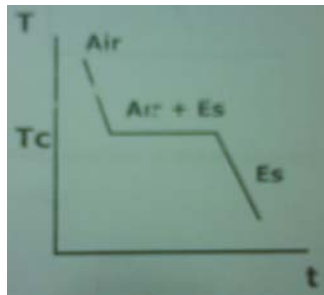


Gambar 28 Diagram Fasa FeC

6.3 Perubahan Fasa pada Diagram Fasa

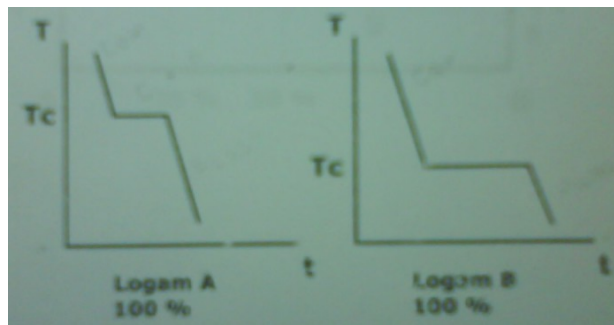
6.3.1 Diagram fasa yang menunjukka adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair dan padat.

Diagram dasar dari jenis ini contohnya adalah air, dalam keadaan uap, cair, dan padat (es)



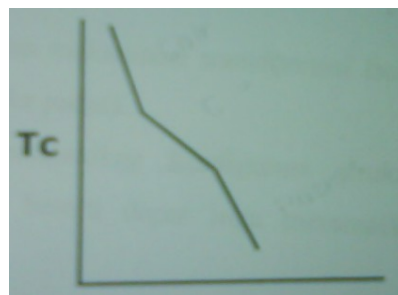
Gambar 29 Diagram Fasa Air

Jika dikembangkan untuk diagram fasa logam-logam yang dipadukan, misalnya logam A dan logam . Maka dapat dikembangkan diagram fasa sebagai berikut :



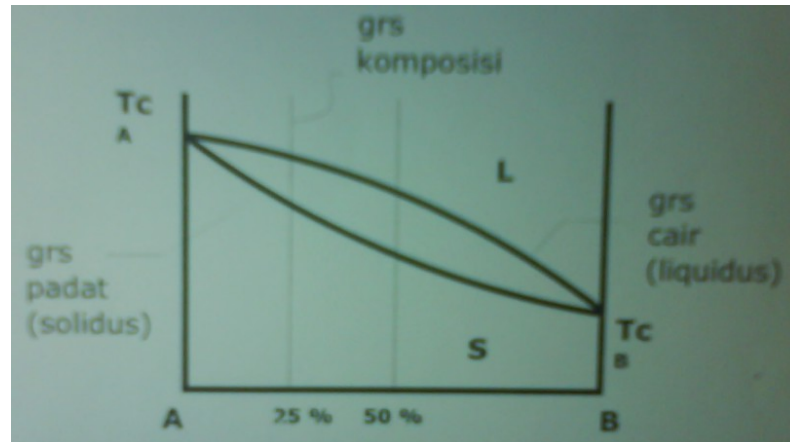
Gambar 30 Diagram Fasa Logam Murni

Jika dipadukan A=75%, B=25% maka diagram fasanya :



Gambar 31 Diagram Fasa Logam tidak murni

Dari diagram-diagram tersebut didapat fasa krlarutan sempurna sebagai berikut :

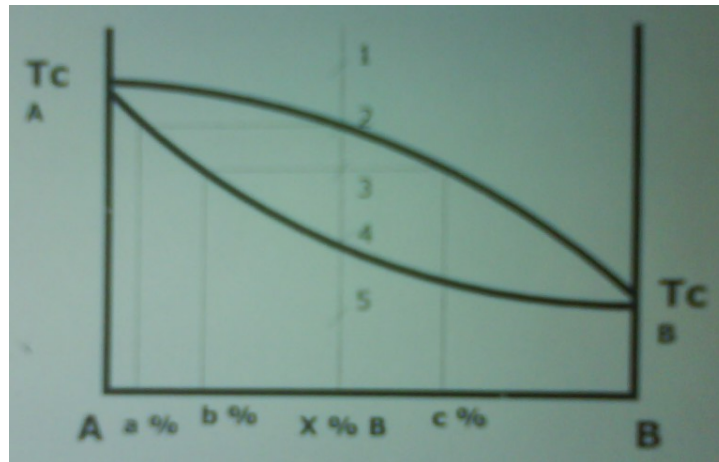


Gambar 32 Diagram fasa larut sempurna dalam keadaan padat

Catatan: Diagram Fasa berguna untuk:

- i. Proses dan mekanisme transformasi fasa (tidak hanya dari fasa cair ke padat)
- ii. Dapat meramalkan konfigurasi struktur mikro logam (paduan), berarti dapat juga meramalkan sifat mekanik logam

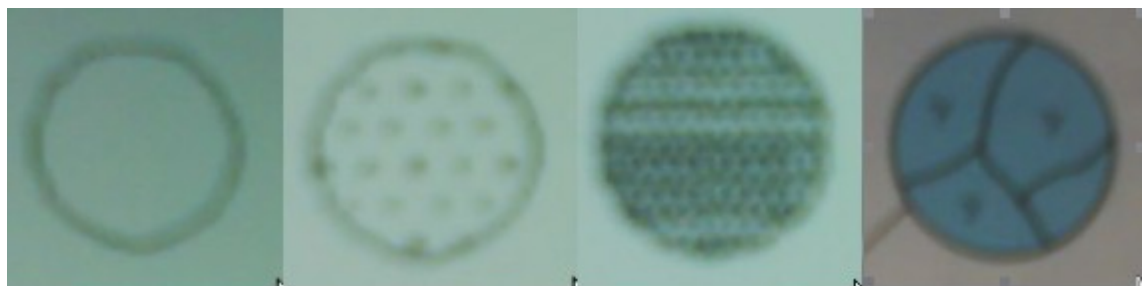
Perhatikan paduan Adan B dengan komposisi $x\%$ B. Anggap bahwa terhadap komposisi tersebut berlangsung suatu proses pembekuan (solidifikasi). Untuk membaca proses solidifikasi anggap bahwa laju pendinginan berlangsung sangat lambat, sehingga setiap perubahan berada dalam kondisi setimbang. Titik 1 sampai dengan titik 5 adalah temperatur-temperatur proses pendinginan



Gambar 33. Proses solidifikasi

Titik 1.

100 % fasa cair (L)



(1)

(2)

(3)

(4) dan

(5)

Gambar 34. (1) 100% cair, (2) Pengintian padat, (3) Pertumbuhan fasa padat,

(4) dan (5) 100% fasa padat.

Titik 2

Terjadinya pengintian fasa padat:

a. Aspek skala atom.

