

DIKTAT KULIAH

METALURGI FISIK

**Disusun oleh :
Ir. Amru Siregar, MT.**



**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA**

UNIVERSITAS MEDAN AREA



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga diktat ini dapat diselesaikan sebagaimana yang diharapkan.

Diktat kuliah ini disusun untuk mendukung kuliah Metalurgi Fisik pada program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Sedangkan diktat ini sendiri dirancang, sesuai dengan silabus mata kuliah Ilmu Logam fisik.

Materi pembahasan dibuat secara garis besar, meliputi tinjauan tentang susunan atom dalam bahan padat, atom tanpa tata dalam benda padat., proses-proses pembekuan paduan dan proses aging.

Materi dalam diktat ini jauh dari sempurna, dengan demikian saran maupun kritik membangun sangat diharapkan dari semua pihak, demi peningkatan kualitas diktat ini.

Selama penyelesaian diktat ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada rekan-rekan dan semua pihak yang telah banyak memberi masukan dalam penulisan diktat ini.

Semoga diktat kuliah ini dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya bagi mahasiswa. Amiin.

Medan, Maret 2005

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
BAB I KRISTAL	1
1.1 Sel Satuan	2
1.2 Sistem Kristal	3
1.3 Kisi Kubik	6
1.4 Polimorfi	16
1.5 Pendinginan Besi Murni	17
1.6 Arah Kristal	17
1.7 Bidang Kristal	18
1.8 Kelompok Bidang	22
BAB II ATOM TANPA TATA DALAM BENDA PADAT	
2.1 Ketidak Murnian Dalam Bahan Padat	23
2.2 Larutan Padat Dalam Logam	24
2.3 Larutan Padat Substitusi	24
2.4 Larutan Padat Tertata	25
2.5 Larutan Padat Interstisi	27
2.6 Larutan Padat Dalam Senyawa	29
2.7 Senyawa bukan Stoichiometrik	30
2.8 Ketidak sempurnaan Dalam Kristal	32
2.9 Permukaan	36

BAB III DIAGRAM KESETIMBANGAN

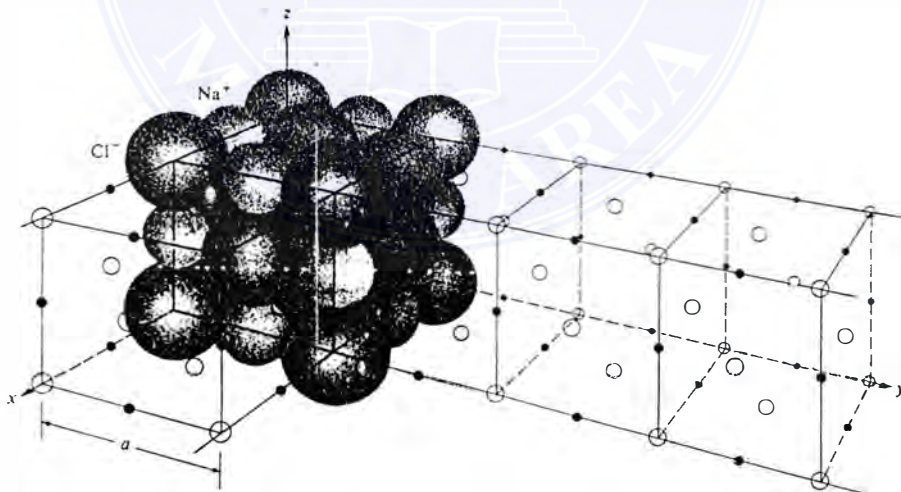
3.1 Pembekuan Paduan	45
3.1.1 Dua logam cair yang dalam keadaan cair larut satu sama lain tetapi dalam keadaan padat tidak larut satu sama lain.....	46
3.1.2 Pembekuan dua logam yang dalam keadaan cair dan padat larut satu sama lain.....	54
3.1.3 Pembekuan dua logam yang larut dalam keadaan cair tetapi hanya sebahagian yang larut satu sama lain	60
3.2 Sifat Paduan Campuran Eutektik	69
3.3 Age Hardening	71
3.4 Lewat Sepuh	76
DAFTAR PUSTAKA	77

BAB I

KRISTAL

Semua logam membentuk kristal sewaktu membeku. Atom-atom mengatur diri secara teratur dan berulang dalam pola 3 dimensi. Struktur semacam ini disebut kristal.

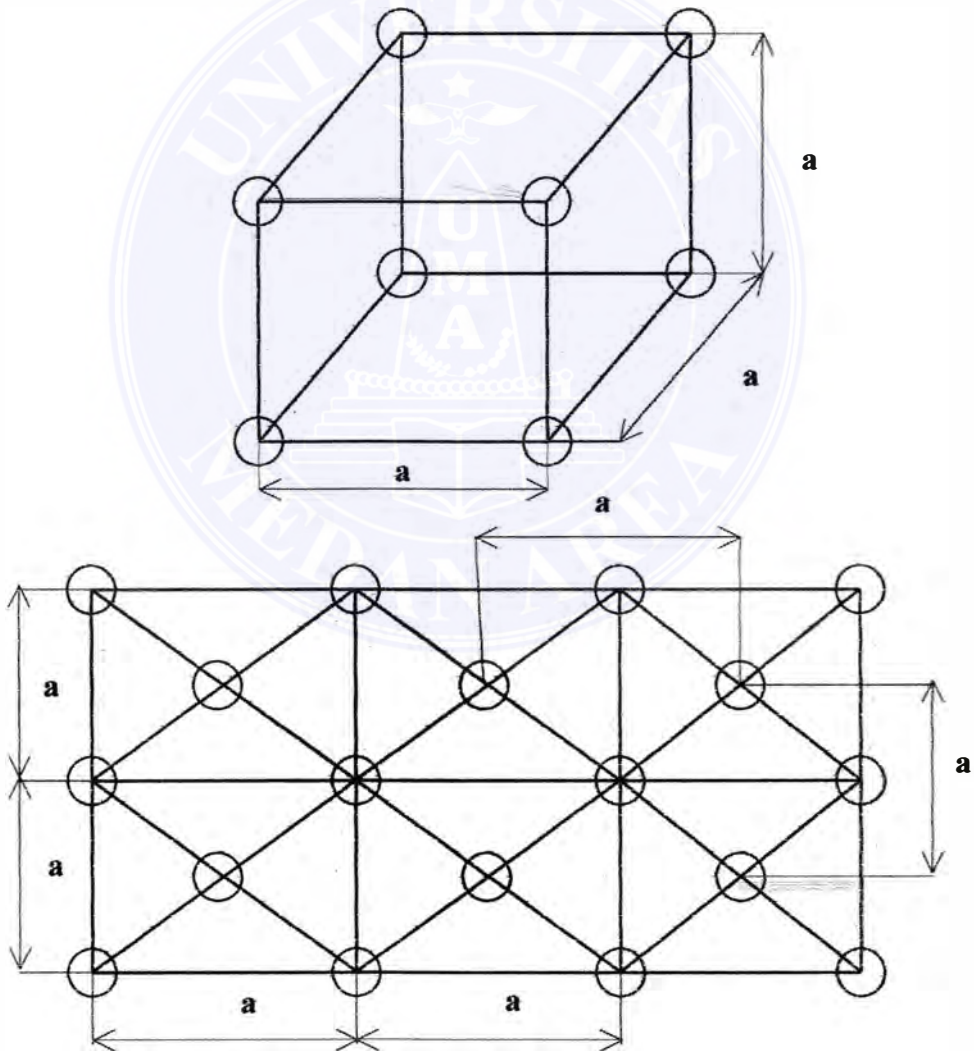
Pola teratur dalam kumpulan atom (*dalam jangkauan panjang*) yang menyangkut puluhan jarak atom dihasilkan oleh koordinasi atom dalam logam. Disamping itu, pola ini kadang-kadang menentukan pula bentuk luar kristal, misalnya dapat dilihat adalah permukaan rata batu mulia, pasir kuarsa (SiO_2). Demikian pula garam meja NaCl , merupakan penampilan luar dari pengaturan di dalam kristal itu sendiri. Struktur dalam kristal kuarsa **tidak berubah** meskipun bentuk permukaan luar tergesek, sehingga membentuk butir pasir pantai yang bulat-bulat.



Gambar 1.1 Struktur kristal NaCl . Koordinasi atom-atom menghasilkan susunan periodik dalam jangkauan panjang

1.1 Sel Satuan

Tata jangkau panjang yang merupakan karakteristik kristal dapat dilihat pada gambar 1.2. dibawah. Gambar tersebut menyatakan susunan atom bila terdapat satu jenis atom, karena susunan atom tersebut berulang secara tak terhingga, maka untuk mudahnya kisi kristal ini dibagi dalam **sel satuan**. Sel satuan mempunyai volume terbatas dan memiliki ciri yang sama untuk seluruh kristal.



Gambar 1.2 Karakteristik Kristal

Jarak yang selalu berulang, disebut **konstanta kisi**. Konstanta kisi menentukan ukuran sel satuan dan juga merupakan dimensi sel satuan (**a**). Untuk kristal kubik konstanta kisi (**a**) sama untuk ke 3 arah sumbu koordinat (**x, y, z**). Titik sudut sel satuan dapat di tempatkan di mana saja dalam suatu kristal. Jadi sudut tersebut dapat berada di pusat atom, tempat lain dalam atom-atom atau diantara atom-atom. Dimanapun berada, volume yang kecil tadi dapat di duplikasikan dengan volume yang identik disebelahnya, (asalkan sel tadi memiliki orientasi yang sama dengan pola kristal). Setiap sel mempunyai ciri-ciri geometrik yang sama dengan kristal keseluruhannya.

1.2 Sistim Kristal

Kristal kubik memiliki pola yang sama sepanjang ke 3 sumbu \perp ; $a_1 = a_2 = a_3$. kebanyakan logam dan beberapa jenis keramik berbentuk kubik. Kristal bukan kubik terjadi bila pola ulangnya tidak sama dalam ke 3 arah koordinatnya atau sudut antara ke 3 sumbu kristal tidak sama dengan 90° . Ada 7 sistim kristal dengan karakteristik geometrisnya seperti pada daftar berikut :

Sistim	Sumbu	Sudut Sumbu
Kubik	$a_1 = a_2 = a_3$	semua sudut 90°
Tetragonal	$a_1 = a_2 \neq c$	semua sudut 90°
Ortorambik	$a \neq b \neq c$	semua sudut 90°
Monoklin	$a \neq b \neq c$	dua sudut 90° , satu sudut $\neq 90^\circ$ (β)

Heksagonal

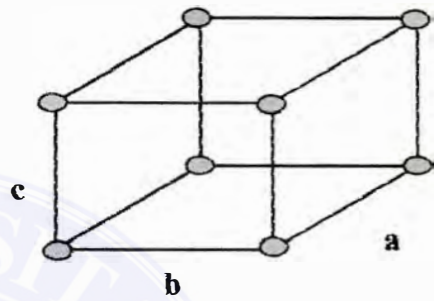
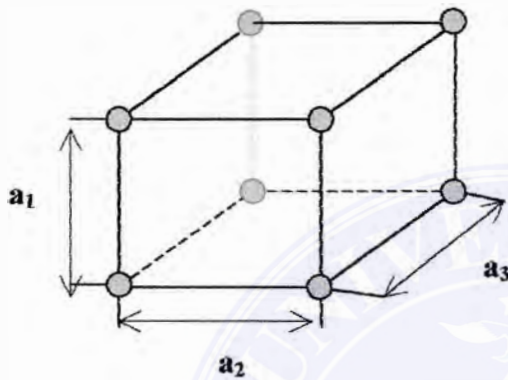
$$a_1 = a_2 = a_3 \neq c$$

semua sudut 90° & 120°

Rombohedral

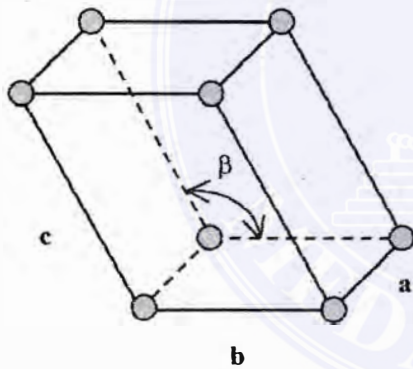
$$a_1 = a_2 = a_3$$

semua sudut sama tetapi tidak 90°

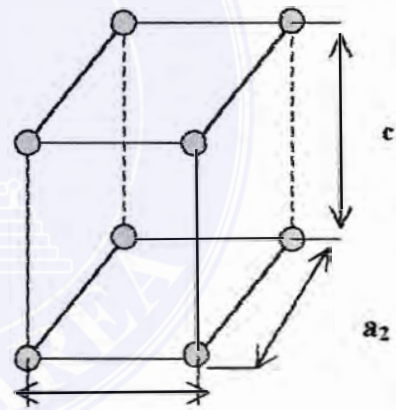


Ortorombik

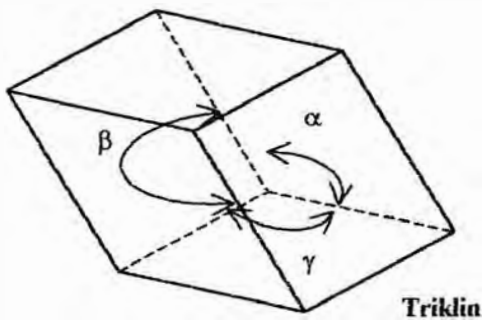
Kubik



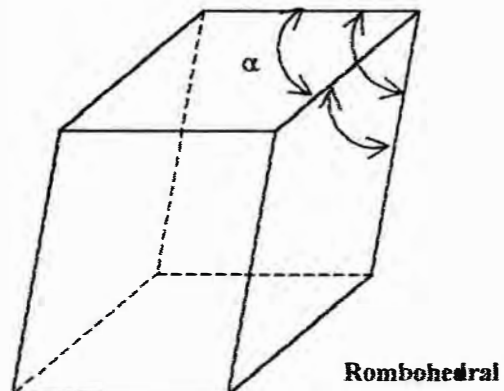
Monoklin



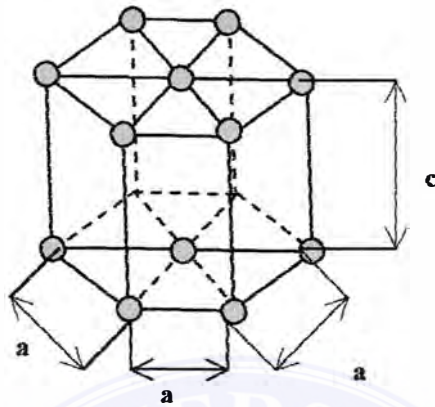
Tetragonal



Triklin



Rombohedral



heksagonal

Gambar 1.3 Sistem Kristal

Contoh soal 1.1:

Sel satuan Cr adalah kubus pusat ruang (b.c.c) dan mempunyai 2 atom. Tentukan :
konstanta kisi (a) atom krom

Jawab :

Gunakan data pada lampiran : dimana berat jenis Cr : $7,2 \text{ Mg/m}^3$, maka :
massa per sel satuan adalah :

$$\frac{2(52,0 \text{ gr})}{0,602 \times 10^{24}} = \frac{172,26}{10^{24}} \text{ gr}$$

Volume sel satuan adalah :

$$a^3 = \frac{\text{massa}}{\text{berat jenis}}$$

$$a^3 = \frac{\frac{172,26}{10^{24}} \text{ gr}}{7,2 \frac{\text{Mggr}}{\text{m}^3}} = \frac{\frac{172,26}{10^{24}} \text{ gr}}{7,210^6 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3}} = \frac{172,26}{10^{30}}$$

$$\begin{aligned}
 a^3 &= 23,994 \cdot 10^{-30} m^3 = \frac{23,994}{10^{30}} m^3 \\
 &= \frac{23,994}{1000} \frac{1}{(10^9)(10^9)(10^9)} m^3 \\
 a^3 &= 0,023994 \cdot \frac{1}{(10^9)(10^9)(10^9)} m^3 \\
 a &= 0,2884 nm
 \end{aligned}$$

1.3 Kisi Kubik

Kristal kubik terdiri dari 3 bentuk kisi yaitu kubik sederhana, kubik pemusatan ruang (kpr), dan kubik pemusatan sisi (kps). Suatu kisi adalah pola yang berulang dalam 3 dimensi yang berbentuk dalam kristal. Sebagian besar logam memiliki kisi kubik pemusatan ruang atau kisi kubik pemusatan sisi.

1.3.1 Logam kubik pemusatan ruang

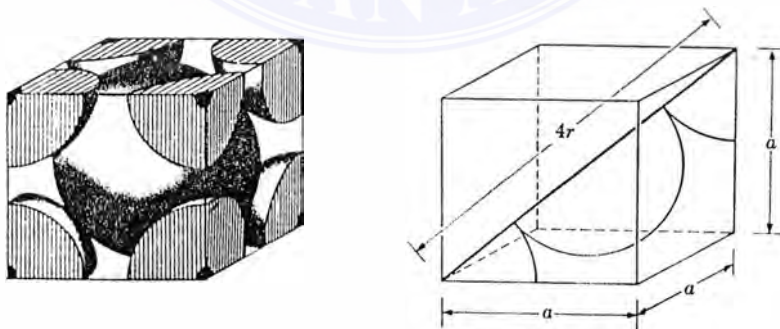
Besi mempunyai struktur kubik. Pada suhu ruang, sel satuan besi mempunyai atom pada tiap titik sudut kubus dan satu atom pada pusat kubus. Logam-logam Fe, Cr, Li, Na, K, Au, mempunyai struktur kubik pemusatan ruang (kpr).

Tiap atom besi dalam kpr dikelilingi oleh 8 atom tetangga, hal ini berlaku untuk setiap atom baik yang terletak pada titik sudut maupun atom pada pusat sel satuan.

Oleh karena itu setiap atom mempunyai lingkungan geometrik yang sama. Sel satuan logam (kpr) mempunyai 2 atom. Satu atom dipusat kubus dan 8, dari 1/8 atom di setiap titik sudutnya. Dalam logam antara konstanta kisi (a) dan jari-jari atom (R) terdapat hubungan sebagai berikut.