Terbentuk susunan yang teratur dari lingkungan yang teratur, ruang-ruang inti tidak seragam

b. Aspek komposisi fasa padat

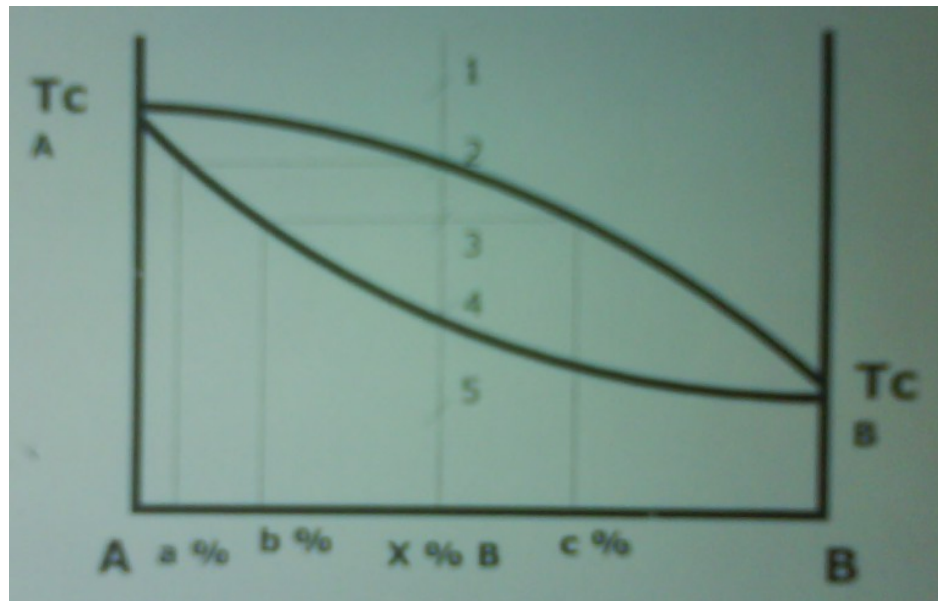
Pada saat inti fasa padat terbentuk, komposisinya adalah X^1 % B (secara fisik, pada saat pengintian akan terbentuk dari unsur-unsur yang titik cairnya lebih tinggi, dalam hal ini unsur A)

Titik 3.

Terjadi pertumbuhan fasa padat (akan tumbuh pada orientasi inti-inti yang sudah terbentuk).

Dalam aspek komposisi, Atom-atom dari X^1 Akan keluar, sedangkan dari cair akan masuk. Terjadi difusi (proses difusi $D = f(t)$, sehingga jika temperatur naik difusi akan sempurna.

Pada saat temperatur mencapai T_3 , persen fasa padat dapat dihitung dengan menggunakan aturan/kaidah lengan (**LEVER ARM LURE**).



Gambar 35. Prosentase komposisi fasa

$$\text{Jadi \% fasa padat} = \frac{c - x}{c - b} \cdot 100 \% \text{ atau}$$

$$\% \text{ fasa cair} = \frac{x - b}{c - b} \cdot 100\%$$

Titik 4

100% fasa padat, dan batas butir tersebut terbentuk dari orientasi atom

Titik 5

Sama seperti pada titik 4

Pada logam paduan timbul torsi, sehingga logam paduan menjadi keras, Butir lebih halus dibanding pada titik 4

Persamaan diameter butir :

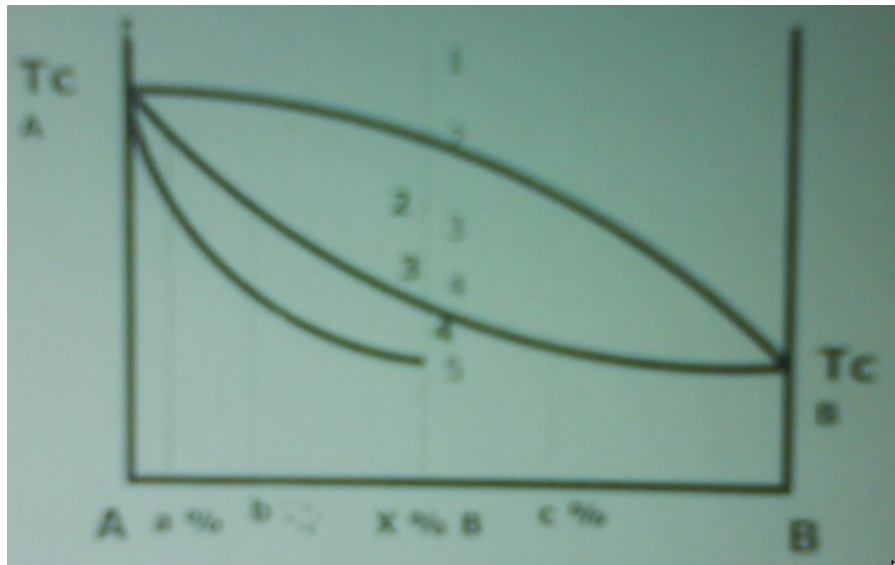
$$\sigma_Y = \sigma_i + kd^{-1/2}$$

Untuk memperoleh butir halus, maka laju pengintian diparasikan dengan cara:

1. buat laju pengintian tinggi
2. buat laju pertumbuhan rendah

Kedua cara tersebut dinamakan proses pengecoran (CASTING). Dalam praktek pembekuan berlangsung sangat cepat. Jika proses pendinginan 2 ke 3 berlangsung cepat, maka komposisinya tidak sempurna, bergeser ke kiri, sehingga komposisinya menjadi berkurang.

Jika pendinginannya cepat, maka proses (DF nya) menjadi garis tebal, dengan demikian logam yang dipadukan akan membeku lebih rendah dari semestinya. Fenomena ini disebut SEGREGASI (ketidak homogenan komposisi)



Gambar 36. Segregasi

Jenis segregasi

1. Mikro segregasi

Segregasi yang ditimbulkan oleh proses pendinginan

2. Blok segregasi

Segregasi yang ditimbulkan oleh perbedaan massa jenis

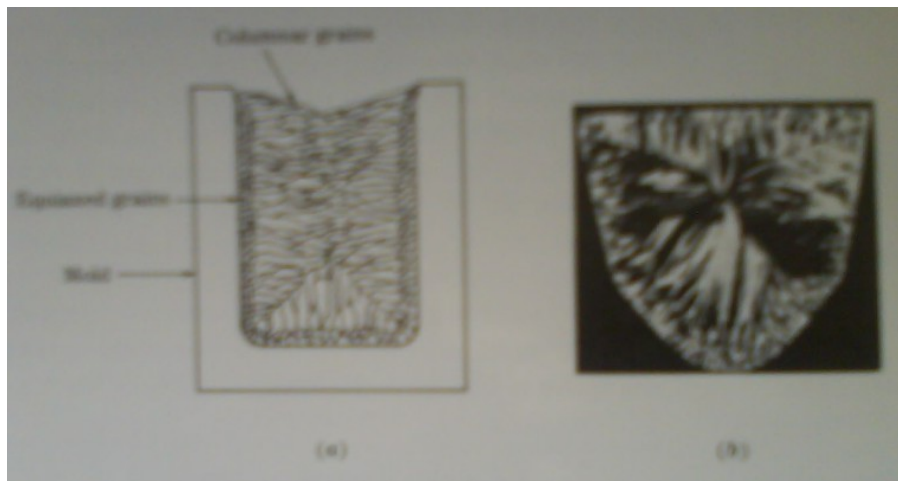
Untuk menghilangkan segregasi adalah dengan cara memanaskan paduan tersebut pada titik dibawah titik cair paduan tersebut (4¹). Hal ini untuk menghomogenkan paduan (homogenisasi), dengan demikian akan didapatkan paduan yang homogen. Jika paduan sudah homogen, maka paduan tersebut boleh dipanaskan pada titik cair (4). Proses homogenisasi memerlukan waktu yang lama (4 s/d 5 hari). Proses pembekuan dapat diamati pada saat melakukan proses pengecoran.

Pada kondisi sebenarnya, pembekuan dari T1 s/d T5 berlangsung relatif cepat, sehingga :

- a. Terjadi difusi sebagian, mekanisme transformasi fasa tidak dapat berlangsung sempurna.
- b. Terjadi segregasi

c. Mempengaruhi bentuk/konfigurasi butir.

- (1). Dendrit
- (2). Columnar
- (3). Equiaxial

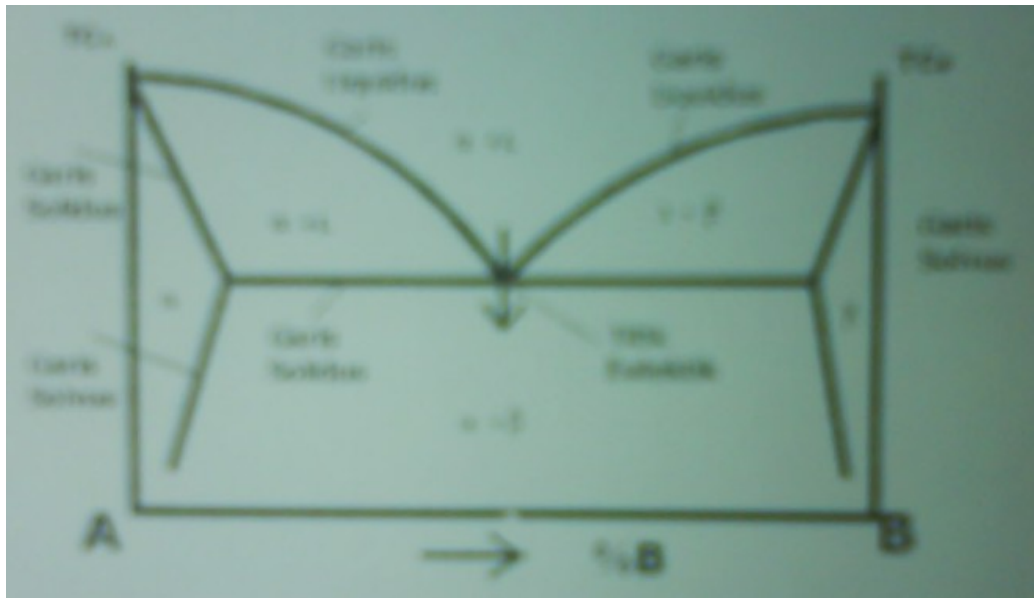


Gambar 37. (a) Struktur pengecoran, (b) Struktur pengelasan

Konfigurasi tersebut akan diperoleh pada saat logam cair dibekukan dengan laju pendinginan yang relatif cepat, misalkan pada proses pengecoran atau proses pengelasan. Struktur yang diperoleh dari hasil pembekuan logam cair dengan laju pendinginan yang relatif cepat disebut dengan istilah STRUKTUR COR (cast structure). Struktur cor (yang mengandung konfigurasi butir yang variatif dan segregasi) kurang memiliki sifat malleable yang baik. Oleh karena itu produk cor sebelum digunakan harus mengalami : **Proses homogenisasi** yaitu proses perlakuan panas yang ditujukan untuk menghilangkan efek segregasi dan memperbaiki konfigurasi bentuk butir, dengan cara memanaskan untuk jangka waktu yang relatif lama.

6.3.2 Diagram fasa yang menunjukkan adanya kelarutan yang sempurna dalam keadaan cair, dan larut terbatas dalam keadaan padat:

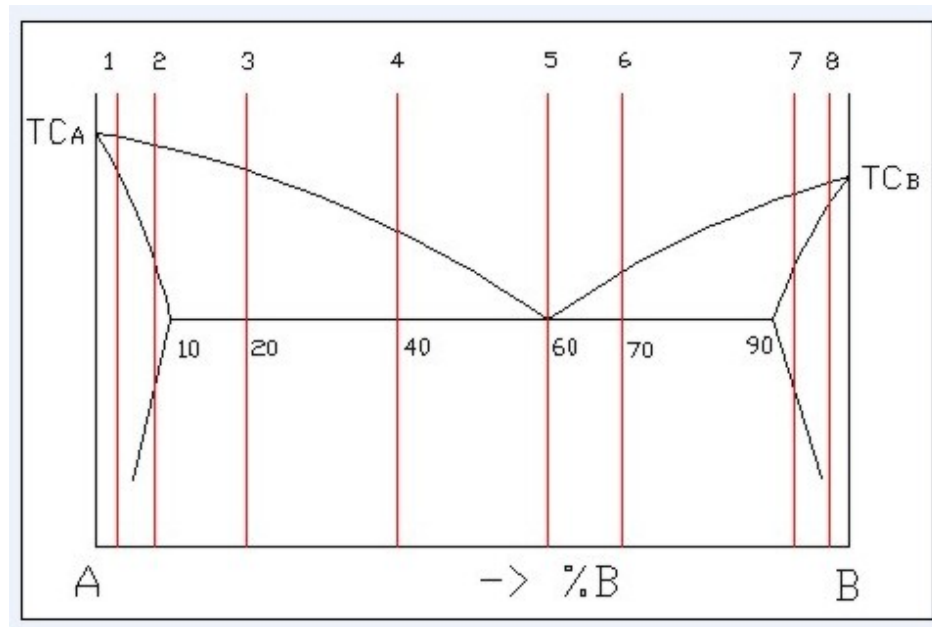
6.3.2.1 Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa eutektik



Gambar 38. Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa eutektik

- I. B larut terbatas di A pada garis a-b, dengan demikian $A+B \rightarrow A^I = \alpha$
 - II. A larut terbatas di B dengan batas kelarutan c-d, disebut daerah β
 - III. Daerah antara α dan L ($\alpha + L$) tanda positif (+) bukan berarti penjumlahan aljabar, tetapi menyatakan bahwa didaerah tersebut ada campuran fasa
- Garis **SOLVUS** adalah garis yang memisahkan fasa padat dari fasa padat lainnya, sedangkan **Reaksi fasa Eutektik** adalah reaksi fasa yang terjadi dimana satu fasa cair berubah menjadi 2 fasa yang berbeda [$L \rightarrow \alpha + \beta$]

Contoh penggunaan diagram fasa ini adalah sebagai berikut:



Gambar 39 . Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa eutektik

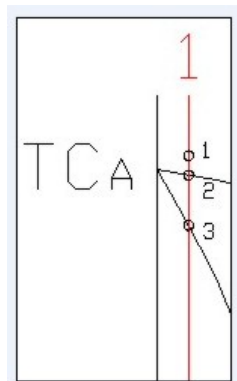
Keterangan:

- Angka 10 → batas kelarutan B di A adalah 10%
- Angka 60 → jika komposisi A dan B memiliki 60% B
- Angka 90 → A larut di B dengan maksimal 10%

Diketahui : Paduan A dan B dengan komposisi seperti ditunjukkan oleh garis 1 sampai dengan garis 8. Analisis proses solidifikasi dari berbagai paduan tersebut !