Gambar 1.4 Struktur kubik pemusatan ruang (a) merupakan gambaran skematik, (b) model bola keras



Gambar 1.5 Sel satuan kubik pemusatan ruang (kpr)

$$b^2 = a^2 + a^2$$

$$b^2 = 2a^2$$

$$b^2 + a^2 = (4R)^2$$

$$2a^2 + a^2 = 16R^2$$

$$3a^2 = 16R^2 \longrightarrow a^2 = \frac{16}{3}R^2 \longrightarrow a = 4R \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$R^2 = \frac{3a^2}{16}$$

Faktor tumpukan (*packing factor*) : Faktor tumpukan (F.T.) didefinisikan sebagai perbandingan volume atom dengan volume sel satuan. atau

$$\text{Faktor tumpukan} = \frac{\text{Volume atom}}{\text{volume sel satuan}}$$

Karena dalam sel satuan logam kubik pusat ruang terdapat 2 buah atom maka :

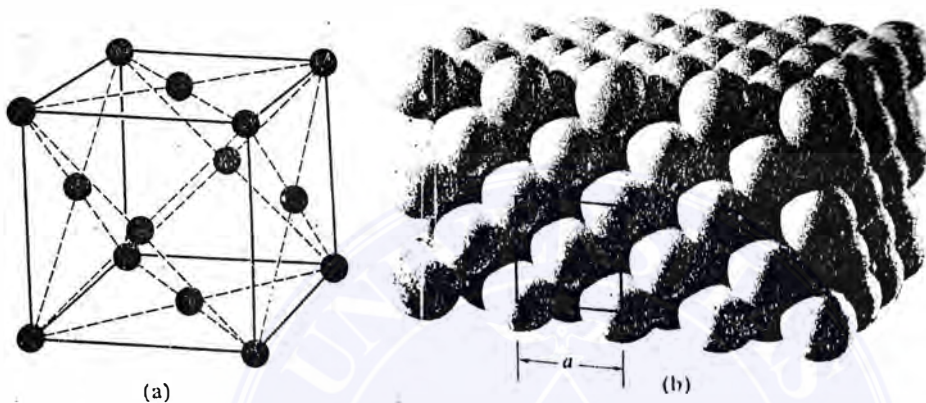
$$FT = \frac{2\left(\frac{4\pi R^3}{3}\right)}{a^3} = \frac{2\left(\frac{4\pi R^3}{3}\right)}{\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^3} = \frac{2 \cdot \frac{4}{3} \pi R^3}{\frac{64R^3}{3\sqrt{3}}}$$

$$FT = \frac{\pi}{8} \sqrt{3} = 0,68.$$

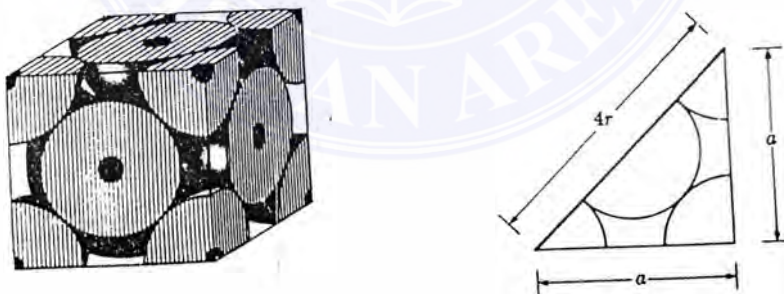
1.3.2 Logam kubik pemusatan sisi.

Pengaturan atom dalam Ca, Fe pada suhu 910 – 1390⁰C Ni, Cu, Ag, Pb, adalah kubik pemusatan sisi, pada tiap bidang sisi terdapat satu atom tambahan, tetapi pada pusat kubik tidak terdapat tambahan atom. Logam dengan kubik pemusatan ruang mempunyai lebih banyak atom.

1/8 atom pada titik-titik sudut sebanyak	8	= 1 atom
1/2 atom pada masing-masing bidang sisi	$6 \times 1/2$	<u>= 3 atom</u>
		4 atom.



Gambar 1.6 Struktur kristal kubik pemusatan sisi. (a) merupakan gambaran skematik (b) model bola keras



Gambar 1.7 Model sel kubik pemusatan sisi

Dalam kubus pusat ruang hubungan antara konstanta kisi a dengan jari atom R dinyatakan oleh :

$$a^2 + a^2 = (4R)^2$$

$$2a^2 = 16R^2$$

$$a^2 = 8R^2$$

$$a = 2\sqrt{2} \cdot R$$

Faktor tumpukan kubik pemusatan sisi adalah :

Jumlah atom dalam satu unit sel 4 atom.

$$\begin{aligned} \text{F.T.} &= \frac{4\left(\frac{4}{3}\pi R^3\right)}{a^3} = \frac{\frac{16}{3}\pi R^3}{(R2\sqrt{2})^3} = \frac{\frac{16}{3}\pi R^3}{R^3 \cdot 8 \cdot 2\sqrt{2}} \\ &= \frac{\pi}{3}\sqrt{2} = \frac{\pi\sqrt{2}}{3 \cdot 2} = \frac{\pi}{6}\sqrt{2} = 0,74. \end{aligned}$$

Contoh 1.2 : Cu mempunyai struktur kubik pemusatan sisi dan jari-jari atom = 0,1278 nm.

Hitung : Berat jenis Cu

Jawab :

$$a = \frac{4}{\sqrt{2}}R = \frac{4}{\sqrt{2}}(0,1278)nm = 0,3615 \text{ nm}$$

Jumlah atom dalam satu sel satuan : $\frac{8}{8} + \frac{1}{2} \times 6 = 1 + 3 = 4$

$$\text{Berat jenis} = \frac{nM}{a^3 N_A}$$

dimana :

N : jumlah atom dalam satu unit sel

M : berat atom

N_A : Bilangan avogadro ($0,602 \times 10^{24}$ atom/mol).

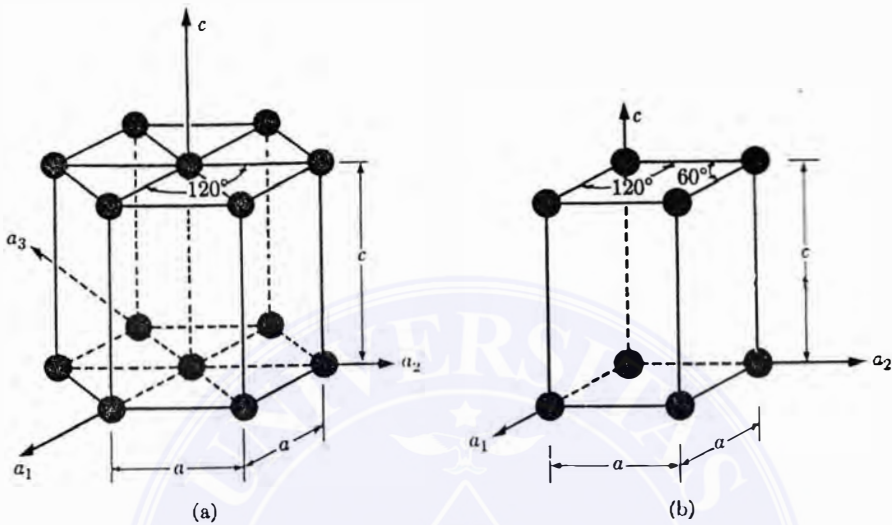
$$\begin{aligned} \text{Berat jenis} &= \frac{4 \text{ atom}(63,5) \frac{\text{gr}}{\text{mol}}}{(0,3615 \text{ nm})^3 \left(0,602 \times 10^{24} \frac{\text{atom}}{\text{mol}} \right)} \\ &= \frac{4 \text{ atom}(63,5)}{(0,3615 \text{ nm})^3} \frac{\text{gram}}{(0,602 \times 10^{24} \text{ atom})} \\ &= \frac{4(63,5) \text{ gr}}{(0,3615)^3 (0,602)(10^{-9})^3 (10^{24}) \text{ m}^3} \\ &= 8.931,25 \frac{1 \text{ gr}}{(10^{-27})(10^{24}) \text{ m}^3} \\ &= 8.931,25 \frac{1000 \text{ gr}}{\text{m}^3} \\ &= \frac{8,93(1000.000) \text{ gr}}{(100.00.00 \text{ cm}^3)} \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis} = 8,93 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

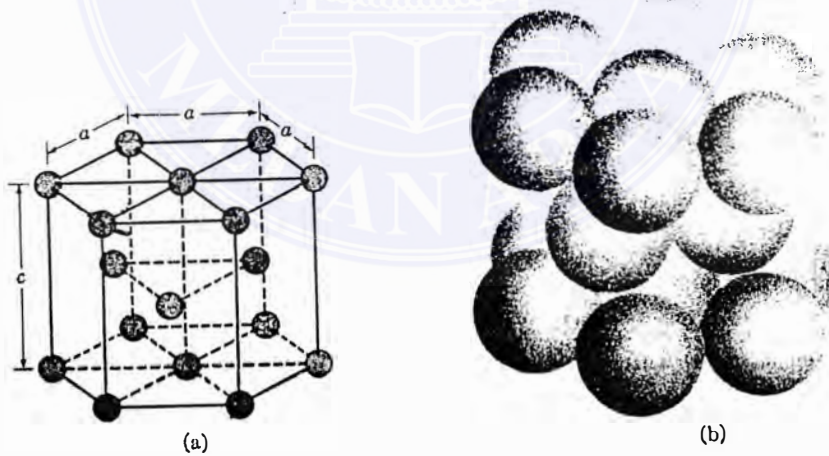
1.3.3 Kristal Heksagonal.

Struktur gambar 1.8.a dan 1.8.b merupakan dua gambar sel satuan heksagonal. Volume sel pada gambar 1.8.a, tiga kali lebih besar dari pada sel pada gambar 1.8.b, demikian pula sel pada gambar 1.8.a mempunyai atom 3 x dari gambar 1.8.b. Jumlah atom per satuan volume tetap sama. Logam tidak membentuk kristal

dengan susunan atom seperti gambar. 1.8.a karena faktor tumpukannya terlalu rendah.



Gambar 1.8 Sel satuan sederhana



Gambar 1.9 Struktur heksagonal tumpukan padat (a) gambar secara skematik, (b) model bola keras

1.3.4 Heksagonal Tumpukan Padat

Kisi heksagonal tumpukan padat dipunyai oleh logam-logam; Mg, Be, Cd, Ti, Zn, tampak pada gambar 1.9, struktur ini mempunyai tumpukan yang lebih padat dibandingkan dengan gambar 1.8, yang disebut heksagonal tumpukan padat. Ciri-ciri khasnya ialah bahwa setiap atom dalam lapisan tertentu terletak tepat diatas atau dibawah sela antara 3 atom pada lapisan berikutnya. Akibatnya setiap atom menyinggung 3 atom lainnya pada lapisan bawahnya, 6 atom dibidangnya sendiri dan 3 atom dilapisan di atasnya. Dalam struktur heksagonal tumpukan padat terdapat 6 atom tiap sel satuan. Faktor tumpukan logam heksagonal tumpukan padat = 0,74.

Contoh 1.3 :

Logam Mg dengan heksagonal tumpukan padat dengan F.T. = 0,74

Tentukan : Volume sel satuan.

Jawab :

Dari lampiran diperoleh : berat jenis Mg $1,74 \frac{Mg}{m^3} = 1,74 \frac{g}{cm^3}$

Massa atom Mg : 24,31 sma

Dari gambar : 1.9 a jumlah atom tiap sel satuan adalah :

$$3 + 2 \times \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \times 12 = 3 + 1 + 2 = 6 \text{ atom}$$

Dalam $1m^3$:

$$\frac{1,74 \times 10^6 \text{ gr}}{24,31 \text{ gr}} = \frac{1,74 \times 10^6}{24,31} \times 0,602(10^{24}) \text{ atom}$$
$$0,602 \times 10^{24} \text{ atom}$$

$$= \frac{1,74}{24,31} \times 0,602 \times 10^{30} \text{ atom}$$

$$= 4,3088 \times 10^{28} \text{ atom/m}^3$$

$$\text{Volume sel satuan : } \frac{6 \cdot \text{atom}}{4 \cdot 3 \times 10^{28} \text{ atom/m}^3}$$

$$= 1,4 \times 10^{-28} \text{ m}^3$$

$$= 0,14 \times (10^{-9})(10^{-9})(10^{-9}) \text{ m}^3$$

$$= 0,14 \text{ nm}^3$$

Contoh 1.4 : Misalkan dimiliki atom bulat, berapa perbandingan c/a dalam logam heksagonal tumpukan padat.

Jawab : Lihat gambar 1.9.a, perhatikan 3 atom di tengah dan satu atom diatas dipusatkan segi 6, ke 4 atom membentuk tetrahedron dengan sisi $a = 2R$.

$$\text{Hubungan } h = a\sqrt{\frac{2}{3}}$$

$$c = 2h = 2 a\sqrt{\frac{2}{3}} = 1,63a.$$

Misalkan untuk Mg : $a = 3,2088$

$$c = 1,63a = 5,230344$$

Dari tabel : $c = 5,2095$

Dari tabel ternyata

$$\frac{c}{a} \text{ untuk } \text{Mg} = 1,62 \quad \text{Ti} = 1,59$$

$$Z_n = 1,85$$

Hal ini berarti bahwa harus dibayangkan atom Mg, Ti sebagai bulatan yang tertekan sedikit (gepeng) sedang atom Zn sebagai bulat telur.

Contoh 1.5 : Vol sel satuan Ti heksagonal tumpukan padat pada 20°C $0,106 \text{ nm}^3$ lihat

gambar 1.9.a. $\frac{c}{a} = 1,59$

Tentukan : a). Nilai c dan a

b). jari-jari Ti dalam arah \parallel dengan bidang alas sel satuan.

Jawab :

a). Dari geometri

$$\text{Luas alas ; } 6 \times \left(\frac{1}{2}\right) (a) (a \sin 60^{\circ}) = 2,6 a^2$$

$$\text{Volume : } (1,59a) (2,6a^2) = 4,13a^3$$

$$4,13a^3 = 0,106 \text{ nm}^3$$

$$a^3 = \frac{0,106 \text{ nm}^3}{4,13} = 0,02566 \text{ nm}^3$$

$$a = 0,2950 \text{ nm}$$

$$c = 1,59 a = 1,59 (0,2950) \text{ nm}$$

$$= 0,469 \text{ nm}$$

b) $a = 2 R_{\text{alas}}$.

$$R_{\text{alas}} = \frac{a}{2} = \frac{0,295}{2} = 0,1475 \text{ nm}.$$

Catatan :

Jari-jari rata-rata = 0,146 n m (lihat lampiran).

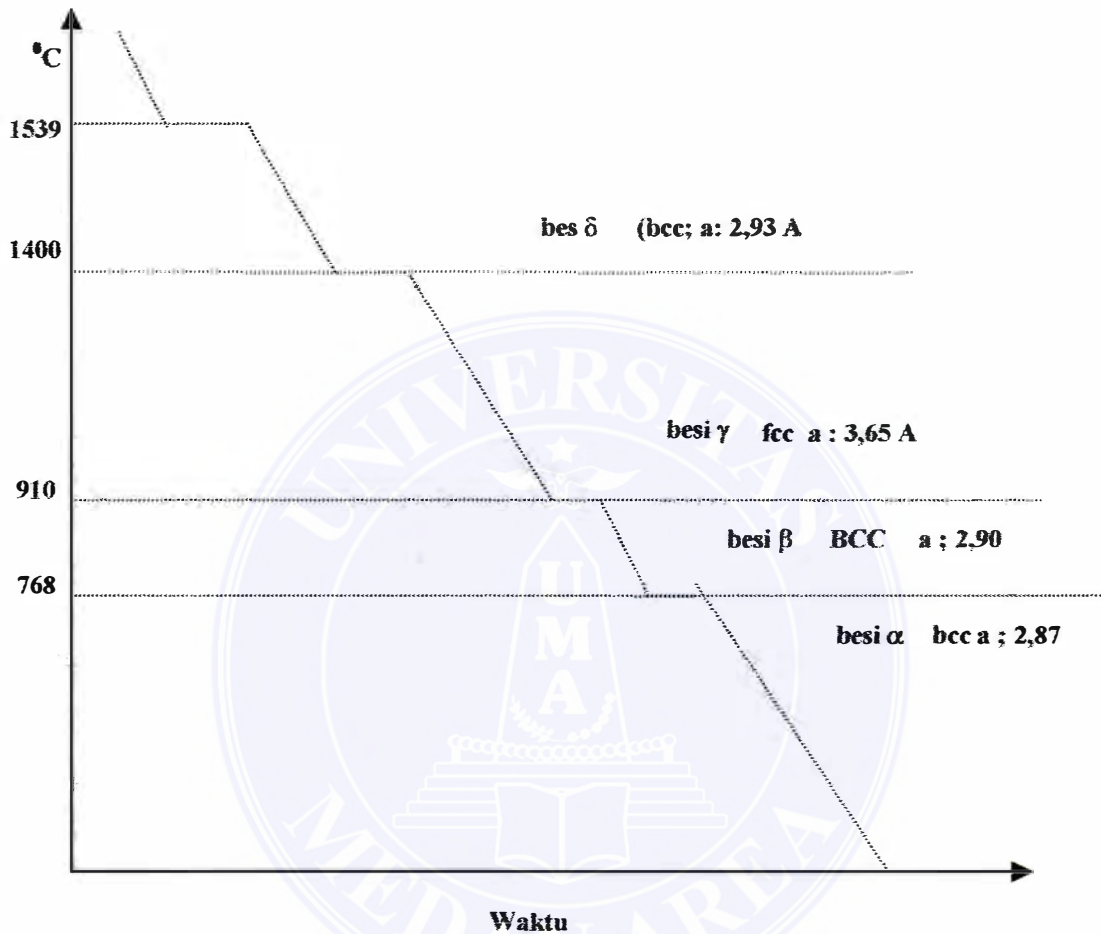
Atom Ti dan sel satuan sedikit tertekan dalam arah c.

1.4 Polimorfi

Polimorfi adalah dua atau lebih ragam kristal dengan komposisi yang sama. Contoh yang paling terkenal ialah polimorfi karbon berupa bentuk ganda yaitu **grafit** dan **intan**. Contoh polimorfi logam ialah **besi**, kemampuan laku panas bahan dan kemungkinan untuk merubah sifat-sifatnya tergantung pada hal ini. Bila besi dipanaskan maka sisinya berubah bentuk kpr menjadi kps. Perubahan ini mampu balik pada waktu pendinginan besi. Pada suhu ruang besi kpr mempunyai bilangan koordinasi 8 (BK bilangan koordinasi adalah suatu bilangan yang menunjukkan jumlah tetangga terdekat suatu atom). Faktor tumpukan atom ; 0,68 dan jari-jari atom: 0,1241 nm. Besi murni berubah menjadi kps pada 912°C pada saat ini bilangan koordinasinya 12, faktor tumpukan atom 0,74 dan jari-jari atomnya 0,129 n m.

Banyak logam lain yang mempunyai dua atau lebih bentuk polimorfi. Bahkan SiC, misalnya memiliki sekitar 20, modifikasi kristal. Tetapi polimorfi SiC adalah suatu pengecualian. Biasanya bentuk polimorfi mempunyai perbedaan dalam berat jenis dan sifat lainnya.

1.5 Pendinginan besi murni

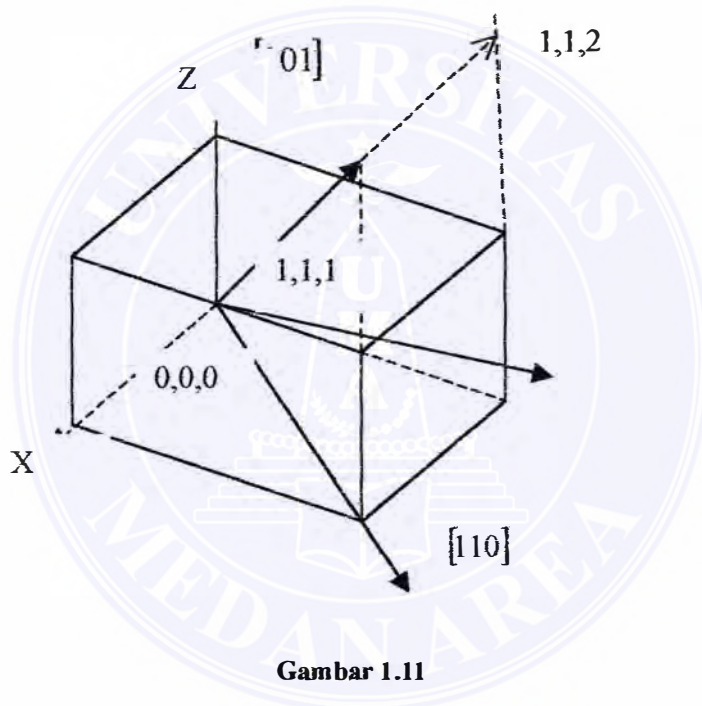


Gambar 1.10 Kurva Pendinginan besi murni

1.6 Arah Kristal

Untuk mempelajari kaitan antara berbagai sifat dengan struktur kristal, maka perlu memahami berbagai arah kristal, karena banyak sifat berubah dengan arah. Sebagai contoh modulus elastisitas dalam arah diagonal ruang untuk besi kpr > modulus elastisitas dalam arah rusuk kubus. Sebaliknya permeabilitas magnet dari besi memiliki nilai terbesar dalam arah // rusuk sel satuan.

Arah kristal diberi indeks sesuai berkas yang berasal dari titik asal melalui titik dengan indeks untuk terkecil. Misalnya : arah (111) melalui titik 0,0,0 dan 1,1,1. Perlu diingat bahwa arah ini akan melalui titik-titik $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$, dan 2,2,2 juga. Demikian pula (112) melalui titik $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 1$, tetapi untuk mudahnya digunakan penandaan utuh. Indeks arah dituliskan dalam tanda kurung persegi [UVW].



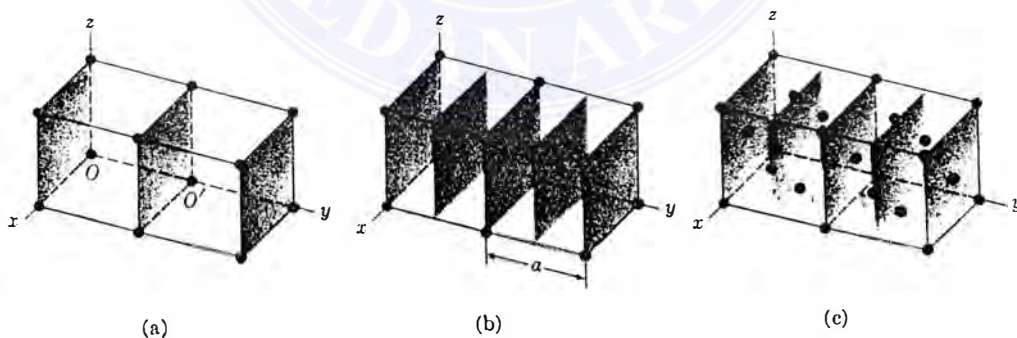
Gambar 1.11

1.7 Bidang Kristal

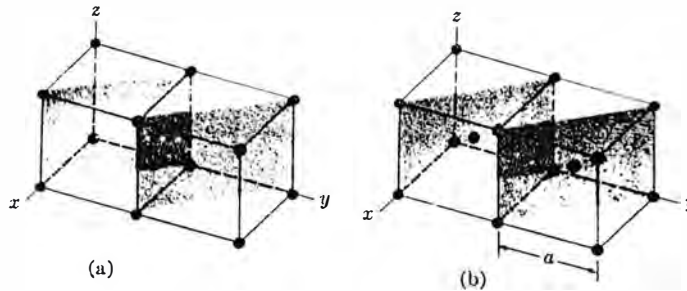
Suatu kristal mempunyai bidang-bidang atom, bidang-bidang atom mempengaruhi sifat dan perilaku bahan. Bidang kristal yang paling mudah digambarkan adalah bidang-bidang yang membatasi sel satuan disamping bidang lainnya.

Bidang yang terpenting adalah bidang pada gambar 1.12, gambar 1.13, dan gambar 1.14. Bidang ini diberi tanda ; (010) , (110) dan $(\bar{1}11)$. Bilangan dalam tanda kurung dan biasa diberi huruf $(h k l)$ disebut **indeks Miller**. Bidang warna gelap pada gambar 1.15 dapat digunakan untuk penentuan indeks $(h k l)$. Bidang ini memotong sumbu x, y, z pada titik-titik $1a, 1b,$ dan $0,5c$. **Indeks Miller** adalah kebalikan dari perpotongan ini yaitu (112) . Bidang dengan warna yang lebih terang pada gambar 1.15 adalah bidang (111) , karena memotong sumbu-sumbu pada titik $1a, 1b,$ dan $1c$. Kalau kita lihat gambar-gambar terdahulu, diperoleh :

Gambar.	Bidang	Perpotongan dengan sumbu x,y,z	indeks Miller
1.12(a)	tengah	$\sim a, 1b, \sim c$	(010)
1.13(a)	kiri	$1a, 1b, \sim c$	(110)
1.14(a)	tengah	$-1a, 1b, 1c$	$(\bar{1}11)$



Gambar 1.12 Bidang-bidang atom pada kristal



Gambar 1.13 Bidang – bidang atom pada bidang diagonal kristal

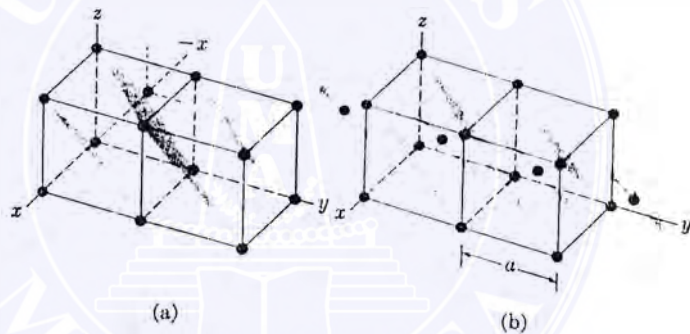
Perhatikan, perpotongan negatif ditandai dengan garis di atasnya. Disamping itu perlu diingat bahwa harus digunakan tanda kurung (hkl) untuk bidang. Untuk arah digunakan tanda kurung persegi $[uvw]$. Semua bidang // diberi indeks yang sama karena pemilihan titik asal 0 atau 0^1 adalah sebarang maka dapat dipakai $(0 \frac{1}{2} 0)$ atau $(0 1 0)$ sebagai indeks bidang kanan. Indeks $(0 1 0)$ lebih mudah penggunaannya, oleh karena itu digunakan indeks ini. Hal ini memang dimungkinkan karena ke 3 bidang berwarna tersebut identik secara geometrik dan berperilaku sama sewaktu deformasi plastik dan pengaruh luar lainnya.

Untuk Gambar 1.12.c

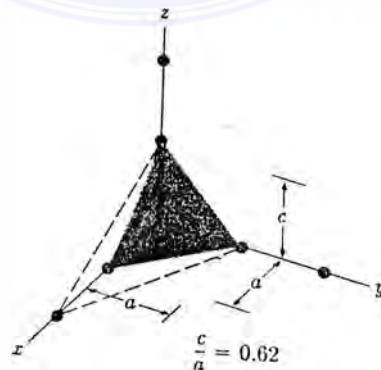
Bidang	Perpotongan	Indeks Miller
ke 3 dari kiri	$\sim a, \sim b, \sim c$	$(0 1 0)$
ke 2 dari kiri	$\sim a, \frac{1}{2}b, \sim c$	$(0 2 0) = (0 1 0)$

Bidang-bidang ini // dan identik (tetapi tergeser $\frac{1}{2}$ dalam arah $-x$ dan $\frac{1}{2}$ dalam arah $-y$). biasanya tidak perlu dibedakan bidang (010) , $(0\frac{1}{2}0)$ dan (020) . Selain itu pada gambar 1.13.c, bidang (220) setara dengan bidang $(\bar{1}1)$, pada gambar 1.13.b

Sebagai kesimpulan digunakan bilangan utuh terkecil sebagai indeks. Maka dapat disusun definisi. **Indeks Miller** adalah kebalikan dari perpotongan suatu bidang dengan ke-3 sumbu, dinyatakan dalam bilangan utuh bukan pecahan atau kelipatan bersama.



Gambar 1.14 Bidang-bidang atom yang lain dalam struktur kubik



Gambar 1.15 Bidang-bidang atom yang lain pada dalam struktur kubik

BAB II

ATOM TANPA TATA DALAM BENDA PADAT

2.1 Ketidak Murnian Dalam Bahan Padat.

Bahan asli selalu lebih digemari misalnya, madu asli, gula murni, dan emas 24 karat. Meskipun murni atau asli itu lebih baik, ada kalanya karena faktor harga, pengadaan atau sifat-sifat tertentu, diperlukan adanya ketidak murnian. Sebagai contoh, perak sterling, yang mengandung tembaga (Cu) 7,5% dan Ag 92,5%. Ag murni harganya lebih mahal, sifat-sifat mekanismenya lebih rendah dari pada perak sterling. Perak sterling, lebih kuat dari pada perak murni, keras, awet dan harganya lebih murah.

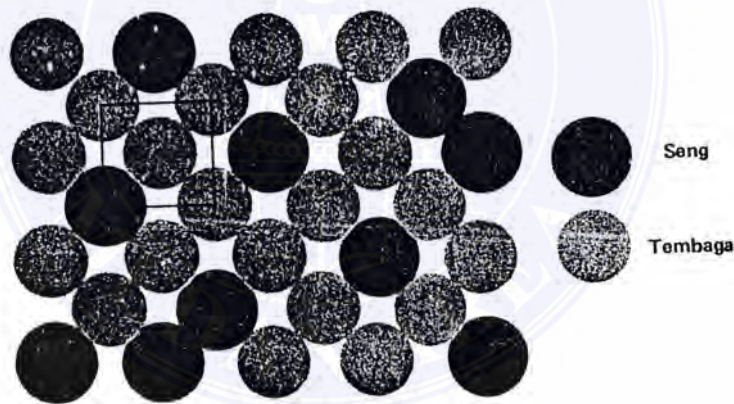
Dengan sendirinya sifat-sifat itu harus sesuai dengan perencanaan kita sendiri. Seng yang dicampurkan pada Cu menghasilkan kuningan yang lebih murah dari pada Cu murni. Kuningan lebih keras, kuat dan awet dibandingkan Cu.

Sebaliknya kuningan mempunyai konduktivitas listrik yang lebih rendah dari pada Cu, sehingga Cu murni tetap digunakan sebagai penghantar listrik dan penggunaan sejenis lainnya dimana konduktivitas listrik diutamakan.

Paduan adalah kombinasi dari 2 atau lebih jenis logam. Kombinasi ini dapat merupakan campuran dari 2 struktur kristalin (besi kpr dan Fe_3C dalam baja konstruksi), atau paduan dapat merupakan larutan padat dan sebagai contoh akan dibahas kuningan. Meskipun istilah paduan digunakan secara umum, kombinasi dari 2 lebih komponen oksida dapat digunakan dalam produk keramik.

2.2 Larutan Padat dalam Logam

Larutan padat mudah terbentuk bila pelarut dan atom yang larut memiliki ukuran yang sama dan struktur elektron yang serupa. Sebagai contoh dapat diambil logam dalam kuningan; Cu dan Zn yang masing-masing mempunyai jari-jari atom 0,1278 nm dan 0,139 nm. keduanya mempunyai 28 elektron kristal dengan bilangan koordinasi 12. Jadi bila seng bila ditambahkan pada Cu, maka dengan mudah Zn dapat menggantikan kedudukan Cu dalam kisi kps, sampai maksimal 40% dari atom Cu. Dalam larutan padat Cu dan Zn ini, distribusi dari Zn terjadi secara acak. (lihat gambar 2.1).



Gambar 2.1 Larutan padat substitusi acak (Zn dalam Cu)

2.3 Larutan Padat Substitusi

Larutan padat yang telah diuraikan diatas disebut larutan padat substitusi oleh karena atom Zn menggantikan atom Cu dalam struktur kristal. Larutan padat seperti ini sering dijumpai dalam berbagai sistim logam. Contoh lainnya adalah

larutan Cu dan Ni yang membentuk monel. Pada monel, Ni dapat menggantikan atom Cu dalam struktur Cu semula dalam perbandingan jumlah manapun. Larutan padat Cu-Ni berkisar dari 0% Ni dan 100% Cu sampai 100% Ni dan 0% Cu. Semua paduan Cu-Ni berstruktur kps.

Sebaliknya Sn secara terbatas sekali menggantikan Cu, membentuk perunggu dan tetap mempertahankan struktur mula Cu yaitu kps. Sn melebihi daya larut padat maksimal akan membentuk fasa lain. Untuk dapat menggantikan atom lainnya dengan jumlah yang cukup banyak dan membentuk larutan padat substitusi, ukuran dari atom harus **sama** atau **hampir sama**. Ni dan Cu mempunyai daya larut yang besar karena keduanya mempunyai struktur kps dan jari-jari atomnya masing-masing 0,1246 nm dan 0,1278 nm. Dengan meningkatnya perbedaan ukuran, menurunlah kemampuan substitusinya. Hanya 20% atom Cu dapat digantikan oleh Al karena jari-jari Cu hanya 0,1278 nm. Pelarutan padat menjadi terbatas bila terdapat selisih ukuran jari-jari atom melebihi 15%. Pelarutan akan lebih terbatas lagi bila ke 2 komponennya mempunyai struktur kristal yang berbeda atau valensi yang berlainan.

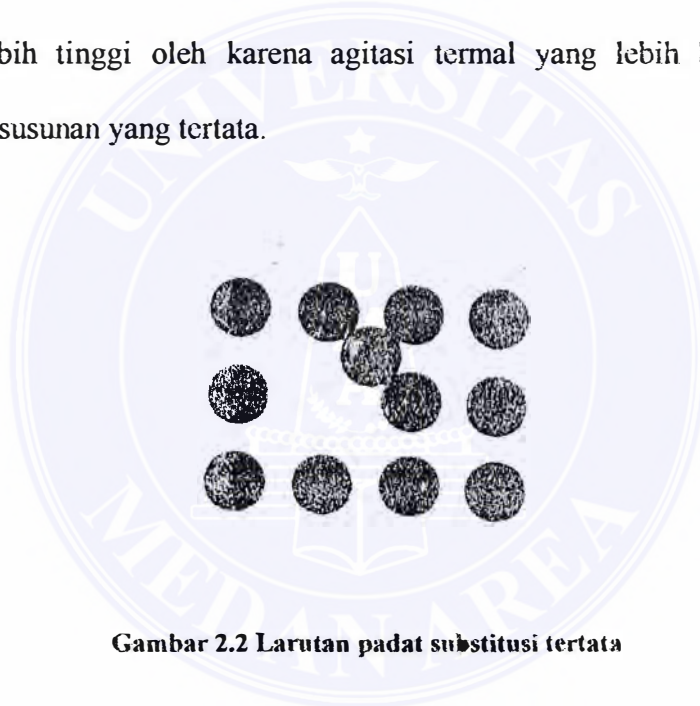
Faktor pembatas adalah jumlah atom substitusi dan bukannya berat atom substitusi. Umumnya, ahli teknik menyatakan komposisi dalam % berat. Oleh karena itu perlu dibiasakan merubah % berat menjadi % atom dan sebaliknya.

2.4 Larutan padat tertata

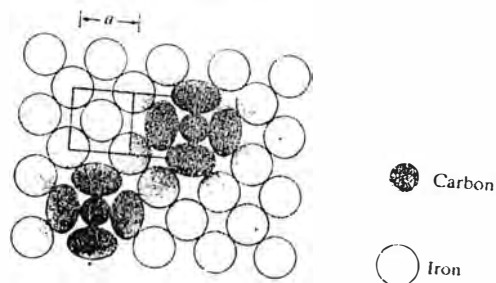
Gambar 2.1 menunjukkan suatu substitusi acak atom dalam struktur kristal lain. Pada larutan demikian, kemungkinan bahwa suatu unsur akan menempati

kedudukan atom tertentu dalam kristal sebanding dengan % atom unsur tersebut dalam paduan tadi. Dalam keadaan demikian, dikatakan bahwa tidak ada tata substitusi ke 2 elemen tadi.

Akan tetapi sering dijumpai penataan ke 2 jenis atom sehingga membentuk pengaturan khusus. Gambar 2.2 menunjukkan struktur tertata dimana kebanyakan “atom hitam” dikelilingi oleh atom “kelabu”. Penataan seperti ini jarang terjadi pada suhu yang lebih tinggi oleh karena agitasi termal yang lebih besar cenderung mengacaukan susunan yang tertata.



Gambar 2.2 Larutan padat substitusi tertata



Gambar 2.3 Larutan padat interstisi

2.5 Larutan padat interstisi

Jenis larutan padat lainnya digambarkan pada gambar. 2.3 disini atom yang kecil dikelilingi oleh atom-atom yang lebih besar. Contoh; C dalam besi. Pada suhu 912°C , besi murni mempunyai struktur kpr. Di atas 912°C , terdapat daerah suhu tertentu dimana besi mempunyai struktur kps. Pada kisi kps terdapat ruang sisipan atau lubang yang agak besar pada pusat sel satuan. Karbon sebagai atom yang kecil, dapat menduduki lubang tersebut dan membentuk larutan padat besi dan karbon. Pada suhu yang lebih rendah, dimana besi mempunyai struktur kubik pemusatan ruang, ruang sisipan antara atom-atom besi jauh lebih kecil. Akibatnya daya larut karbon dalam besi kpr sangat terbatas.

Contoh 2.1 : Perunggu adalah larutan padat Cu dan Sn dimana $\pm 3\%$ dari atom Cu digantikan oleh atom Sn. Sel satuan kps Cu tetap dipertahankan, terjadi pemuaian sedikit oleh karena atom Sn mempunyai jari-jari = 0,121 nm.

- Hitung % (berat) bila terdapat 3% (atom) Sn dalam perunggu.
- Berapa berat jenis perunggu, bila konstanta kisi meningkat secara linier dengan fraksi atom Sn.

Jawab :

Sebagai dasar perhitungan diambil 100 atom. 1 sel satuan Cu kps = 4 atom. Jadi untuk 100 atom terdapat 25 sel satuan kps.

- Massa Cu : $97 (63.54 \text{ sma}) = 6163 \text{ sma} = 0,945$ (atau 94,55 berat)

Massa Sn = 3(118.69 sma) = 356 sma = 0,054 (atau 5,4% berat)

Massa Perunggu : 6163 + 356 = 6519 sma.

b). Jari-jari rata-rata : 0,97 (0,1278 nm) + 0,03 (0,151 nm) = 0,1285 nm

$$a = \frac{4(0,1285)}{\sqrt{2}} = 0,3634 \text{ nm}$$

$$\rho = \frac{6519 \text{ sma}}{0,602 \times 10^{24} \text{ sma / gr}} = 9,0 \frac{\text{Mg}}{\text{m}^3}$$
$$= 9,0 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Contoh 2.2 :

Daya larut maksimal dari Sn dalam perunggu pada suhu 586⁰C adalah 15,8% (berat).