Garis komposisi 1:

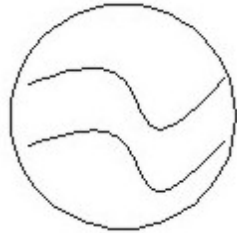
Paduan A dan B yang sangat kecil, sehingga tidak memotong solvus



(untuk garis 1, mirip contoh pada DF jenis 1)

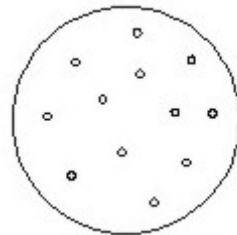
Titik 1

100% larutan



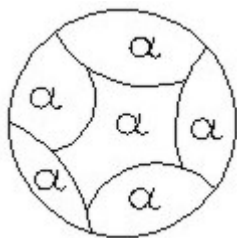
Titik 2

Pengitihan fasa α



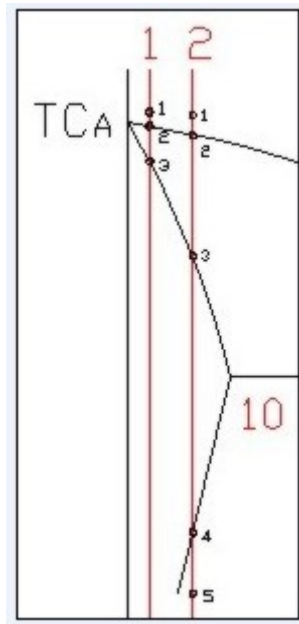
Titik 3

100% fasa (disebut struktur berasa tunggal)



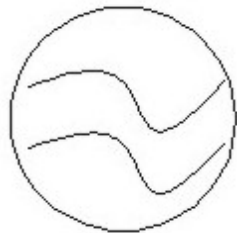
Garis Komposisi 2

Garis komposisi memotong garis solvus



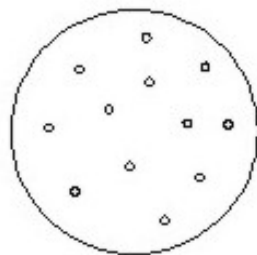
Titik 1

100% larutan



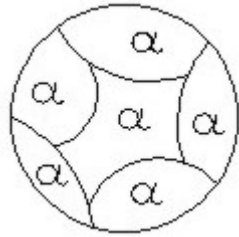
Titik 2

Pengitian fasa α

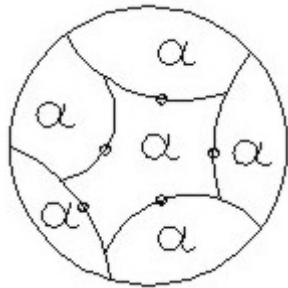


Titik 3

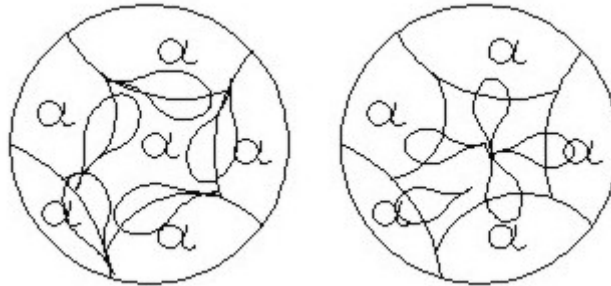
100% fasa padat α

**Titik 4**

Garis komposisi memotong solvus \rightarrow Terjadi pengintian fasa β (pengintian fasa padat oleh fasa padat lain hanya terjadi pada batas butir, karena susunan atomnya kurang teratur dibanding dengan tempat lain. /juga energi dibatas butir tinggi, sehingga dengan adanya penambahan β akan menurunkan energinya).

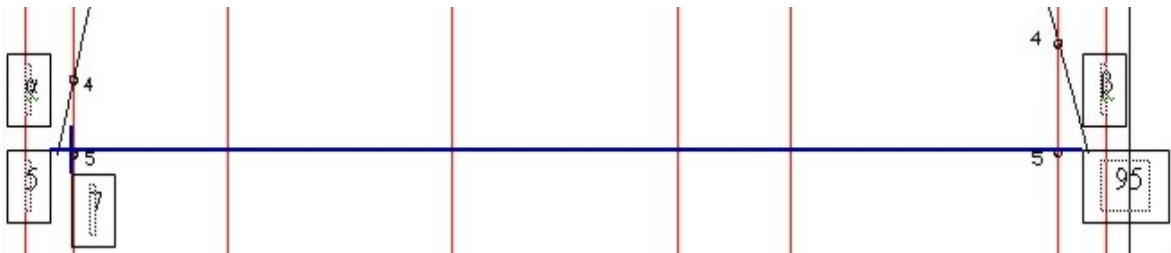
**Titik 5**

- a. Pertumbuhan β (pertumbuhan dibatas butir), hanya terjadi jika butirnya halus
- b. Pertumbuhan β (pertumbuhan menyorok kedalam), hanya terjadi jika butirnya kasar. Pertumbuhan seperti ini dinamakan **WIDMAN STATTEN**



Bentuk butir a dan b dinamakan **DUAL PHASE STRUCTURE** (struktur berfasa ganda).

Guna mengetahui prosentase fasa-fasa yang ada pada titik 5, di akhir garis 2, dapat dihitung dengan sebagai berikut:



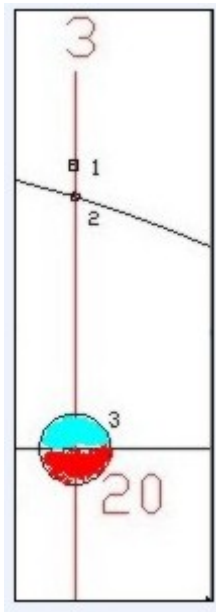
Pada garis 2:

$$\% \beta = \frac{7 - 5}{95 - 5} \times 100\% = 2,2 \%$$

Jumlah fasa β dan α dinamakan komposisi fasa. 7% adalah komposisi panduan (paduan A dan B, dengan komposisi 7% B). Dengan kata lain 7 % paduan B, menghasilkan prosentase fasa β dan α yang terdiri dari 2,2% β dan 97,8 % α . Dengan diketahui komposisi paduan, kita dapat memperkirakan kekerasan strukturnya.

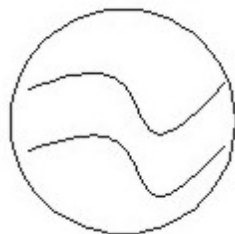
Garis Komposisi 3

Diketahui paduan A dan B dengan B = 20 % paduan tersebut memiliki perpotongan dengan garis eutektik



Titik 1

100% larutan

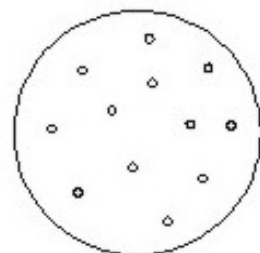


Titik 2

Pengintian fasa α

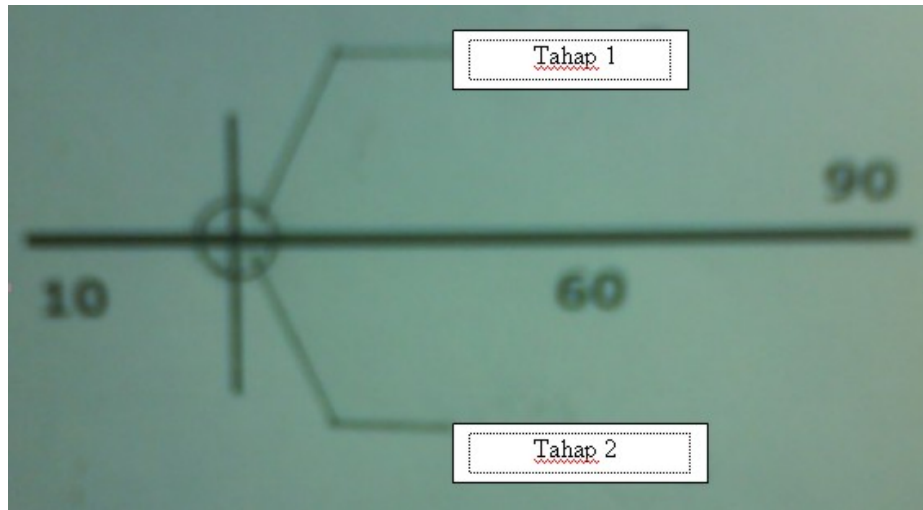
Titik 2

Pengitian fasa α

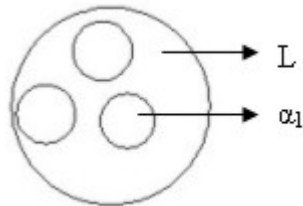


Titik 3

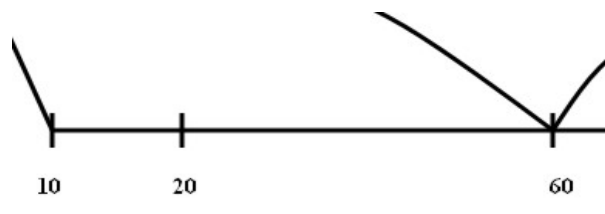
Garis komposisi memotong garis eutektik, sehingga terjadi 2 tahap transformasi fasa

**Tahap I**

proses pertumbuhan α_1 , atau α yang pertama kali tumbuh, atau α yang tumbuh pada tahap I sebelum reaksi fasa eutektik.



Tahap ini merupakan kelanjutan dari titik 1 dan titik 2, dengan kondisi ini dapat dihitung berapa % fasa α_1 yang terbentuk

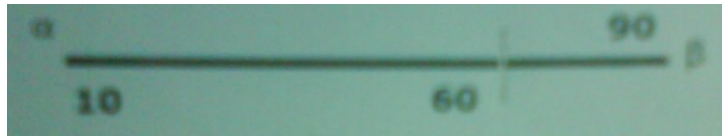


$$\% \alpha_1 = \frac{60 - 20}{60 - 10} \times 100\% = 80\%$$

berarti sisanya 20% masih fasa cair → komposisi fasa pada tahap 1 adalah 80% α_1 dan 20% cair.

Tahap II

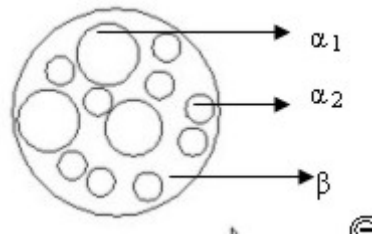
Pada tahap II fasa cair (20%) berubah menjadi fasa padat mengikuti reaksi fasa eutektik, dan dihitung menggunakan garis eutektik, yakni :



$$L_{20\%} \rightarrow \alpha_2 + \beta$$

$$\alpha_2 = \frac{90-60}{90-10} \times 20\% = 7,5\% \quad \text{dan} \quad \beta = 20 - 7,5 = 12,5\%$$

α_2 tersebar di β



Sehingga pada akhir tahap II, fasa yang terbentuk adalah α dan β ,

$$\text{Total } \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 7,5\% + 80\% = 87,5\%, \text{ dan}$$

$$B = 12,5\%$$

Garis Komposisi 4

Pada garis 4, titik 1 dan titik 2 mirip dengan yang terjadi pada garis 3. Yang beda, terjadi pada titik 3, walau perhitungannya masih mirip, hanya prosentase fasanya saja yang berbeda. Pada titik 3, garis komposisi memotong garis horizontal eutektik, sehingga terjadi dua tahap reaksi fasa:

Tahap 1

Fasa yang ada adalah α_1 dan Liquid (L)

$$\% \alpha_1 = \frac{60-40}{60-10} \times 100 \% = 40 \%$$

fasa cair = 60 %

Tahap 2

L60 % $\rightarrow \alpha + \beta$

$$\% \alpha_2 = \frac{90-60}{90-10} \times 60 \% = 22,5 \%$$

$\% \beta = 37,5 \%$

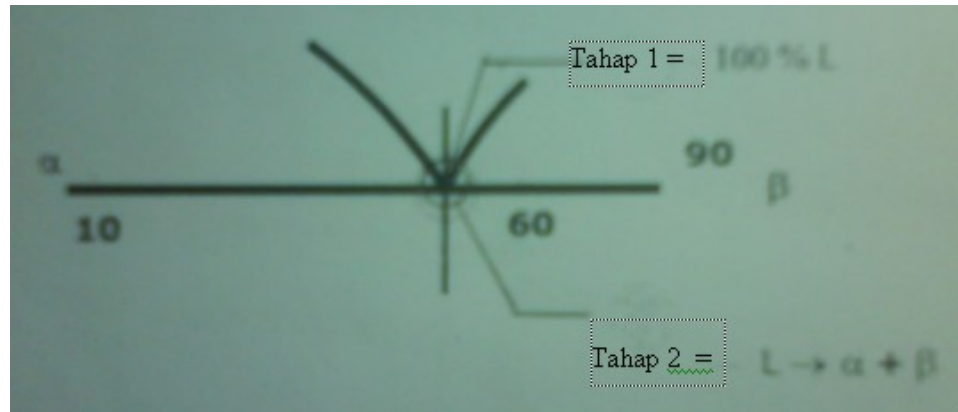
Sehingga pada akhir tahap II, fasa yang terbentuk adalah α dan β ,