Berapa % atom Sn dalam perunggu.

Jawab : sebagai perhitungan diambil 100.000 sma

$$100.000 \text{ sma} = 15.800 \text{ sma Sn} + 84.200 \text{ sma Cu}$$

$$\text{Jumlah atom Cu} = \frac{84.200}{63,54} = 1325 \text{ atau } 90,9\% \text{ atom Cu}$$

$$\text{Jumlah atom Sn} = \frac{15.800}{118,69} = \frac{133}{1458} \times 100\% = \text{atau } 9,1\% \text{ atom Sn}$$

Contoh 2.3:

Pada suhu 1000⁰C, 1,7% (berat) karbon membentuk larutan padat dengan besi kps.

Hitunglah jumlah atom C dalam 100 sel satuan.

Jawab : Dasar perhitungan, 100 sel satuan = 400 atom Fe.

$$(400 \text{ Fe}) \left(\frac{55,85 \text{ sma}}{\text{Fe}} \right) = 22340 \text{ sma.}$$

Untuk 1,7% C. $22,340 \left(\frac{1,7}{98,3} \right) = 386,3 \text{ sma C.}$

$$\frac{386,3 \text{ sma C}}{12,01 \text{ sma}} = 32 \text{ Atom Karbon}$$

atom C

Catatan :

Atom C terletak pada titik $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$, kurang lebih $\frac{1}{3}$ dari jumlah sel satuan. Karena atom C > dari lubang, atom C tidak mungkin menempati semua kedudukan ekuivalen.

2.6 Larutan Padat dalam senyawa

Larutan padat substitusi dalam fasa ionik maupun logam. Dalam fasa ionik sama halnya dengan logam padat, ukuran atom atau ion merupakan faktor yang penting gambar. 2.4 adalah contoh larutan padat ionik. Strukturnya ialah MgO, dimana ion Mg^{2+} digantikan oleh ion Fe^{2+} . Karena jari-jari ke 2 ion tersebut masing-masing 0,066 nm dan 0,074 nm, substitusi sempurna mungkin terjadi. Sebaliknya, ion Ca^{2+} tidak dapat digantikan begitu saja oleh ion Mg^{2+} karena jari-jarinya yaitu : 0,099 nm, lebih besar.

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

Sangat sulit untuk menggantikan Mg^{2+} dalam MgO dengan Li^+ , meskipun keduanya mempunyai jari-jari yang sama karena akan terdapat selisih muatan.



Gambar 2.4 larutan padat substitusi dalam senyawa

2.7 Senyawa bukan stoichiometrik

Berbagai senyawa memiliki perbandingan elemen yang pasti (seperti : H_2O , CH_4 , MgO , Al_2O_3 , Fe_3C dan yang lain). Senyawa tersebut memiliki perbandingan atom yang tetap. Oleh karena itu disebut stoichio metrik. Antara atom yang tak sejenis terbentuk ikatan. Akibatnya, strukturnya lebih sempurna daripada gambar 2.1.

Senyawa lain yang menyimpang dari perbandingan utuh untuk ke 2 elemen penyusun, misalnya " $Cu_2 Al$ " dengan perbandingan mulai dari 31% atom sampai 37 atom Al (atau 16% berat sampai 29% berat) dan bukan tepat 331/3 % (atom) Al.

senyawa serupa ini dinamakan senyawa **bukan stoichiometrik** karena **tidak memiliki** perbandingan atom yang tetap.

Ikatan bukan stoichiometrik selalu mencakup larutan padat. Dalam contoh Cu_2Al tersebut diatas, atom-atom memiliki ukuran dan sifat-sifat elektron yang hampir sama/serupa sehingga dengan adanya kelebihan Al, beberapa atom Cu digantikan oleh atom Al (maksimum 37% atom Al). Sebaliknya, dengan adanya kelebihan Cu, perbandingan atom Cu/Al mencapai 69/31, dengan pergantian beberapa atom Al dalam Cu_2Al oleh atom Cu.

Contoh 2. 4

Kuningan β merupakan senyawa logam, Cu Zn, dengan struktur kubik sederhana. Senyawa ini dapat juga disebut larutan padat tertata sebagian, khususnya karena bukan stoichiometrik dengan kadar Zn berkisar antara 46 dan 50% atom pada suhu 450°C . misalkan 90% dari titik $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$, Gb 3-5.4., ditempati oleh atom Cu dalam paduan 46% (atom) Zn dan 54% (atom) Cu. Berapa % dari titik 0,0,0 ditempati oleh atom Cu.

Jawab :

50 sel satuan = 50 titik 0,0,0 (dan 50 titik $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$,)

100 atom = 54 Cu + 46 Zn; titik $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$,

45 Cu + 5Zn ; titik 0,0,0 dan 9Cu + 41Zn. Jadi 9 dari 50 atau 18% titik 0,0,0 ditempati oleh Cu.

Catatan :

Pada suhu rendah hampir semua tetangga atom Zn terdiri dari atom Cu dan sebaliknya. Namun bila suhu dinaikkan, atom-atom tak teratur. Pada contoh soal diatas, pada suhu 450°C titik 0,0,0 adalah 82 Zn – 18 Cu sedang letak $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$ adalah 10Zn – 90 Cu (dalam % atom). Jadi ke 2 titik tadi tidak ekivalen dan strukturnya kubik sederhana.

Diatas 470°C paduan menjadi acak, atom Cu tidak lagi dikelilingi oleh atom Zn. Dalam keadaan ini, larutan padat substitusi (disebut kuningan β) berbentuk kpr karena pusat sel satuan dan sudut-sudut mempunyai kemungkinan sama untuk mempunyai komposisi rata-rata yang sama.

2.8 Ketidak sempurnaan dalam kristal

Telah dikenal, jenis ketidak sempurnaan dalam kristal, dimana diperlukan kekosongan untuk mengimbangi kepincangan muatan. Bila ketidak sempurnaan seperti kekosongan meliputi sebuah atau beberapa atom disebut **cacat titik**. Ketidak sempurnaan lain dalam kristal berujud **garis**, oleh karena itu disebut **cacat garis**. Cacat jenis ini penting pada waktu kristal mengalami deformasi plastik oleh gaya geser. Sejumlah kecil cacat dapat menyebabkan kristal logam menjadi 1000 x lebih ulet dibandingkan dengan keadaan tanpa cacat. Bila banyak sekali jumlahnya, cacat garis ini dapat meningkatkan kekuatan logam. Akhirnya cacat lainnya berbentuk 2 dimensi dan mencakup permukaan luar dan batas-batas intern.

2.8.1 Cacat titik

Cacat titik yang paling sederhana adalah kekosongan, disini ada atom yang hilang dalam kristal (*gambar 2.5*). Cacat demikian merupakan hasil dari penumpukan yang salah sewaktu kristalisasi, atau dapat juga terjadi pada suhu tinggi oleh karena meningkatnya energi termal. Bila energi termal tinggi, kemungkinan bagi atom-atom untuk melompat meninggalkan tempatnya.

Terdapat kekosongan tunggal, (*gambar.2.5a*) atau kekosongan ganda (*gambar. 2.5b*) atau kekosongan rangkap 3.

2.8.2 Kekosongan pasangan ion

Disebut juga cacat Schottky terdapat dalam senyawa yang harus mempunyai keseimbangan muatan. (*gambar 2.5c*) cacat ini mencakup kekosongan pasangan ion dengan muatan berlawanan. Kekosongan pasangan ion dan kekosongan tunggal mempercepat difusi atom.

Suatu atom tambahan dapat berada dalam struktur kristal, khususnya bila faktor tumpukan atom rendah. Cacat semacam ini disebut sisipan, mengakibatkan distorsi atom (*gambar 2.5d*).

2.8.3 Perpindahan Ion

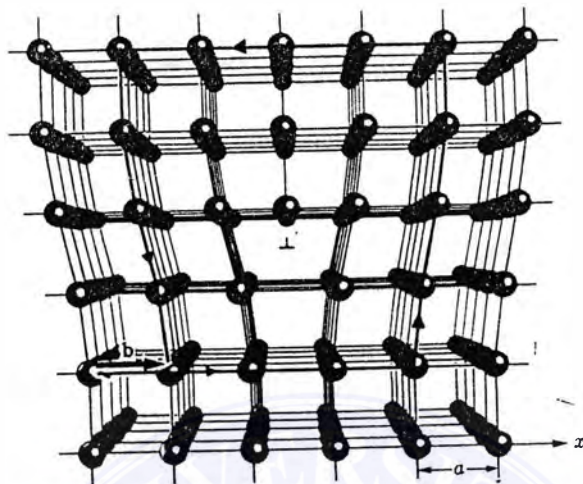
Perpindahan ion dari kisi ketempat sisipan (*gambar 2.5e*) disebut cacat Frenkel, struktur tumpukan padat lebih sedikit sisipan dan ion pindahannya dari pada kekosongan, karena diperlukan energi tambahan untuk menyisipkan atom.

2.8.4 Cacat Garis

Cacat garis yang paling banyak di jumpai didalam kristal adalah dislokasi. Dislokasi garis dapat dilihat pada Gambar. 2.6. Dislokasi ini dapat digambarkan sebagai sisipan satu bidang atom tambahan dalam struktur kristal. Disekitar suatu dislokasi garis terdapat daerah yang mengalami tekanan dan tambahan sepanjang dislokasi tersebut. Jarak geser atom disekitar dislokasi disebut vektor geser, “ b ”. vektor ini \perp garis dislokasi. (disebut juga vektor Burgers).

2.8.5 Dislokasi Ulir

Dislokasi ulir menyerupai spiral dengan garis cacat sepanjang sumbu ulir. Gambar 2.7. Vektor gesernya // garis cacat. Atom-atom disekitar diskolasi ulir

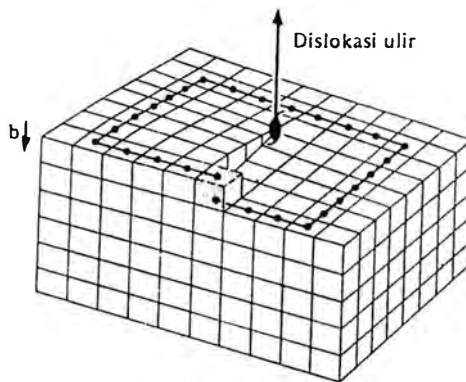


Gambar 2.6 Dislokasi garis

mengalami gaya geser, oleh karena itu terdapat energi tambahan disekitar dislokasi tersebut.

Kedua jenis dislokasi garis terjadi karena ada ketimpangan dalam orientasi bagian-bagian yang berdekatan dalam kristal yang tumbuh sehingga ada suatu deretan atom tambahan ataupun deretan yang kurang. Seperti terlihat pada gambar 2.7, dislokasi ulir memudahkan pertumbuhan kristal karena atom dan sel satuan tambahan dapat tertumbuk pada setiap anak tangga ulir. Istilah ulir sangat tepat karena anak tangga melingkari sumbu pada proses pertumbuhan.

Dislokasi mudah terjadi sewaktu deformasi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.8, dimana suatu pergeseran mengakibatkan terjadinya dislokasi garis dan dislokasi ulir. Keduanya menghasilkan deformasi akhir yang sama dan sebetulnya menghubungkan satu dengan lainnya oleh garis dislokasi yang terjadi.



Gambar 2.7 Dislokasi ulir



Gambar 2.8 Energi dislokasi atom yang berdekatan mengalami tekanan

2.9 Permukaan

Ketidak sempurnaan kristal dalam 2 dimensi merupakan suatu batas. Batas yang paling nyata adalah permukaan luar. Permukaan dapat dilukiskan sebagai akhir atau batas struktur kristal, kita dapat memahami kenyataan bahwa koordinasi atom pada permukaan tidak sama dengan koordinasi atom dalam kristal. Atom permukaan hanya mempunyai tetangga pada satu sisi saja.

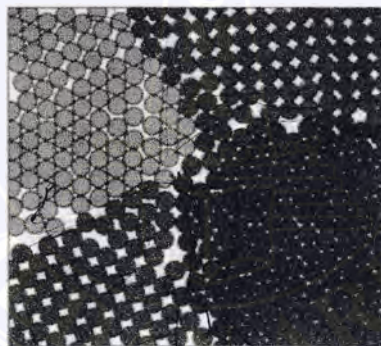
2.9.1. Batas Butir

Meskipun bahan seperti Cu dalam kawat listrik terdiri dari satu fasa saja, yaitu satu struktur (kps), benda tersebut terdiri dari banyak sekali kristal dengan orientasi yang berbeda. Kristal-kristal ini disebut butir. Bentuk butir dalam bahan padat biasanya diatur oleh adanya butir-butir lain disekitarnya. Dalam setiap butir, semua sel satuan teratur dalam satu arah dan satu pola tertentu. Pada batas butir, antara 2 butir yang berdekatan terdapat daerah transisi yang tidak searah dengan pola dalam kedua butiran tadi (lihat gambar. 2.9).

Meskipun kita tidak dapat melihat atom-atom itu satu persatu, gambar 2.9, dapat dengan mudah melihat batas butir dibawah mikroskop. Untuk ini logam **dietsa**. Mula-mula logam dipoles sampai terbentuk permukaan yang halus seperti cermin, kemudian diberi zat kimia tertentu selama beberapa detik. Atom-atom di daerah transisi di antara butiran akan lebih mudah larut dibandingkan dengan atom-atom lainnya dan akan meninggalkan garis yang tampak oleh mikroskop. Gambar 2.10. Batas butir yang dietsa tidak lagi merupakan permukaan yang halus sebagai bagian lainnya dari butiran.(gambar 2.11).

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

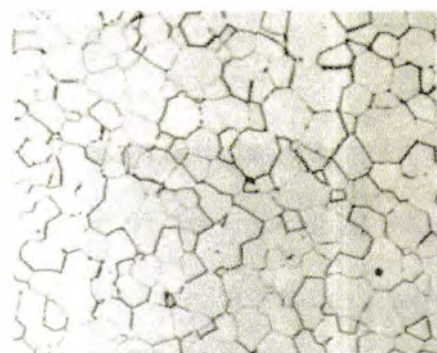
Hal ini yang menyebabkan mengapa daerah perbatasan lebih mudah terkikis. Energi atom batas butir yang lebih tinggi juga penting bagi proses nukleasi selama perubahan fasa polimorfi. Tumpukan atom yang lebih sedikit, pada batas butir memperlancar difusi atom dan ketidakseragaman orientasi pada butir yang berdekatan mempengaruhi kecepatan gerak dislokasi. Jadi batas butir merubah renggangan plastik dalam bahan pada suhu biasa, batas butir menghalangi pergeseran. Oleh karena itu bahan dengan butir halus lebih kuat daripada bahan berbutir kasar. Pada suhu tinggi, batas butir dapat menampung dislokasi sehingga keadaannya terbalik, dan terjadilah mulur (creep).



Gambar 2.9 Batas butir

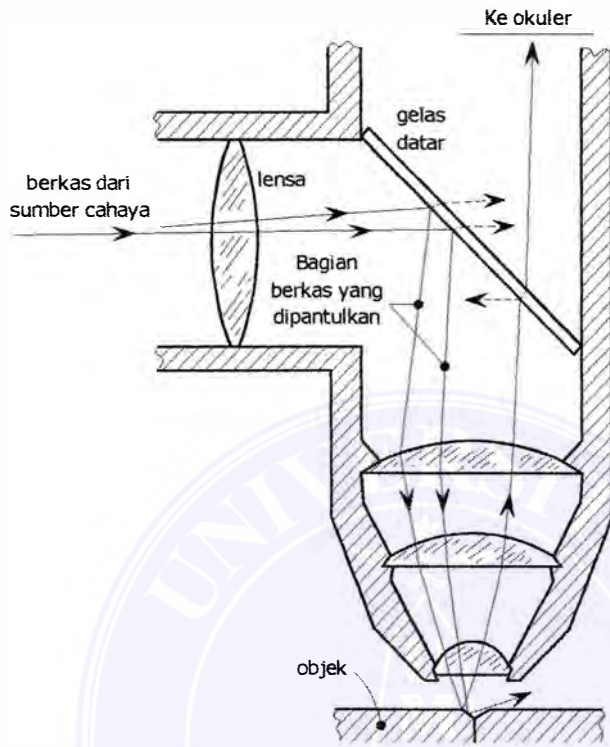


(a)



(b)

Gambar 2.10 Batas butir setelah di-etsa (a) Mo(250X) dan (b) MgO (250 X)



Gambar 2.11 Pengamatan batas butir dengan mikroskop

2.9.2. Daerah Batas Butir dan Besar Butir

Struktur mikro pada gambar 2.10 berbeda. Butir-butir pada gambar 2.10a lebih besar dari butir pada gambar 2.10b. MgO mempunyai butir yang < dari Molibden (keduanya dibesarkan 250x).

Karena batas butir berpengaruh atas bahan dalam berbagai hal, maka perlu diketahui besar daerah batas butir per satuan volume (S_v). Besarnya dapat dihitung dengan mudah dengan menarik suatu garis pada gambar struktur mikro. Garis ini akan memotong lebih banyak batas butir pada bahan yang berbutir halus dibandingkan dengan bahan berbutir kasar. Hubungannya adalah :

$$S_v = 2P_L$$

Dimana P_L merupakan jumlah titik potong antara garis dengan panjang satuan dan batas butir. Sebagai contoh dapat diamati pada gambar. 2.12. Diambil lingkaran secara acak diatas foto struktur mikro Mo. Dihitung perpotongan lingkaran dengan batas butir, misalnya diperoleh 11 perpotongan, dengan pembesaran foto = 250X. Keliling lingkaran dengan diameter 50 mm = $\pi(50)$ mm. Sedangkan keliling

lingkaran sebenarnya : $\frac{\pi(50)}{250} mm = 0,63 mm$ atau $P_L = \frac{11}{0,63 mm} = \frac{17,5}{mm}$, dengan demikian

luas permukaan persatuan volum : $S_v = 2.P_L = 2 \times 17,5 = 35 \frac{mm^2}{mm^3}$

Hal ini dapat dibandingkan dengan daerah batas butis MgO pada gambar 2.10(b) dalam contoh , 2.5.

Meskipun batas butir merupakan ciri mikro struktur yang berhubungan dengan sifat bahan, kita biasanya menggunakan ukuran butir sebagai patokan. Cara penentuan besar butir telah distandarkan oleh American Society for Testing and Materials. Meskipun empiris, indeks ini adalah kualitatif dan dapat direproduksi. Bilangan 2 dipakai sebagai dasar indeks:

$$N(0,0645) mm^2 = 2^{n-1}$$

dimana N = jumlah butir yang terdapat dalam daerah seluas 0,0645 mm². (Luas ini diperoleh dari luas bujur sangkar dengan sisi-sisi 25,4 mm (1 in) pada pembesaran 100 x). Harga n adalah bilangan besar butir. Pada contoh 2.6 diperlihatkan cara

menghitung B B B. untuk Mo (lihat gambar 2.10.a) Pada Gambar 1.13. terlihat 2 seri jaringan besar butir yang dapat digunakan untuk membandingkan dan memberikan nomor besar butir pada gambar mikro dengan pembesaran 100x. bilangan besar butir ini penting pada laku panas baja dan suhu transisi baja.