Total $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 = 40 \% + 22,5 \% = 62,5 \%$, dan

$B = 37,5 \%$

Garis Komposisi 5

Perhatikan garis 5 yang memotong titik eutektik

**Tahap 1**

100 % L

Tahap 2 $L_{100\%} \rightarrow \alpha + \beta$

$$\% \alpha = \frac{90-60}{90-10} \times 100\% = 37,5 \%$$

$$\% \beta = 62,5 \%$$

ini disebut fasa eutektik

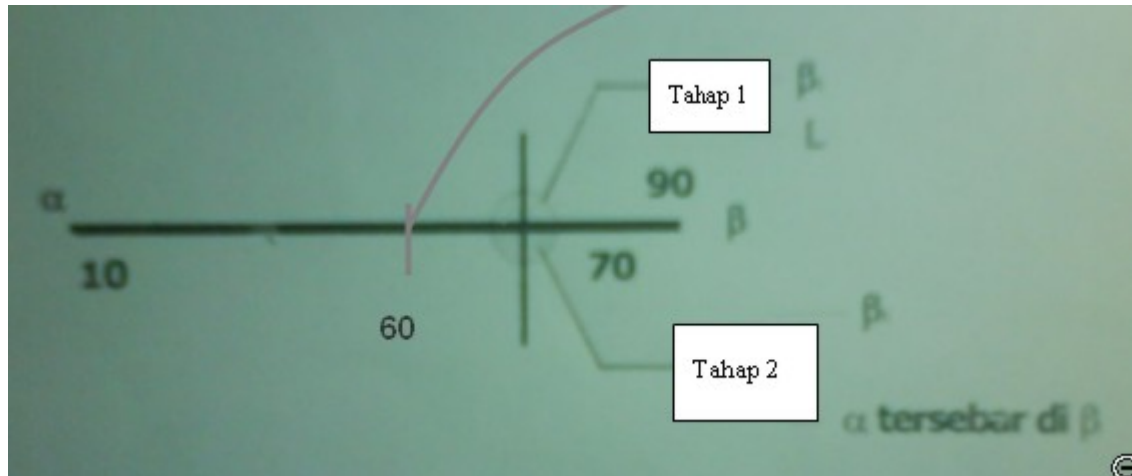
Garis Komposisi 6

Diketahui paduan A dan B dengan B = 70 %. Pada komposisi ini, titik 1 seperti komposisi lainnya, yakni 100% cair. Pada titik 2, yakni pada garis liquidus, adalah pengintian padat. Dalam hal ini adalah pengintian padat β .

Pada titik 3, garis komposisi memotong garis horizontal eutektik, sehingga terjadi dua tahap transformasi fasa. Prosentase fasanya adalah sebagai berikut:

Tahap I:

Fasa yang ada adalah β_1 dan Liquid (L)



:

$$\% \beta_1 = \frac{70-60}{90-60} \times 100\% = 33\%$$

$$\% L = 67\%$$

Tahap 2

$$L_{67\%} \rightarrow \alpha + \beta_2$$

$$\text{Maka } \% \alpha = \frac{90-60}{90-10} \times 67\% = 25\%$$

$$\% \beta_2 = 42\%$$

Sehingga pada akhir tahap II, fasa yang ada adalah: $\alpha + \beta$, dengan

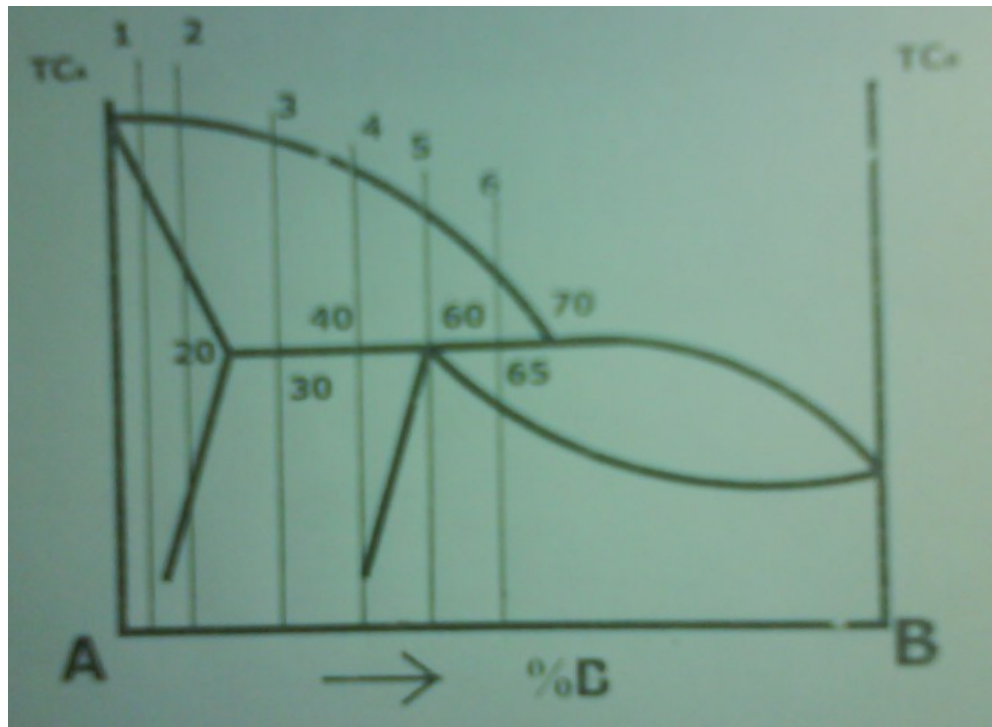
$\alpha = 25\%$, dan

$$\text{Total } \beta = \beta_1 + \beta_2 = 33\% + 42\% = 75\%$$

Pada garis 6 yang menjadi proeutektik adalah β , sedangkan pada garis 5 adalah α

Pada Garis Komposisi 7 dan 8, mirip seperti aris komposisi 2 dan 1, hanya bedanya pada garis komposisi 2 dan 1, terjadi pengintian dan pertumbuhan α , sedangkan pada garis komposisi 7 dan 8, terjadi pengintian dan pertumbuhan β .