Gambar 2. 12 Menghitung daerah batas butir, dengan cara membuat lingkaran diatas foto mikroskop

Contoh 2.5 : Hitunglah daerah batas butir per satuan volume dalam MgO

Jawab : Letakkan jaringan sepanjang 50 mm secara acak diatas gambar MgO dan hitunglah batas butir yang dipotongnya. diulangi sebanyak 5 kali. Misalnya diperoleh hasil :

13, 17, 12, 14 dan 12 perpotongan

jumlah seluruhnya : 68 perpotongan untuk panjang $50 \times 5 = 250$ mm. Pembesaran foto = 250X. Panjang jaringan = 250 mm pada pengukuran jumlah perpotongan =

$$\frac{250 \text{ mm}}{250} = 1 \text{ mm} . \text{ Jadi untuk panjang garis } 1 \text{ mm terdapat } 68 \text{ perpotongan.}$$

$$S_v = 2 P_L = 2 \cdot \frac{68}{mm} = 138 = \frac{140}{mm} \text{ atau } = 140 \frac{mm^2}{mm^3}$$

Catatan : Dalam MgO terdapat kira-kira 4 x lebih banyak daerah batas butir persatuan volume dibandingkan dengan Mo. Cara perhitungannya hanya merupakan pendekatan saja. Bila cukup berhati-hati, dapat diperoleh ketelitian pengukuran sekitar 10%, yang sudah mencukupi untuk berbagai keperluan.

Contoh 2.6: Tentukan Bilangan Besar Butir (n). ASTM untuk Mo, lihat Gambar.

2.10a.

Jawab : Gambar 2.10a. diambil panjang 59 mm. Untuk sisi bujur sangkar. Luas bujur sangkar foto = $59 \times 59 \text{ mm}^2$

Skala (pembesaran) foto = 250 X, Luas sesungguhnya = $\frac{59 \times 59}{250 \times 250} \text{ mm}^2 = 0,056 \text{ mm}^2$

didalam bujur sangkar yang berisi 59 mm terdapat 17 butir. Dari rumus diatas :

$$N (0,0645 \text{ mm}^2) = 2^{n-1}$$

$$\frac{17}{0,056 \text{ mm}^2} = \frac{N}{0,0645 \text{ mm}^2}$$

$$N = \frac{17 \times 0,0645 \text{ mm}^2}{0,056 \text{ mm}^2} = 19,58 \approx 20$$

$$N = 2^{n-1}$$

$$20 = 2^{n-1}$$

$$n = 5,318$$

$$= 5^+$$

$$\text{Log } 20 = \log 2^{n-1}$$

$$1,3 = (n-1) 0,30103$$

$$n-1 = \frac{1,3}{0,30103} = 4,318$$

$$n = 4,318 + 1$$

$$= 5,318 = 5$$

Catatan : Gambar struktur mikro 2.10 merupakan contoh, oleh karena itu bervariasi secara statistik. Akibatnya jangan mengharapkan ketelitian yang terlalu besar, sehingga no BBB (Bilangan Besar Butir) $\pm 0,5$ cukup memadai.

Jumlah butir diperoleh dengan :

1. Menghitung jumlah butiran pada permukaan struktur mikro yang sedang diamati.
2. Menjumlahkan setengah jumlah butir yang terletak dipinggir (karena butir-butir ini terbagi antara 2 daerah yang berdekatan).
3. menjumlahkan $\frac{1}{4}$ dari jumlah butir yang terletak pada sudut.

Contoh 2.7 :

Berat jenis Al. ditentukan dengan teliti sampai 4 angka. Bila didinginkan dengan cepat dari 650°C , $\rho = 2,698 \text{ Mg/m}^3$. bandingkan hasil yang diperoleh dengan nilai teoritis dari analisa difraksi dimana ditentukan $a = 0,4049 \text{ nm}$.

Jawab : Karena berat atom Al = 26,98 sma dan Al adalah kps

$$= \frac{4(26,98 \text{ sma}) / (0,6022 \times 10^{24} \text{ sma} / \text{g})}{(0,4049 \times 10^{-9} \text{ m})^3}$$

$$= 2.700 \text{ Mg/m}^3$$

$$= \frac{26,98}{2,7} = 0,999 \text{ atau terdapat 1 kekosongan per 1000 atom}$$

Catatan : Nilai hampir sama, Al sebagai kebanyakan logam mempunyai sekitar 1 kekosongan.

2.9.3 A S T M System of Reporting Grain Size

ASTM. No.	No. of Grains per in ² pada pembesaran 100 x
1.	- 1½
2.	1 ½ - 3
3.	3 - 6
4.	6 - 12
5.	12 - 24
6.	24 - 48
7.	48 - 96
8.	96 - 192
9.	192 - 384
10.	384 - 768
11.	768 - 1536
12.	1536 - 3072

No : 1 - 5 berbutir kasar
 6 - 8 berbutir halus
 9 - 12 berbutir sangat halus

BAB III

3.1 Pembekuan Paduan

Bila logam cair yang terdiri dari dua komponen atau lebih didinginkan sampai padat, maka butir-butir kristalnya akan berbeda dengan butir-butir kristal logam murni. Bila suatu paduan yang terdiri dari logam A dan B membeku, maka kemungkinan akan terdapat :

1. Logam A dan logam B saling larut dengan sempurna dalam keadaan cair, namun sama sekali tidak saling melarutkan dalam keadaan padat.
2. Logam A dan logam B saling larut dengan sempurna dalam keadaan cair maupun padat.
3. Kedua logam A dan logam B saling larut dengan sempurna dalam keadaan cair, namun dalam keadaan padat ada salah satu logam yang larut dalam logam yang lain. Sebagian kedua logam membentuk senyawa, dan ada kemungkinan dijumpai komponen murni dari salah satu komponen yang dicampur.

Larutan padat adalah keadaan dimana beberapa atom dari konfigurasi atom A di substitusikan oleh atom-atom B, atau atom-atom B menembus masuk kedalam ruang kosong antar atom dari konfigurasi atom-atom A.

Dalam ilmu logam *struktur yang sama* disebut *fasa*. Karena itu *paduan* adalah *susunan dari beberapa fase larutan padat, senyawa antar logam dan logam murni*.

Pada pembahasan logam murni, yang perlu diperhatikan hanya pengaruh suhu terhadap struktur. Tetapi jika ada unsur lain yang ditambahkan ke logam induk,

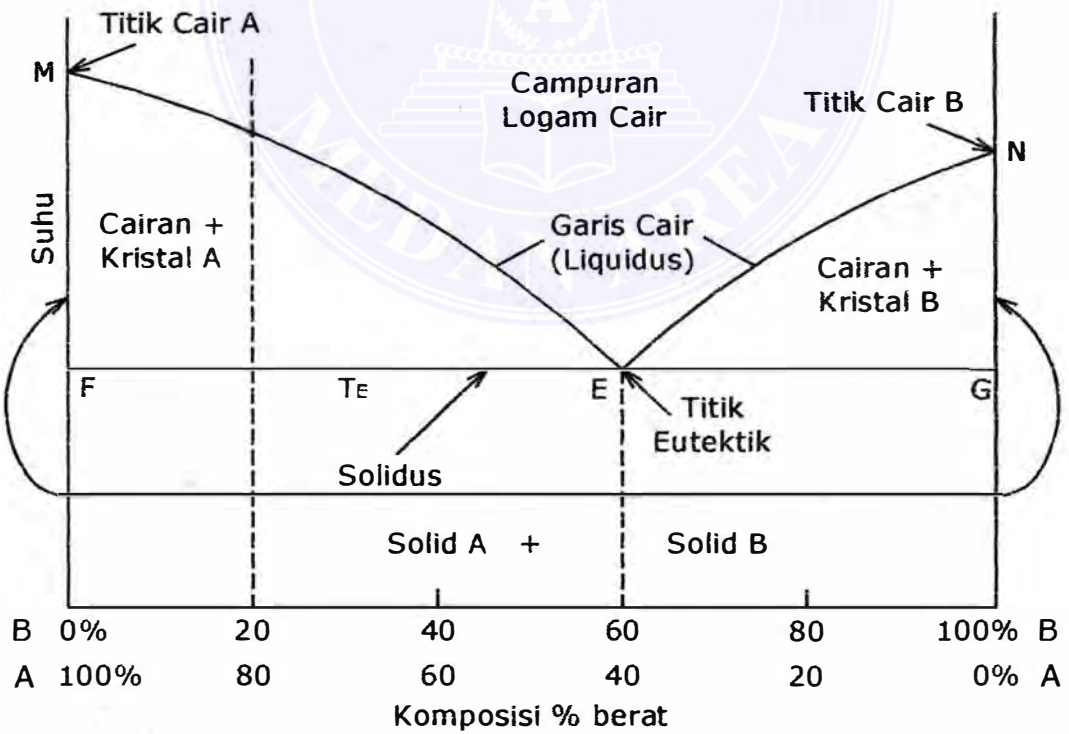
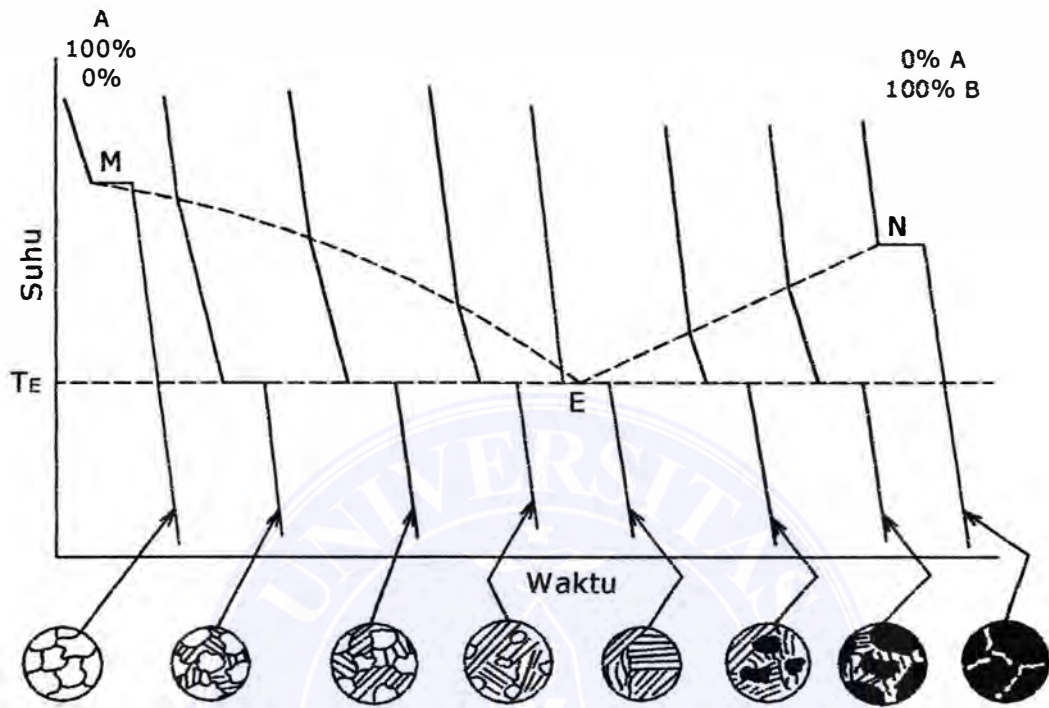
persoalan menjadi lebih kompleks. Dalam hal ini komposisi menjadi variabel yang harus diperhatikan dan atom-atom yang terlarut mungkin akan bercampur dengan atom-atom pelarut membentuk larutan primer yang struktur kristalnya sama dengan logam induk. Karena struktur keseimbangan suatu paduan, bergantung pada suhu dan komposisi, untuk menunjukkan keberadaan suatu fase akan lebih mudah bila digunakan grafik atau diagram yang disebut *diagram fase* atau *diagram keseimbangan*, dengan suhu sebagai *ordinat* dan komposisi sebagai *absis*. Dengan kata lain, *diagram fase* adalah *peta sesaat yang menggambarkan semua fase dalam keseimbangan untuk setiap kombinasi suhu dan komposisi paduan*.

3.1.1 Dua logam cair yang dalam keadaan cair larut satu sama lain tetapi dalam keadaan padat tidak larut satu sama lain.

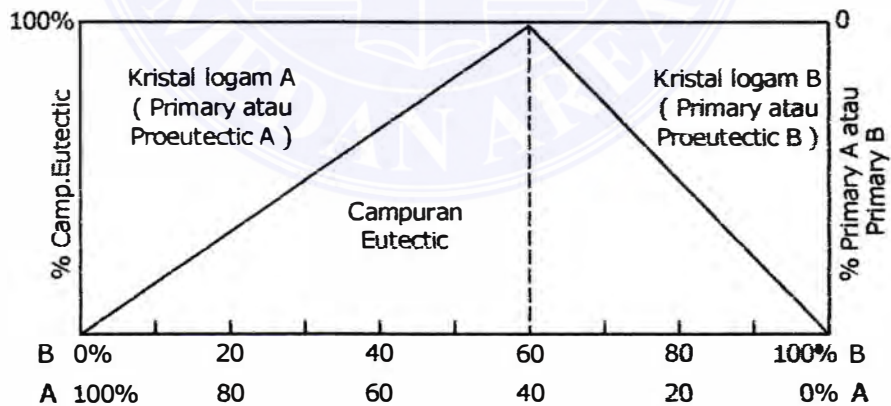
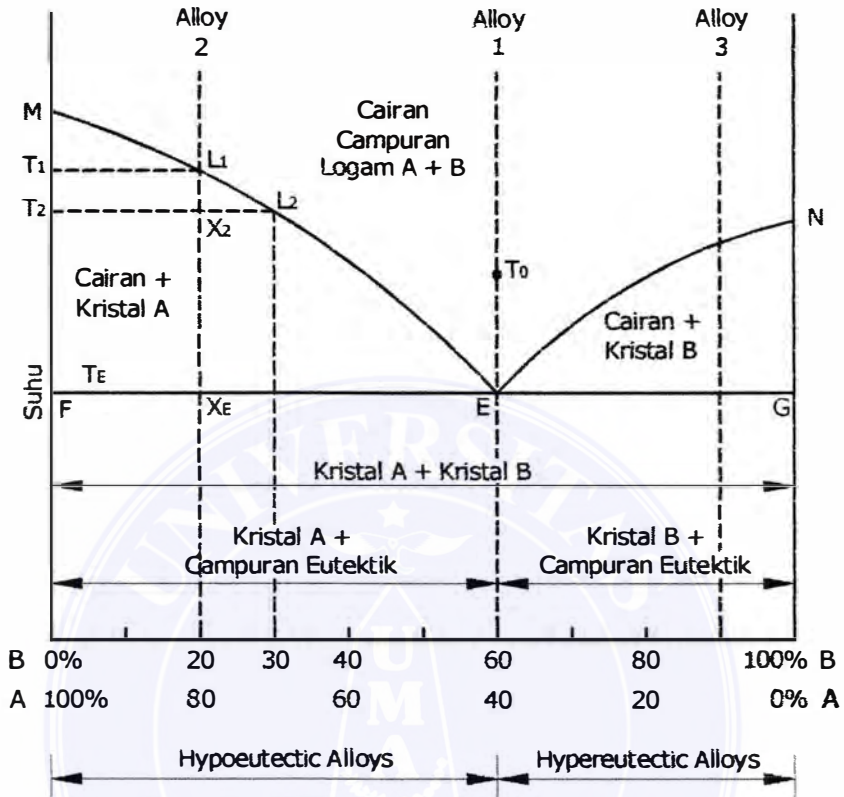
Jika dua logam tidak saling melarutkan dalam keadaan padat maka sifat paduannya digambarkan dengan diagram sistem *eutektik*, misalnya logam Pb-Sb (*gambar 3.1*). Karakteristik diagram ini dapat diringkaskan sebagai berikut :

1. Kurve-kurve (garis) likuidus, ME dan EN, bertemu pada suatu titik perpotongan E yang disebut *titik eutektik* dan.
2. Semua logam penyusun paduan membentuk kristal pada suhu yang sama, karena garis solidus adalah garis horizontal pada suhu eutektik.

Diagramnya terdiri dari 4 daerah fase yaitu cairan, logam A + cairan, logam B + cairan dan logam campuran yang berupa kristal halus logam A dan logam B.



Gambar 3.1 Diagram fase type eutektik



Gambar 3.2 Diagram fase tipe eutektik dan Distribusi campuran eutektik

Pada pendinginan paduan logam A dan logam B (gambar 3.2), misalnya dengan 20% logam B yang memotong garis likuidus akan mulai terbentuk kristal logam A. Pada pendinginan selanjutnya kristal logam A yang terbentuk makin banyak, sedangkan komposisi sisa cairan mengikuti garis likuidus. Pada saat suhu eutektik dicapai, struktur terdiri dari kristal-kristal logam A dalam sisa cairan berkomposisi E. Dibawah suhu eutektik cairan yang tersisa yang terdiri dari logam A dan B akan membeku bersama-sama. Campuran logam A dan logam B yang terbentuk pada suhu dibawah temperatur T_E , terdiri dari kristal halus logam A dan B yang disebut *campuran eutektik*.

Pada campuran dengan logam B 20% yang didinginkan sampai T_2 akan

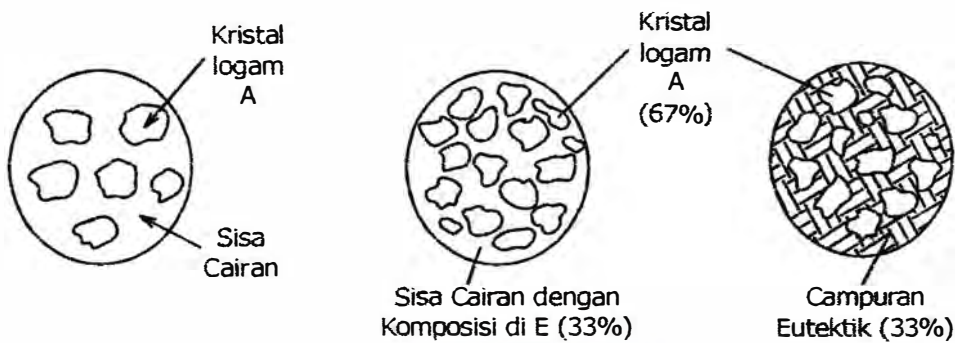
diperoleh : Logam padat A sebanyak
$$= \frac{X_2 L_2}{T_2 L_2} \times 100\% = \frac{10}{30} \times 100\% = 33\%$$

Sisa cairan =
$$\frac{T_2 X_2}{T_2 L_2} \times 100\% = \frac{20}{30} \times 100\% = 67\%$$

Garis ME disebut garis jenuh dengan logam A, sedang garis NE disebut garis jenuh dengan logam B. pada pendinginan sedikit diatas T_E akan didapati :

<u>Fase</u>	<u>Cair</u>	<u>Padat</u>
Komposisi	40%A – 60%B	100%A
Jumlah relativ	$\frac{T_E XE}{T_E E} \times 100\% = 33\%$	$\frac{X_E E}{T_E E} \times 100\% = 67\%$

Pada pendinginan selanjutnya sisa cairan sebanyak 33% akan menjadi padat. Bila diamati pada pendinginan larutan 2 akan diperoleh kristal-kristal besar A, diantara kristal-kristal halus A dan B.



Gambar 3.3 Keadaan Campuran sewaktu proses pembekuan

Bila didinginkan larutan (1) dengan komposisi 60% B dan 40% A, maka akan langsung ke titik E, yang berarti akan didapati kristal campur halus yang konsentrasi sisa cairan :

$$\frac{20}{20 + 60} \times 100\% = \frac{20}{80} \times 100\% = \frac{1}{4} \times 100\% = 25\%$$

Tentukan dari soal diatas bila konsentrasi sisa cairan 40%, berapa kristal logam A yang berbentuk.

Jawab :

Misalkan kristal logam A yang berbentuk x gram. Maka berat sisa cairan = $(100 - x)$ gram, sehingga diperoleh persamaan :

$$\begin{aligned} \frac{20}{100 - x} \times 100\% &= 40\% \\ \frac{20}{100 - x} \cdot 10 &= 4 \\ 200 &= 400 - 4x \\ 4x &= 200 \\ x &= 50 \end{aligned}$$

berat kristal A yang terbentuk pada konsentrasi cairan 40% = 50 gram. Dari soal diatas bila logam A cukup banyak yang mengkristal sehingga diperoleh konsentrasi sisa cairan 60% logam B.

Tentukan : Berat Kristal A yang terbentuk.

Jawab :

Misalkan kristal logam A yang terbentuk x gram seperti contoh diatas dapat digunakan

persamaan : $\frac{20}{100-x} \times 100\% = 60\%$

$$\begin{aligned}\frac{20}{100-x} \times 100 &= 60 \\ 200 &= 600 - 6x \\ 6x &= 400 \\ x &= \frac{400}{6} = \frac{200}{3} = 66 \frac{2}{3}\end{aligned}$$

Berat kristal A pada konsentrasi larutan 60%B = $66 \frac{2}{3}$ gram. Sisa cairan terdiri dari :

$$\text{Logam A} = 80 - 66 \frac{2}{3} = 13 \frac{1}{3} \text{ gram}$$

$$\text{Logam B} = 20 \text{ gram}$$

Sisa cairan pada saat bersuhu sedikit dibawah T_E akan membentuk kristal-kristal halus logam A dan logam B yang disebut kristal-kristal dengan susunan eutektik atau disebut : eutektikum.

Contoh soal 3.1 :

Pada pendinginan larutan logam A dan B dengan konsentrasi larutan logam B = 80%, dengan berat larutan 100 gram.

Tentukan : Konsentrasi larutan bila pada pendinginan terbentuk kristal B sebanyak 10 gram.

Jawab :

Dengan terbentuknya kristal logam B sebanyak 10 gram maka sisa logam B dalam cairan = $80 - 10 = 70$ gram. Berat logam A yang larut dalam cairan = 20 gram.

Konsentrasi cairan :

$$\frac{70}{70 + 20} \times 100\% = \frac{70}{90} \times 100\% = \frac{7}{9} 100\% = 77\frac{7}{9}\%$$

Bila pendinginan cairan diteruskan sampai pada konsentrasi 60% B. Berapa gram logam B yang berupa kristal terbentuk.

Jawab :

Misalkan berat kristal B = x gram.

Berat logam B dalam cairan = $(80 - x)$ gram dan

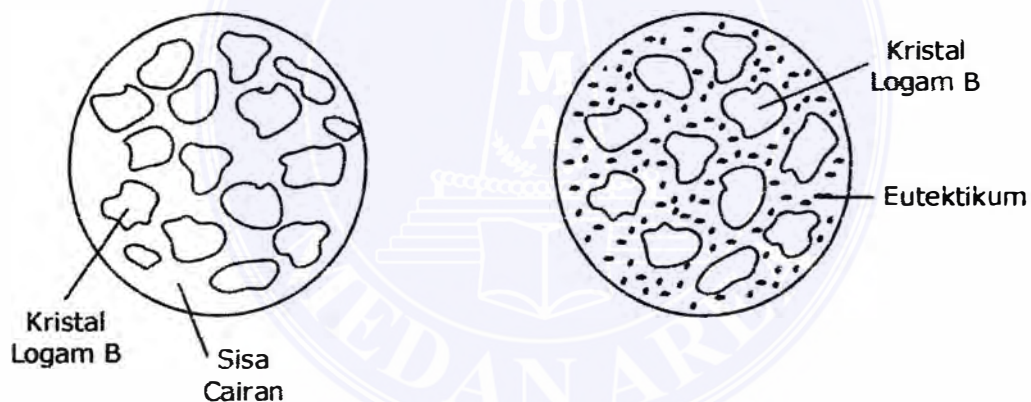
Berat logam A dalam cairan = 20 gram.

Sehingga di peroleh persamaan :

$$\begin{aligned} \frac{(80 - x)}{(80 - x) + 20} \times 100\% &= 60\% \\ \frac{(80 - x)10}{100 - x} &= 6 \\ 800 - 10x &= 600 - 6x \\ 4x &= 200 \\ x &= 50 \end{aligned}$$

Berat kristal B yang terbentuk pada konsentrasi 60%B = 50 gram..Berat logam B dalam sisa cairan = $80 - 50 = 30$ gram, dan Berat logam A dalam sisa cairan = 20 gram

Logam A dan B dalam sisa cairan pada pendinginan selanjutnya akan membeku bersama-sama membentuk kristal halus logam A dan logam B yang disebut susunan eutektik. Kristal logam B yang terbentuk sebelum T_E berupa kristal-kristal yang besar. Sehingga pada suhu kamar akan diperoleh kristal-kristal besar logam B diantara kristal-kristal halus logam A dan Logam B.

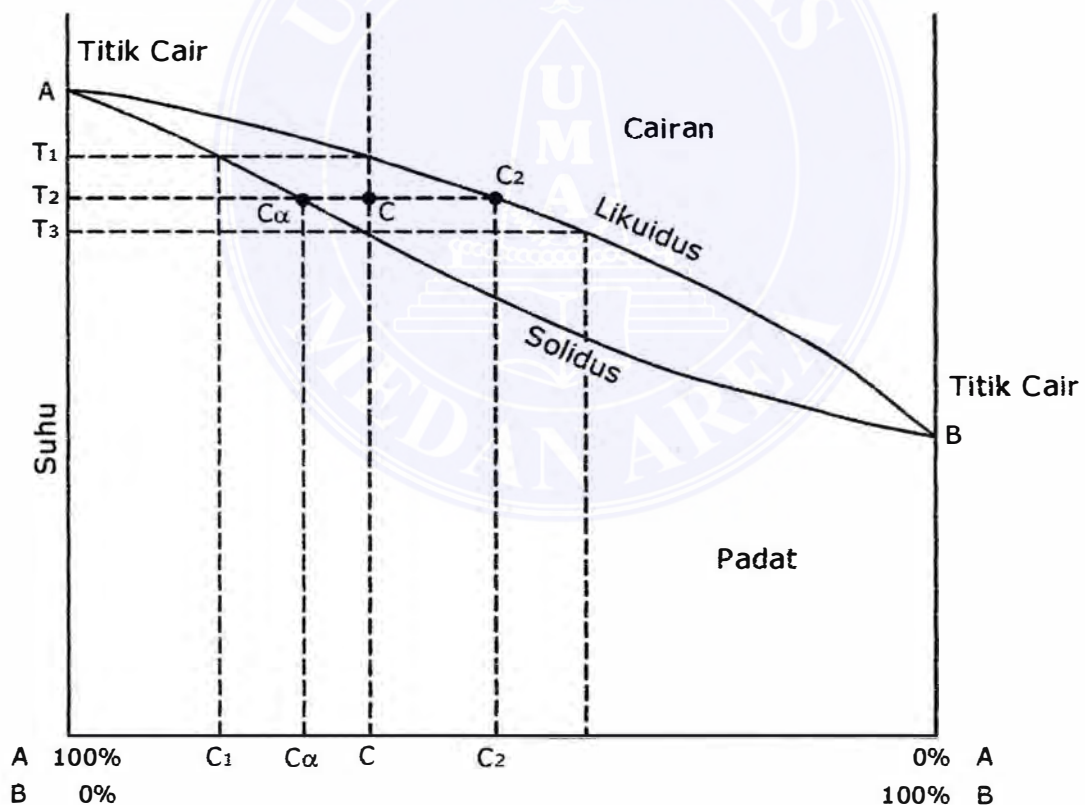


Gambar 3.4. Keadaan campuran pada proses pendinginan dan campuran Eutektikum

Diagram yang memberikan hubungan linier antara logam penyusun campuran dan campuran eutektik

3.1.2 Pembukuaan 2 logam yang dalam keadaan cair dan padat larut satu sama lain.

Dalam hal 2 logam yang dalam keadaan padat dapat larut satu sama lain secara substitutionil diperlukan kesamaan dalam struktur kristal dan jari-jari atom. Bila jari-jari atom berbeda, perbedaan tidak boleh dari 8%. Sebagai contoh untuk : campuran Cu-Ni dan Ag-Pt. Diagram terbagi atas 3 daerah fase (*solidus dan likuidus*). Pada suhu diatas likuidus, paduan dengan komposisi dari A murni sampai B murni akan berada dalam wujud cair, sedangkan pada suhu dibawah solidus, paduan akan berujud padat.



Gambar 3.5 Diagram fase yang memperlihatkan keberagaman sempurna pada keadaan padat

Perlu dicatat bahwa tidak seperti logam murni, paduan membeku dalam suatu kurun suhu dan bahwa daerah antara kurva-kurva solidus dan likuidus menggambarkan selang suhu dimana paduan akan berada dalam kondisi yang terdiri dari fase padat dan cair.

Untuk menjelaskan ini, diamati pembekuan sebuah paduan berkomposisi C_2 pada waktu pendinginan, pembekuan dimulai pada suhu T_1 . Bila fase padat pertama yang terbentuk dengan komposisi C_1 , tampak bahwa dendrit yang terbentuk pertama kali lebih kaya A ketimbang cairan asalnya dan akibatnya sisa yang masih cair akan lebih kaya B dari pada cairan asal. Ketika suhu menurun lebih rendah dari T_1 , paduan melewati daerah dua fase dan pada setiap suhu dalam kurun ini, komposisi dan perbandingan fase-fase yang ada dapat diturunkan dari diagram. Jadi pada suhu T_2 komposisi fase α adalah C_α dan komposisi fase cairnya adalah C_2 , perbandingan berat fase padat dan sisa cairan dapat ditentukan dengan aturan pangungkit.

$$\frac{\text{banyak fase } \alpha}{\text{banyak cairan}} = \frac{C_2 - C}{C - C_\alpha}$$

Pada pendinginan berlanjut perbandingan kedua fase terus berubah. Fase cair terus berkurang dengan cepat sampai habis pada suhu T_3 . selanjutnya komposisi masing-masing fase bervariasi dengan suhu sedemikian rupa sehingga komposisi fase α menurun mengikuti garis solidus dan komposisi cairan mengikuti garis likuidus. Pada T_3 paduan yang telah melewati daerah 2 fase seluruhnya terdiri dari larutan padat α dengan zat terlarut B dalam pelarut A dengan komposisi C.

Dari pembahasan diatas jelas bahwa komposisi fase α yang terbentuk semakin kaya unsur B sehingga jika keseimbangan paduan ingin dicapai dimana komposisi-

komposisi fase mendapat kesempatan menyusun diri untuk membentuk komposisi homogen, maka difusi atau migrasi atomik harus terjadi secara besar-besaran. Akan tetapi pada prakteknya, laju pendinginan sering terlalu cepat sehingga tidak memberi kesempatan yang cukup untuk difusi, dan yang terjadi hanya redistribusi sebagian atom. Dengan demikian, butir-butir fase α yang terbentuk memiliki komposisi bervariasi sekitar komposisi rata-rata C, dan pusat butir tempat α mula-mula terbentuk, memiliki kadar A yang tinggi, sementara diluar butir, kadar A yang tinggi, sementara diluar butir, kadar B yang tinggi. Larutan padat α yang tidak homogen tersebut disebut mengalami pemusatan (**coring**), dan akan terbukti bahwa semakin cepat laju pendinginan semakin besar efek pemusatan yang terjadi. Karena itu, pada logam ingot tuang yang didinginkan dengan cepat coring akan sangat terlihat

Larutan padat α yang mengalami coring memiliki sifat lebih buruk dibanding paduan homogen, karena itulah paduan hasil tuangan diberi perlakuan lanjutan yang disebut homogenisasi. Salah satu cara untuk mendapatkan paduan homogen adalah memanaskan kembali ingot sampai suhu dibawah suhu solidus yang memungkinkan migrasi atomik berlangsung cepat. Bagaimanapun, yang lebih sering dikerjakan orang adalah memberikan perlakuan dingin terhadap billet sebelum dianil, sebab cara ini menghasilkan 3 keuntungan tambahan dibanding bila hanya proses anil dilakukan. **Pertama** akibat deformasi secara paksa struktur dendrit menjadi pecah. Sehingga daerah kaya A dapat mengalami kontak dengan daerah kaya B. ini memperpendek jarak tempuh difusi pada saat hal tersebut terjadi. **Kedua** , ketidak sempurnaan akibat deformasi mempercepat laju difusi selama proses anil berikutnya dan **ke tiga** proses anil

sesudah deformasi sering menyebabkan rekristalisasi yang memungkinkan struktur tuang digantikan dengan struktur butir homogen baru yang bersumbu sama.

Contoh soal 3.2:

Diketahui paduan logam A dan B yang mempunyai garis likuidus dan solidus seperti pada gambar 3.3. Paduan logam A dan B dengan komposisi logam B : 30 %, sedang logam A : 70 %, berat paduan 100 gram. Tentukan : komposisi sisa cairan bila kristal pertama yang diamati seberat 10 gram. Pendinginan dilakukan dengan sangat lambat.

Jawab :

Paduan logam dengan logam B : 30% berarti untuk 100 gram paduan terdiri dari : logam B : 30 gram, dan logam A : 70 Gram. Pada pendinginan terbentuk kristal paduan logam A dan B seberat 10 gram, komposisi paduan dengan 10% B dan 90% A. sehingga untuk 10 gram kristal akan tersusun dari :

$$\text{Logam B} = \frac{10}{100} \times 10 = 1 \text{ gram}$$

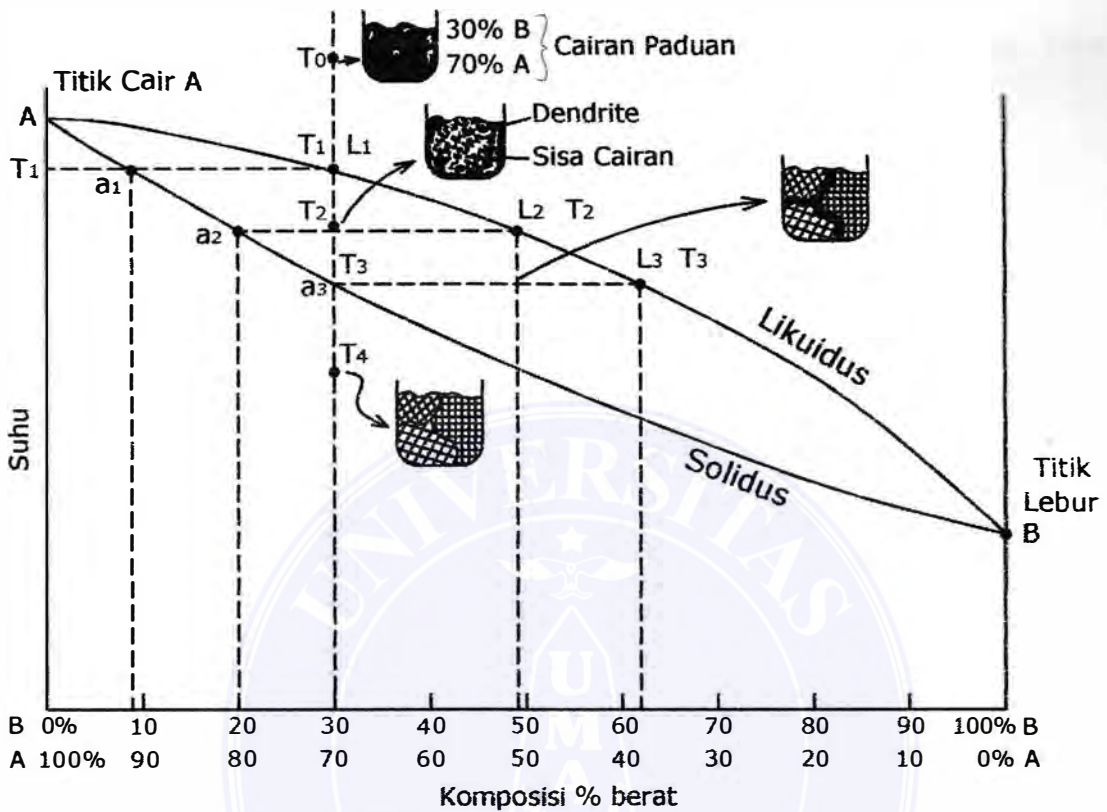
$$\text{Logam A} : \frac{90}{100} \times 10 = 9 \text{ gram}$$

Sisa cairan beratnya ; $100 - 10 = 90$ gram dan Komposisi sisa cairan

$$\text{Logam B} = 30 - 1 = 29 \text{ gram}$$

$$\text{Logam A} = 70 - 9 = 61 \text{ gram}$$

$$\text{Konsentrasi sisa larutan} = \frac{29}{29 + 61} \times 100\% = 32,22\%$$



Gambar 3.6 Diagram fase untuk beberapa keadaan

Pada soal diatas pada perdinginan lebih lanjut sehingga diperoleh kristal paduan dengan komposisi 20%B.

Tentukan : Berat kristal paduan logam A dan B dan berat sisa cairan.

Jawab :

Hal diatas terjadi pada suhu T₂. Dalam hal ini berlaku perbandingan.

$$\frac{\text{Berat Kristal paduan}}{\text{Berat sisa cairan}} = \frac{L_2 T_2}{T_2 a_2} = \frac{48 - 30}{30 - 20} = \frac{18}{10} = 1,8$$

Sehingga berat kristal paduan logam A dan B = $\frac{1,8}{1,8+1} \times 100 \text{ gram} = 64,285 \text{ gram}$. Berat

sisa cairan = $\frac{1}{2,8} \times 100 \text{ gr} = 35,715 \text{ gram}$

Berat kristal paduan A dan B : 64,285 gram terdiri dari :

$$\text{Logam B} = \frac{20}{100} \times 64,285 = 12,857 \text{ gram}$$

$$\text{Logam A} = \frac{80}{100} \times 64,285 = 51,428 \text{ gram}$$

Dalam sisa cairan logam paduan A dan B terdiri dari :

$$\text{Logam B} = \frac{48}{100} \times 35,715 = 17,1432 \text{ gram}$$

$$\text{Logam A} = \frac{52}{100} \times 35,715 = 18,5718 \text{ gram}$$

Pada soal diatas pada pendinginan lebih lanjut sehingga diperoleh kristal paduan dengan komposisi 30% B. Tentukan berat sisa cairan .