6.3.2.2 Diagram fasa yang mengandung reaksi fasa Peritektik



Gambar 40. Diagram fasa larut sebagian dalam keadaan padat dan memiliki reaksi fasa peritektik

Garis komposisi 1 dan 2 diagram fasa jenis ini mirip dengan garis 1 dan 2 diagram fasa jenis sebelumnya yang memiliki reaksi fasa eutektik

Garis komposisi 3

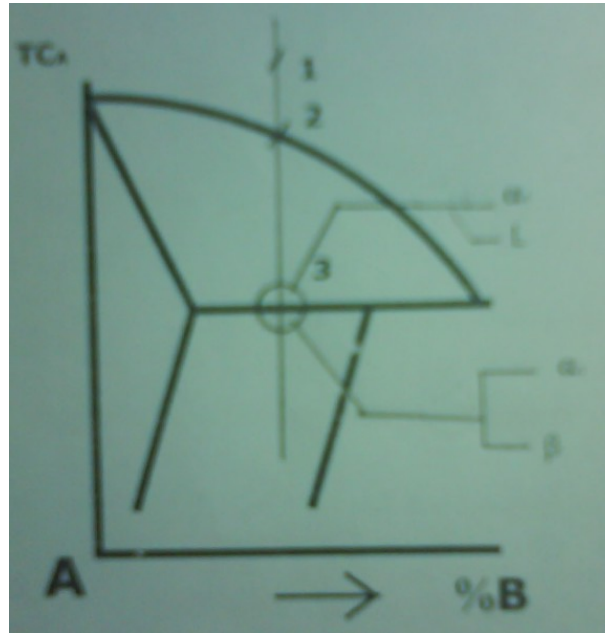
Diketahui komposisi paduan A dan B = 30 %.

Tahapan solidifikasinya adalah sebagai berikut :

Titik 1 dan 2, adalah 100% cair dan pengintian padat α .

Titik 3

Pada saat garis 3, garis komposisi memotong garis horizontal peritektik, sehingga, terjadi 2 tahapan tranformasi fasa.



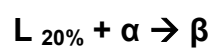
Tahap 1

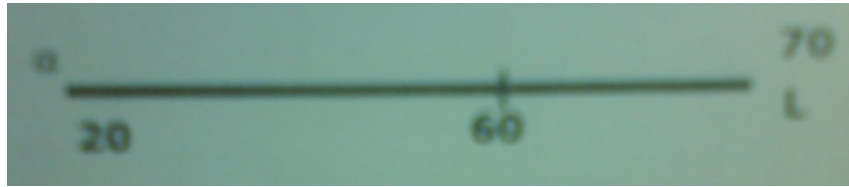
$$\% \alpha = \frac{70-30}{70-20} \times 100 \% = 80 \%$$

$$\% L = 20 \%$$

Tahap 2

Fasa cair berubah menjadi fasa padat mengikuti reaksi fasa peritektik, yakni: Fasa cair ditambah fasa pada, menghasilkan fasa padat yang berbeda, atau fasa cair jika berubah menjadi fasa padat, membutuhkan sebagian fasa α





Perbandingan α dan L tergantung garis dari peritektik diagram fasanya. Dalam hal ini perbandingannya: $(70-60) : 60-20 = 1 : 4$. Sehingga dari $L = 20\%$, fasa lain yang diperlukan adalah $= \frac{1}{4} \times 20\% = 5\%$. Jadi untuk mengubah L 20% menjadi fasa padat, memerlukan fasa $\alpha = 5\%$

sehingga didapatkan :

$$L + \alpha \rightarrow \beta$$

$$L = 20\%, \text{ dan } \alpha = 5\% \text{ didapatkan } \beta = 25\%$$

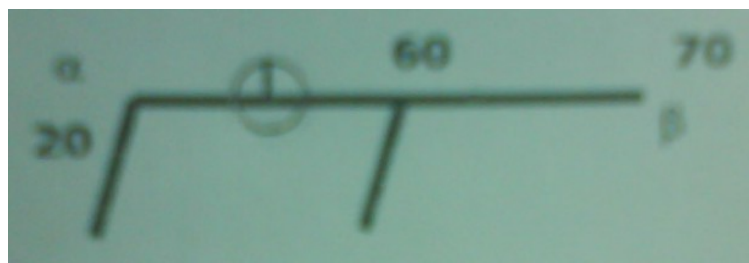
Sehingga pada akhir tahap II diperoleh :

$$\alpha = 80\% - 5\% = 75\%$$

$$\beta = L + \alpha = 20\% + 5\% = 25\%$$

Alternatif perhitungan yang lain :

Akhir tahap II dapat juga dihitung melalui



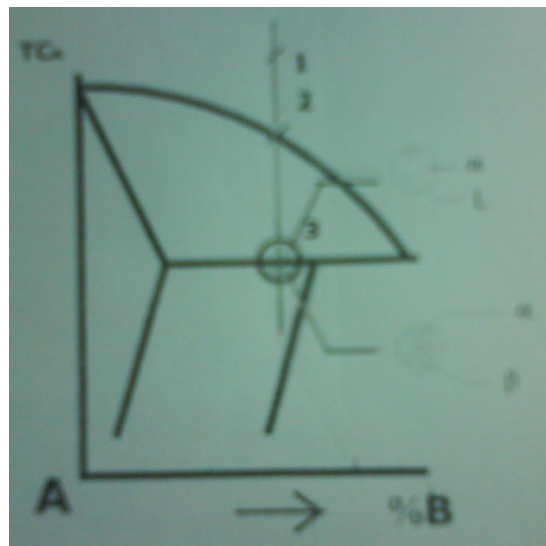
$$\% \alpha = \frac{60-30}{60-20} \times 100\% = 75\%, \text{ sisanya}$$

$$\% \beta = 100 - 75 = 25\%$$

Garis Komposisi 4

Paduan A dan B = 40%.

Titik 1 dan 2, adalah 100% cair dan pengintian padat α . Pada titik 3, Tahapan pembekuannya adalah sebagai berikut:
 Pada saat garis 4 memotong garis horizontal peritektik, terjadi 2 tahapan transformasi fasa.

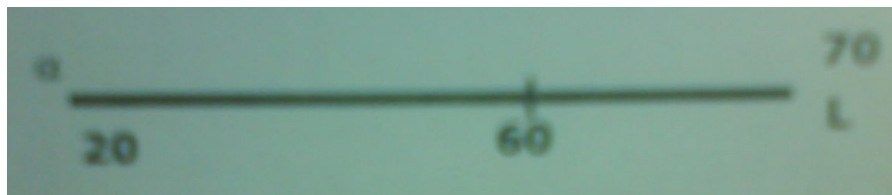
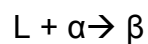


Tahap 1

$$\% \alpha = \frac{3}{5} \times 100\% = 60\%$$

$$\% L = 40\%$$

Fasa cair berubah menjadi fasa padat mengikuti reaksi fasa peritektik



Perbandingan α dan L adalah 1 banding 4

Sehingga fasa yang diperlukan untuk mengubah fasa L (40%)

Adalah $\frac{1}{4} \times 40\% = 10\% \alpha$.