Jawab :

Misalkan komposisi kristal paduan logam A dan B baru sampai pada konsentrasi 29%

B. Konsentrasi sisa cairan 61% B. maka perbandingan kristal logam paduan A dan B dengan sisa cairan :

$$\frac{\text{Berat Kristal Logam A + B}}{\text{Berat Sisa Cairan}} = \frac{61 - 30}{30 - 29} = \frac{31}{1}$$

$$\text{Berat kristal logam A + B} = \frac{31}{32} \times 100 \text{ gram} = 96,875 \text{ ram}$$

$$\text{Berat sisa cairan} = \frac{1}{32} \times 100 \text{ gram} = 3,125 \text{ gram.}$$

Berat logam B dalam Kristal paduan :

$$\frac{71}{100} \times 96,875 = 68,78125 \text{ gram}$$

Sisa cairan dengan komposisi .

$$\text{Logam B} = \frac{61}{100} \times 3,125 = 1,90625 \text{ gram}$$

$$\text{Logam A} = \frac{39}{100} \times 3,125 = 1,21875 \text{ gram}$$

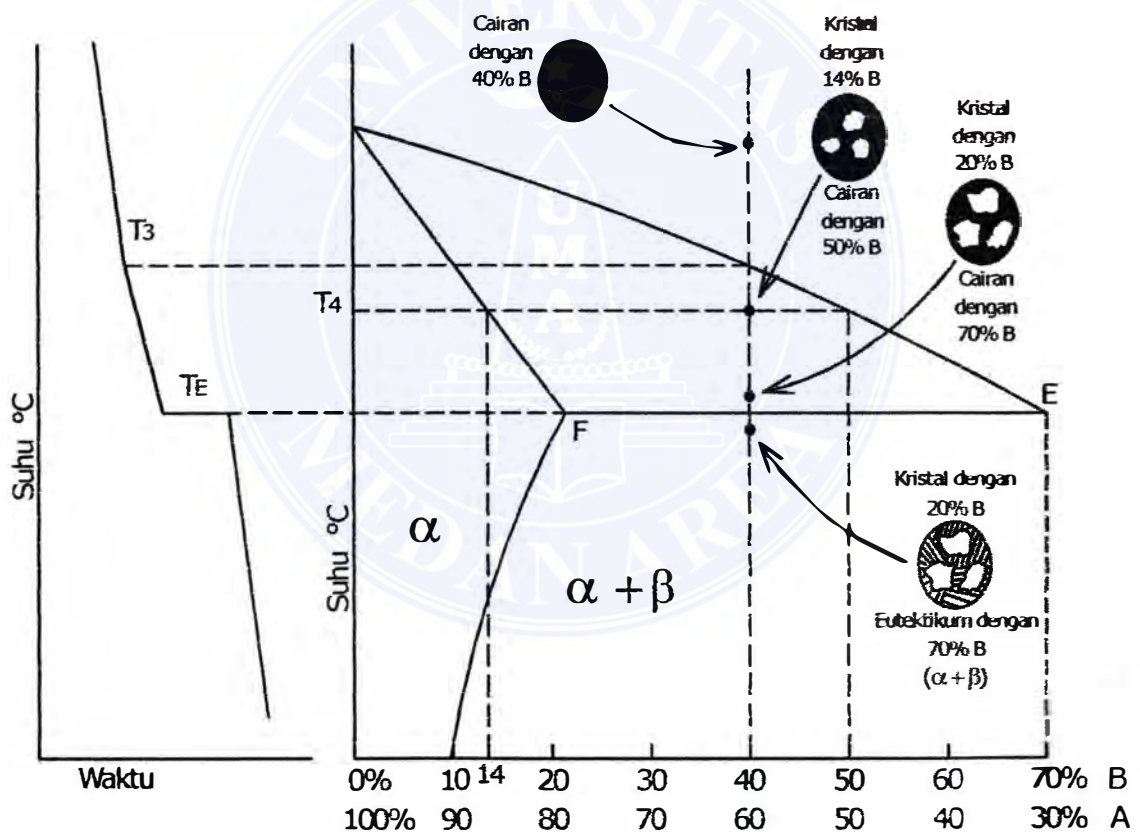
Pendinginan dapat dilanjutkan sehingga pada komposisi 30% logam B, sisa cairan = 0 gram. Dan kristal paduan terakhir mempunyai komposisi 30% logam B dan 70% logam A. Komposisi ini tidak berubah sampai T_4 maupun pada suhu kamar (30°C).

3.1.3 Pembekuan 2 logam yang larut dalam keadaan cair tetapi hanya sebagian yang larut satu sama lain

Campuran logam dengan perilaku seperti ini banyak dijumpai di dalam logam campur. Diagram fase dari campuran logam ini dapat diamati pada diagram fase dibawah ini. Titik cair dari logam A dan B di T_A dan T_B , garis $T_A E T_B$ merupakan garis likuidus, sedang garis $T_A F E G T_B$ merupakan garis solidus. Pada logam campur ini tidak akan pernah dijumpai kristal logam murni A atau B, tetapi selalu suatu larutan padat dari 2 logam A dan B. Akan dijumpai fase α dan fase β yang masing-masing merupakan logam campur logam A dan B. Fase α , merupakan logam campur yang

akan mulai terbentuk kristal α yang kaya akan logam A, bila pendinginan diteruskan akan terdapat sisa cairan yang akan makin kaya dengan logam B. pada pendinginan sampai sedikit di atas T_E akan terdapat :

Fase	Cairan	Kristal α
Komposisi	70 % B – 30 % A	20% A – 30% B
Perbandingan berat	40%	60% ✓



Gambar 3.9 Diagram fase untuk beberapa keadaan

Pada pendinginan selanjutnya sisa cairan akan berubah menjadi eutektikum dengan kristal α dan β pada suhu sedikit dibawah T_E , α dengan komposisi logam B 20

% Logam A : 80 % dan β dengan komposisi logam B = 90% dan A = 10 %. Kristal α yang terlebih dahulu terbentuk pada suhu sedikit dibawah T_E dengan komposisi : Logam B : 20% logam A : 80%.

Pada pendinginan selanjutnya sampai suhu kamar didapati : kristal α dengan komposisi sbb:

Kristal α dengan komposisi logam B : 10 %, A : 90 %

Kristal β dengan komposisi logam B : 95 %, A : 5 %

Contoh soal 3.4 :

Pada pendinginan campuran logam A dan B dengan logam B 40% pada T_4 akan terbentuk kristal α dengan susunan 14% B dan sisa cairan dengan 50% B berat campuran logam A dan B mula-mula 100 gram.

Tentukan : berat kristal α dan sisa cairan pada suhu T_4 .

Jawab :

Berat logam B = 40 gram, berat logam A = 60 gram, Berat kristal α

pada $T_4 = \frac{10}{36} \times 100 \text{ gram} = 27,77 \text{ gram}$ dan Berat sisa cairan =

$\frac{26}{36} \times 100 \text{ gram} = 72,22 \text{ gram}$. Bila pendinginan sampai sedikit diatas T_E maka berat

kristal $\alpha = \frac{30}{50} \times 100 \text{ gram} = 60 \text{ gram}$, dan Berat sisa cairan =

$\frac{20}{50} \times 100 \text{ gram} = 40 \text{ gram}$. Kristal α terdiri dari :

Campuran Logam (A + B) $\xrightarrow{\text{pendinginan}}$ $\alpha + \beta$ (eutektikum)

α mempunyai komposisi di F, sedang β mempunyai komposisi di G. Perbandingan berat α dan β : (pada suhu T_E).

$$\alpha \% = \frac{EG}{FG} \times 100\% = \frac{20}{70} \times 100\% = 28,6\%$$

$$\beta \% = \frac{EF}{FG} \times 100\% = \frac{50}{70} \times 100\% = 71,4\%$$

pada pendinginan lebih lanjut sampai suhu kamar komposisi α berubah sesuai dengan suhunya melewati garis FH demikian pula β berubah dari G ke J, sehingga pada suhu kamar

α mengandung B : 10% , A : 90%

β mengandung A : 5% , B : 95 %

sedang perbandingan α dan β :

$$\alpha (\%) = \frac{KJ}{HJ} \times 100\% = \frac{25}{85} \times 100\% = 29,4\%$$

$$\beta (\%) = \frac{HK}{HJ} \times 100\% = \frac{60}{85} \times 100\% = 70,6\%$$

Contoh soal 3.3 :

Diketahui berat logam campur A dan B : 100 gr dengan komposisi B : 70 gram. A : 30 gram. Didinginkan sampai sedikit dibawah T_E .

Tentukan : berat α dan β masing-masing.

$$\alpha = 28,6 \text{ gram}$$

$$\beta = 71,4 \text{ gram}$$

Tentukan berat logam A dan B di α dan β .

$$\text{Berat logam A di } \alpha = \frac{80}{100} \times 28,6 \text{ gram} = 22,88 \text{ gram.}$$

$$\text{Berat logam B di } \alpha = \frac{20}{100} \times 28,6 \text{ gram} = 5,72$$

$$\text{Berat logam A di } \beta = \frac{10}{100} \times 71,4 \text{ gram} = 7,14 \text{ gram}$$

$$\text{Berat logam B di } \beta = \frac{90}{100} \times 71,4 \text{ gram} = 64,26 \text{ gram}$$

Pada pendinginan selanjutnya sampai suhu kamar

$$\text{Berat } \alpha = 29,4 \text{ gram} \left(\text{dari: } \frac{25}{85} \times 100 \text{ gram} \right)$$

$$\text{Berat } \beta = 70,6 \text{ gram} \left(\text{dari } \frac{60}{85} \times 100 \text{ gram} \right)$$

Tentukan berat logam A dan B di α dan β .

$$\text{Berat logam A di } \alpha = \frac{90}{100} \times 29,4 \text{ gram} = 26,46 \text{ gram}$$

$$\text{Berat logam B di } \alpha = \frac{10}{100} \times 29,4 \text{ gram} = 2,94$$

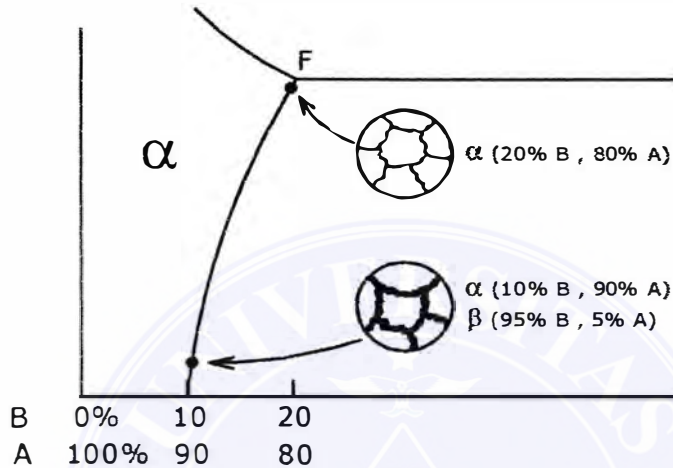
$$\text{Berat logam A di } \beta = \frac{5}{100} \times 70,6 \text{ gram} = 3,53 \text{ gram}$$

$$\text{Berat logam B di } \beta = \frac{95}{100} \times 70,6 \text{ gram} = 67,07 \text{ gram}$$

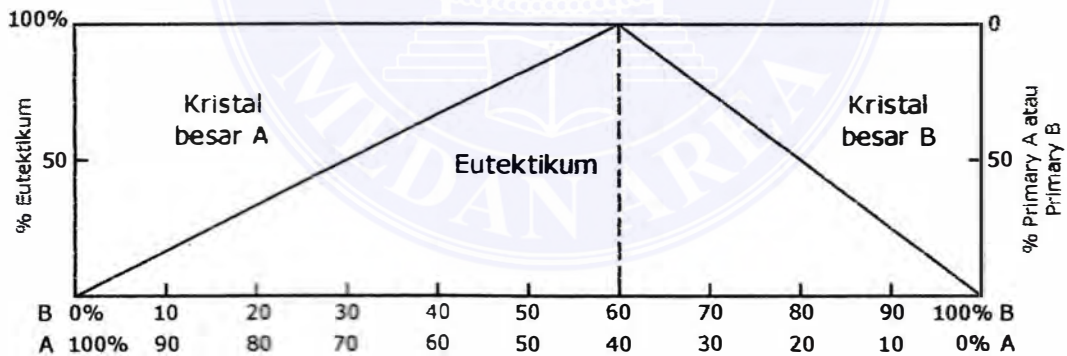
Campuran 3, degan logam A=60%, B=40%, akan tetap cair sebelum melewati garis lukoidus di T_3 . pada pendinginan selanjutnya akan memotong garis lukoidus dan

$$= 47,647 + 0,353 = 48 \text{ gram,}$$

sedangkan berat logam B dari α_{30} dan dari $\beta_{30} = 5,294 + 6,706 \text{ gram} = 12 \text{ gram.}$



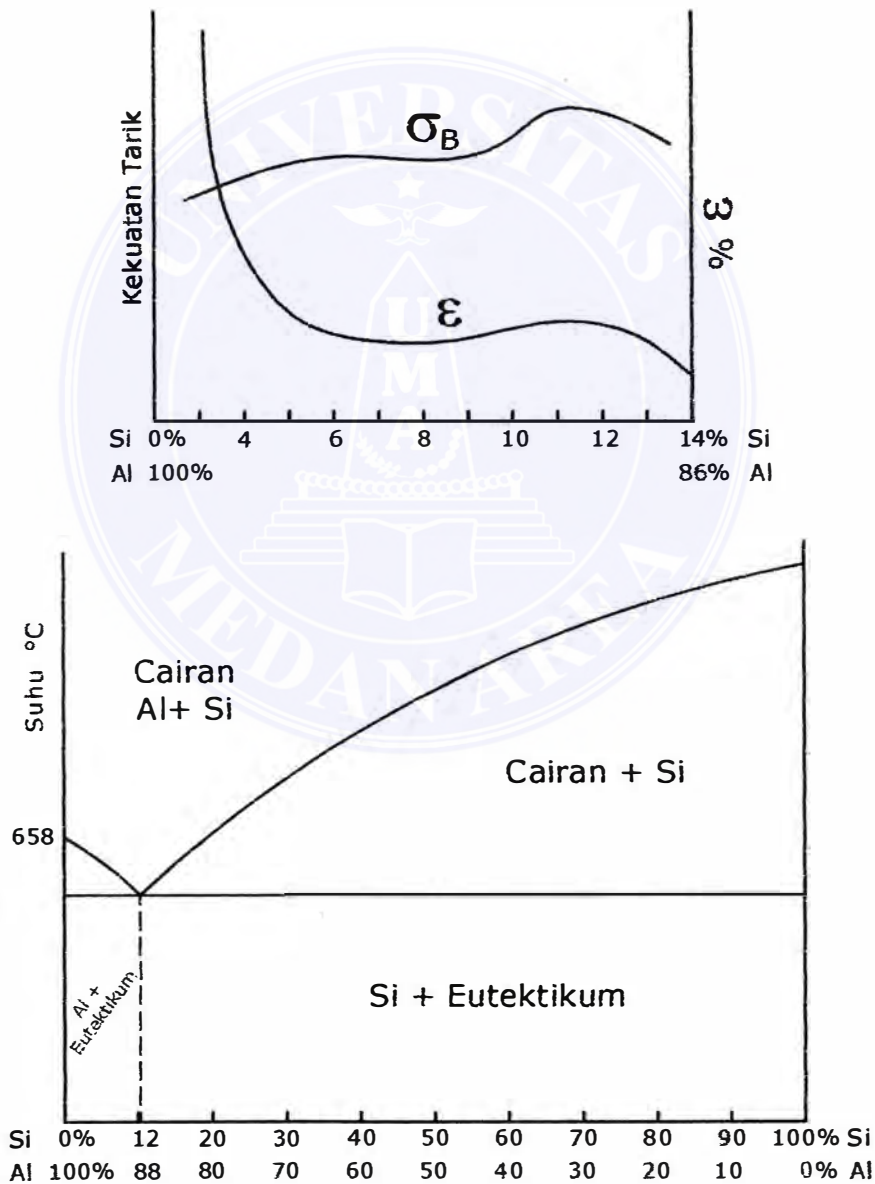
3.2 Sifat Paduan Campuran Eutektik



Gambar 3.10 Distribusi campuran eutektik

Gambar diatas memperlihatkan bahwa ada hubungan yang kuat antara persentase logam A dan B, dengan jumlah eutektikum yang terbentuk. Dengan demikian akan memberikan dampak keada sifat fisis dan mekanis campuran logam A dan B. Pada campuran 2 logam komersil, kebanyakan eutektikum disusun dari 2 komponen dimana satu komponen mempunyai sifat lunak dan yang lain keras dan

getas. Dengan demikian akan tampak misalnya bila kristal A lunak sedang kristal B keras dan getas, maka untuk campuran logam A dan B, dengan B 10% akan lebih lunak bila dibandingkan dengan campuran logam A dan B dengan logam B 50%. Pada umumnya campuran logam A dan B akan mempunyai kekuatan tarik maksimum pada campuran eutektik.

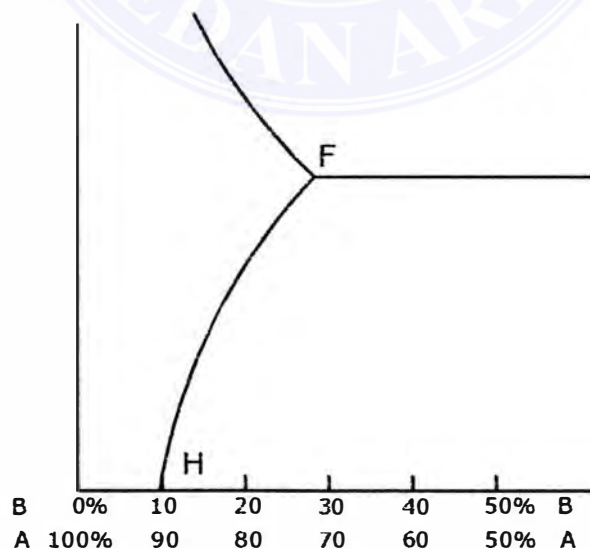


Gambar 3.11 Diagram Al-Si yang disederhakan

Tampak dari gambar bawah bahwa untuk campuran Al-Si dengan Si yang rendah akan diperoleh ϵ , regangan yang besar dan σ_B yang kecil. Gambar diatas memperlihatkan bahwa kekuatan tarik maksimum (σ_B) berada disekitar 12% Si, dan pada 14% Si σ_B menurun. Lain halnya dengan E, pada campuran dengan Si 12%, E berharga rendah dan akan makin kecil bila Si bertambah.

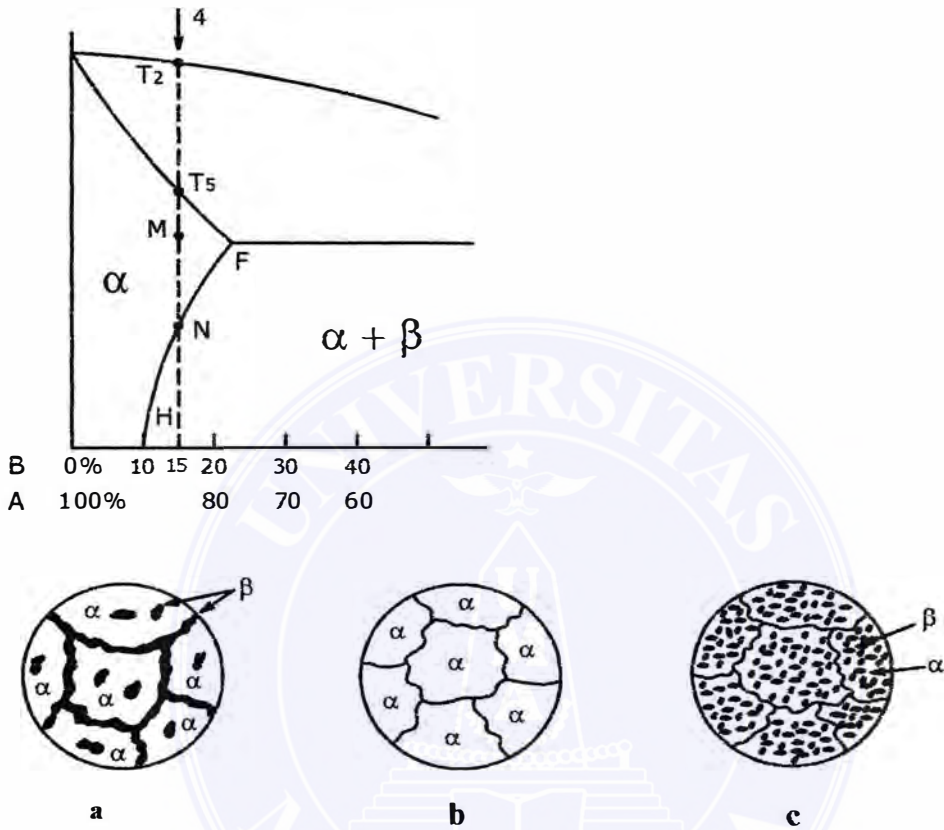
3.3 Age Hardening

Secara prinsip ada 2 proses untuk meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan suatu bahan yaitu pengerjaan dingin dan *heat-treatment*. Proses *heat-treatment* yang penting untuk logam campuran *non-ferrous* adalah *age-hardening*, atau *precipitation-hardening*. Persyaratan agar dapat dilakukan *age-hardening*, logam campur harus mempunyai grafik sebagai pada gambar dibawah ini. Garis FH kekiri. Langkah yang diperlukan untuk *age-hardening* adalah *solution treatment* dan *aging*



Gambar 3.12 diagram daerah age-hardening

3.3.1 Solution treatment

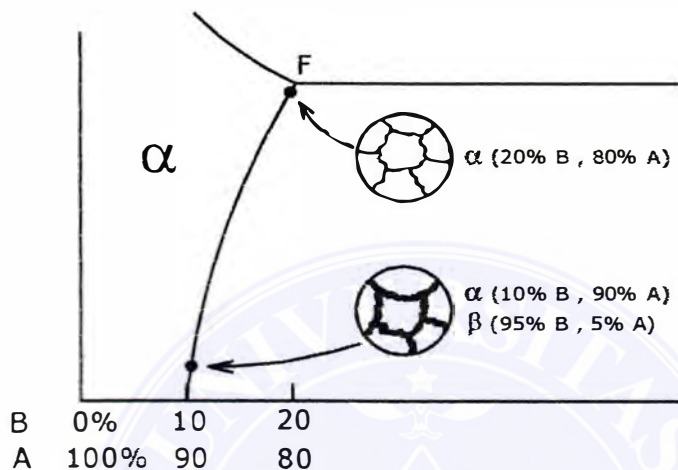


Gambar 3.13 Kurva proses solution treatment dan struktur mikro

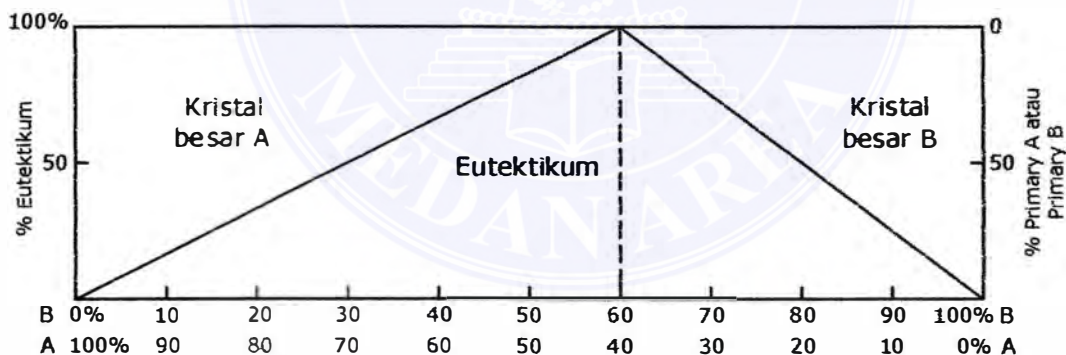
Bila campuran 4 yang telah mendingin sampai suhu kamar dipanaskan kembali sampai suhu di titik M, maka β yang terbentuk pada saat pendinginan lambat akan larut kembali menjadi struktur α yang terbentuk pada suhu M dengan cepat didinginkan ke suhu kamar. Hasilnya larutan padat melampaui jenuh (*supersaturated solution*), dengan kelebihan B yang terjebak di larutan padat. Pengejutan dapat dilakukan dengan memasukkan ke dalam air dingin. Bila α adalah struktur yang ulet, maka larutan padat setelah dikejut juga akan ulet. Struktur setelah pengejutan seperti

$$= 47,647 + 0,353 = 48 \text{ gram,}$$

sedangkan berat logam B dari α_{30} dan dari $\beta_{30} = 5,294 + 6,706 \text{ gram} = 12 \text{ gram.}$



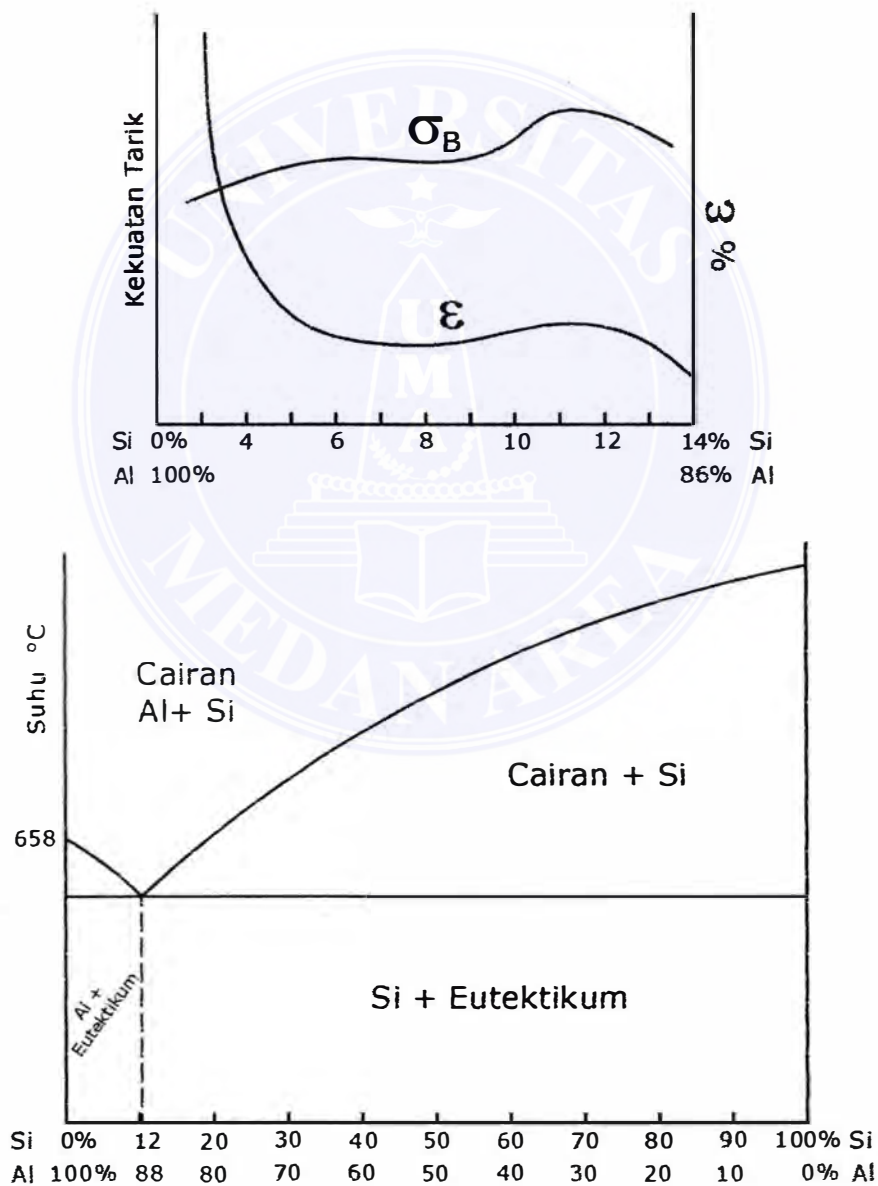
3.2 Sifat Paduan Campuran Eutektik



Gambar 3.10 Distribusi campuran eutektik

Gambar diatas memperlihatkan bahwa ada hubungan yang kuat antara persentase logam A dan B, dengan jumlah eutektikum yang terbentuk. Dengan demikian akan memberikan dampak keada sifat fisis dan mekanis campuran logam A dan B. Pada campuran 2 logam komersil, kebanyakan eutektikum disusun dari 2 komponen dimana satu komponen mempunyai sifat lunak dan yang lain keras dan

getas. Dengan demikian akan tampak misalnya bila kristal A lunak sedang kristal B keras dan getas, maka untuk campuran logam A dan B, dengan B 10% akan lebih lunak bila dibandingkan dengan campuran logam A dan B dengan logam B 50%. Pada umumnya campuran logam A dan B akan mempunyai kekuatan tarik maksimum pada campuran eutektik.

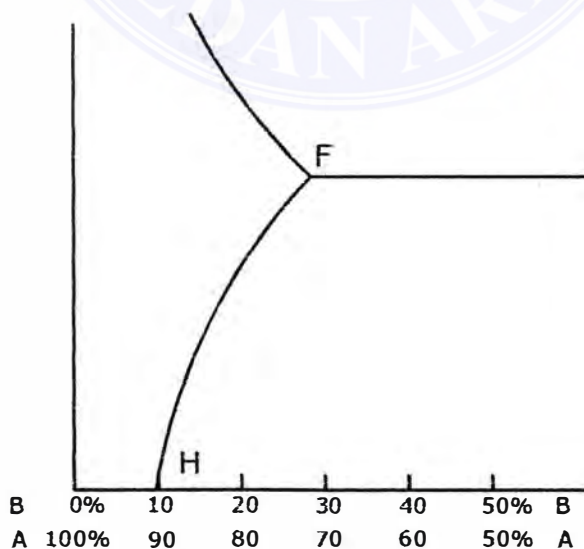


Gambar 3.11 Diagram Al-Si yang disederhakan

Tampak dari gambar bawah bahwa untuk campuran Al-Si dengan Si yang rendah akan diperoleh ϵ , regangan yang besar dan σ_B yang kecil. Gambar diatas memperlihatkan bahwa kekuatan tarik maksimum (σ_B) berada disekitar 12% Si, dan pada 14% Si σ_B menurun. Lain halnya dengan E, pada campuran dengan Si 12%, E berharga rendah dan akan makin kecil bila Si bertambah.

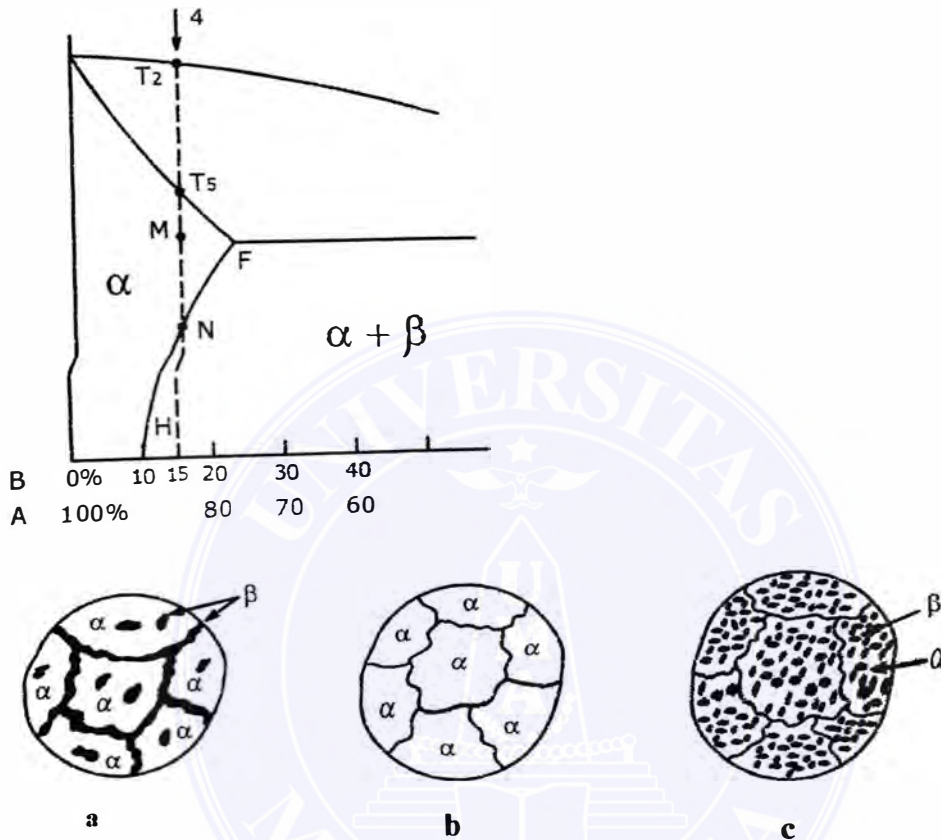
3.3 Age Hardening

Secara prinsip ada 2 proses untuk meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan suatu bahan yaitu pengerjaan dingin dan *heat-treatment*. Proses *heat-treatment* yang penting untuk logam campuran *non-ferrous* adalah *age-hardening*, atau *precipitation-hardening*. Persyaratan agar dapat dilakukan *age-hardening*, logam campur harus mempunyai grafik sebagai pada gambar dibawah ini. Garis FH kekiri. Langkah yang diperlukan untuk *age-hardening* adalah *solution treatment* dan *aging*



Gambar 3.12 diagram daerah age-hardening

3.3.1 Solution treatment



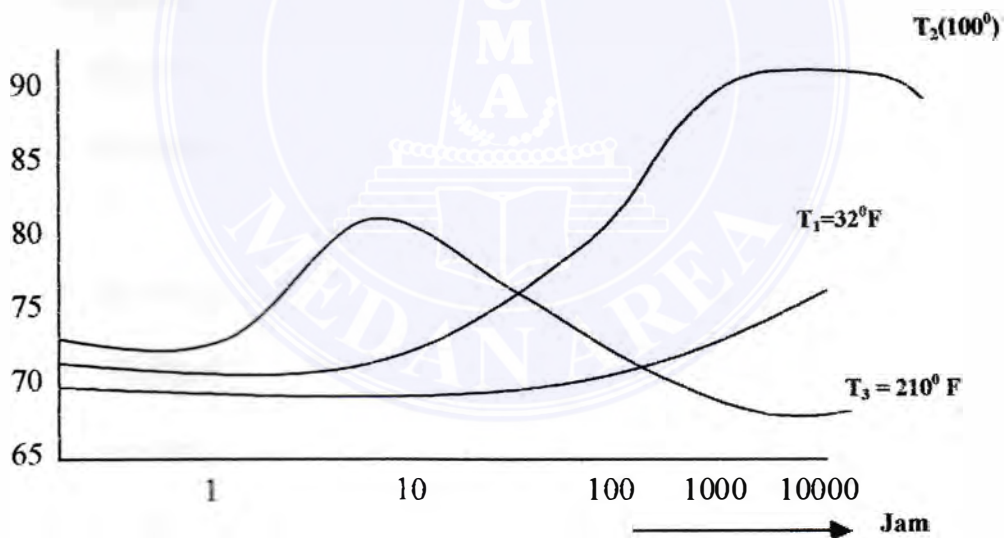
Gambar 3.13 Kurva proses solution treatment dan struktur mikro

Bila campuran 4 yang telah mendingin sampai suhu kamar dipanaskan kembali sampai suhu di titik M, maka β yang terbentuk pada saat pendinginan lambat akan larut kembali menjadi struktur α yang terbentuk pada suhu M dengan cepat didinginkan ke suhu kamar. Hasilnya larutan padat melampaui jenuh (*supersaturated solution*), dengan kelebihan B yang terjebak di larutan padat. Pengejutan dapat dilakukan dengan memasukkan ke dalam air dingin. Bila α adalah struktur yang ulet, maka larutan padat setelah dikejut juga akan ulet. Struktur setelah pengejutan seperti

gambar 3.13. Struktur mikro 85% A – 15% B, gambar (a) setelah pendinginan lambat (Anil), (b) Setelah pemanasan kembali sampai suhu M dan dicelupkan ke dalam air bersuhu 30°C, dan (c) Setelah aging.

3.3.2 Aging Proses

Campuran segera setelah dikejutkan akan diperoleh larutan padat melampaui jenuh (*supersaturated solid solution*) yang merupakan struktur yang tidak stabil. Kelebihan B dalam larutan padat berkecenderungan untuk melepaskan diri dari larutan padat. Kecepatan terjadinya presipitasi tergantung pada suhu.



Gambar 3.14 Proses aging

Pengaruh suhu pada kurva aging selama pengerasan presipitasi. Kurva untuk baja dengan 0,06%C. Dari gambar diatas tampak bahwa pada suhu T₁ yang rendah terjadinya pengerasan lambat hal ini disebabkan proses difusi yang lambat. Sedang pada suhu T₃ yang tinggi cepat terjadinya presipitasi, tetapi juga diikuti pelunakan baja

Kunjungi
Perpustakaan
Universitas
Medan Area
untuk
FULLTEXT

DAFTAR PUSTAKA

- Dieter, E. G., 1988, "Metalurgi Mekanik," Erlangga, Jakarta.
- Vlack, V., 1989, "Ilmu dan Teknologi Bahan," edidisi 5. Erlangga, Jakatra.
- Surdia, T., 1992, "Pengetahuan Bahan," Cetakakan ketiga, Pradnya Paratama, Jakarata.
- Smallman, R.E., 1991, "Metalurgi Fisik Modren," edisi keempat, Gramedia, Jakarta.
- Shachelford, J. F., 1992, "Introduction, of Material Science for Engineering," third edition, Macmilian Publishing Company, New York.