Dari $L + \alpha \rightarrow \beta$, menghasilkan $\beta = 50\%$

Sehingga pada akhir tahap II, diperoleh :

$\alpha = (60\%) \text{ pada tahap 1 dikurangi } 10\% \text{ pada tahap II} = 50\%$

$\beta = 50\%$

Garis Komposisi 5

Paduan A dan B dengan B = 60%. Pada titik 1 dan 2, adalah 100 % L dan pengintian α . Pada titik 3, garis komposisi memotong garis horizontal peritektik, sehingga terjadi 2 tahap transformasi fasa:

Tahap 1

% $\alpha = 20\%$

% L = 80%

Tahap 2

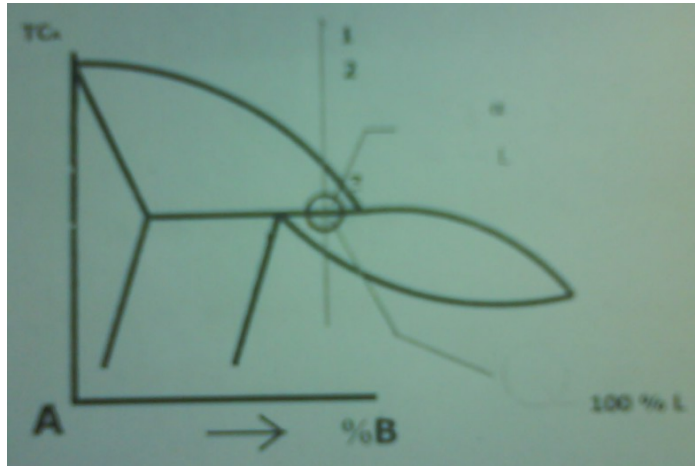
Perbandingan α dan L adalah 1 banding 4, dengan jumlah L = 80%, maka jumlah

$\alpha = \frac{1}{4} \times 80\% = 20\%$.

Sehingga pada akhir tahap 2 didapatkan β sebesar 100%

Garis Komposisi 6

Paduan A dan B dengan B = 65%. Pada titik 1 dan 2, adalah 100 % L dan pengintian α . Pada titik 3, pada saat garis komposisi 6 memotong garis horizontal, maka terjadi 2 tahapan tranformasi fasa, sebagai berikut :

**Tahap 1**

$$\% \alpha = \frac{75-65}{70-20} \times 100\% = 10\%$$

$$\% L = 90\%$$

Fasa α = 10%, dan perbandingan α dan L adalah 1 banding 4. Sehingga fasa L yang mampu diubah menjadi fasa padat adalah $(4/1) \times 10\% = 40\%$

Pada akhir tahap II, β yang terbentuk mengikuti :

$$L(40\%) + \alpha(10\%) \rightarrow \beta \text{ sebesar } 50\%, \text{ sedang sisanya}$$

$$L = 90\% - 40\% = 50\%.$$

Contoh dan perhitungan Diagram Fasa jenis lainnya di jelaskan pada Jilid berikutnya.

D. TUGAS DAN LATIHAN SERTA KUNCI JAWABAN**SOAL:**

1. Jelaskan sifat-sifat material dan bagaimana hubungan tiap sifat-sifat tersebut
2. Paduan unsur A dan B memiliki diagram fasa biner yang memiliki kelarutan sempurna dalam keadaan cair dan padat. Titik cair A 1000°C , titik cair B 1200°C . Pada komposisi 50% B, pada temperatur 1100°C , garis liquidus tepat pada komposisi 40% B, dan garis solidus tepat berada pada komposisi 55%B. Hitung berapa prosentase fasa cair dan padat pada temperatur dan komposisi tersebut !.

KUNCI JAWABAN:

1. Sifat material: Sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat teknologi.
Hubungan antar sifat-sifat, saling mempengaruhi, jika sifat fisik bagus, maka sifat mekanik dan sifat teknologi jelek, begitu juga sebaliknya. Contoh: Jika material keras, maka sifat teknologinya jelek jadi susah dibentuk.
 - 2 Gambar seperti Diagram fasa larut sempurna dalam keadaan cair dan larut sempurna dalam keadaan padat.
Prosentase cair = 60 %, dan
Prosentase padat = 40 %.
-

DAFTAR PUSTAKA

- Callister, W. D Jr., ***Material Science And Engineering, An Introduction***, Salt Lake City, Utah, 1985
- Dieter, G. E., ***Mechanical Metallurgy***, McGraw-Hill Book Company, London, 1988
- LA Van Vlack, Sriati Djafrie, ***Ilmu dan Teknologi Bahan***, Erlangga, Jakarta, 1992.
- Honeycombe, R. W. K., ***The Plastic Deformation of Metals***, Edward Arnold, London, 1977
- Smallman, R. E., ***Modern Physical Metallurgy***, Butterworth, London, 1976
- Smith, W. ., ***Principles of Material Science Engineering***, 5 th Edition, Addison Wesley, 1985
- Thelning, K. E., ***Steel and ist Heart Treatment***, Butterworth, London, 1975.
-

BANK SOAL DAN KUNCI JAWABAN**A. BANK SOAL**

1. Pada Material Teknik, Kristal diartikan sebagai:
 - a. Pengaturan diri atom-atom yang berulang pada pola tiga dimensi.
 - b. Susunan atom-atom yang mengatur diri secara teratur dan berulang pada pola tiga dimensi.
 - c. Aturan atom-atom yang berulang pada pola tiga dimensi.
 - d. Pengulangan atom-atom yang mengatur diri pada pola tiga dimensi.
 2. Bagian dari kristal ada yang disebut sel satuan, yang diartikan sebagai:
 - a. Bagian terkecil dari atom-atom yang teratur dan berulang pada pola tiga dimensi
 - b. Susunan terkecil dari atom-atom yang teratur dan berulang pada pola tiga dimensi
 - c. Pengulangan atom-atom terkecil yang teratur dan berulang pada pola tiga dimensi
 - d. Atom-atom terkecil dan bagiannya yang teratur dan berulang pada pola dua dimensi
 3. Besi memiliki sifat *polytropy* , yakni:
 - a. Memiliki lebih dari satu sel satuan
 - b. Dapat merubah sel satuan
 - c. Hanya memiliki sel satuan
 - d. Tidak dapat merubah sel satuan
 4. Besi memiliki sifat *Alotropy* , yakni:
 - a. Memiliki lebih dari satu sel satuan
 - b. Dapat merubah sel satuan
 - c. Hanya memiliki sel satuan
 - d. Tidak dapat merubah sel satuan
 5. Jumlah atom yang ada pada tiap sel satuan BCC, adalah sebanyak:
 - a. 6.
 - b. 8.
 - c. 9
 - d. 14
 6. Jumlah Volume atom yang ada pada tiap sel satuan FCC, adalah sebanyak:
 - a. 2.
 - b. 3
 - c. 4
 - d. 14
 7. Sel satuan FCC memiliki bidang geser sebanyak:
 - a. 6.
 - b. 8.
 - c. 12
 - d. 14
 8. Sel satuan BCC memiliki bidang geser sebanyak:
 - a. 4.
 - b. 6.
-

- c. 8.
 - d. 12
9. Sel satuan BCC memiliki bilangan koordinasi atau atom tetangga sebanyak:
- a. 6.
 - b. 8.
 - c. 12
 - d. 14
10. Sel satuan FCC memiliki sistim pergeseran atom sebanyak:
- a. 8.
 - b. 12.
 - c. 14
 - e. 24

Kunci Jawaban:

- 1. B
 - 2. B
 - 3. A
 - 4. B
 - 5. C
 - 6. C
 - 7. B
 - 8. B
 - 9. B
 - 10. D
-