

Pendahuluan

Material Teknik

Buku Pustaka

- Materials Science and Engineering, An introduction, William D. Callister Jr, Wiley, 2004
- Ilmu dan Teknologi Bahan, Lawrence H. Van Vlack (terjemahan), Erlangga, 1995
- Pengetahuan Bahan, Tata Surdia dan Shinroku Saito, Pradnya Paramita, 1995
- Principle of Materials Science and Engineering, William F. Smith, Mc Graw Hill, 1996

Pokok Bahasan

- Pendahuluan
- Struktur dan ikatan atom
- Struktur dan cacat kristal
- Sifat mekanik
- Diagram fasa
- Proses anil dan perlakuan panas
- Logam besi
- Logam bukan besi
- Keramik
- Polimer
- Komposit

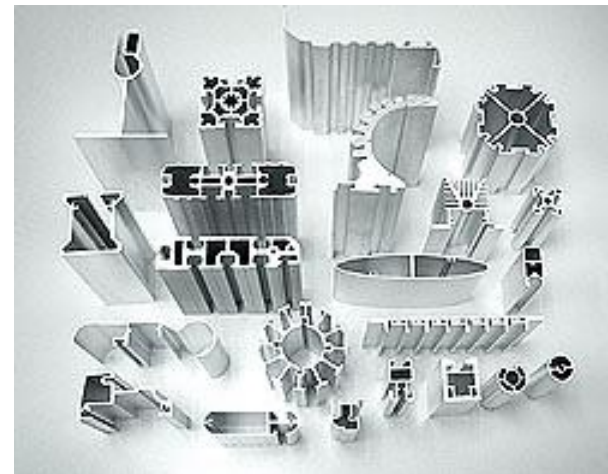
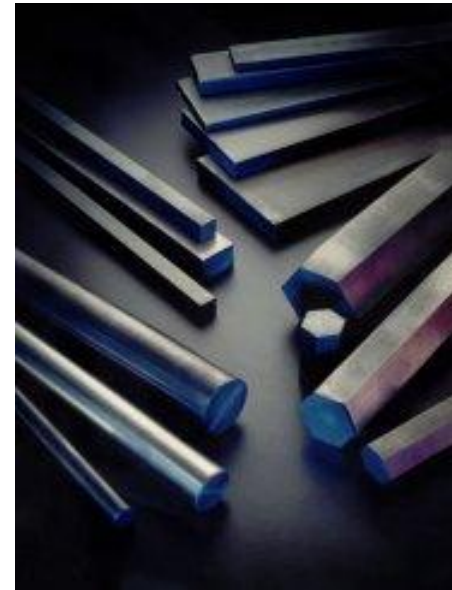
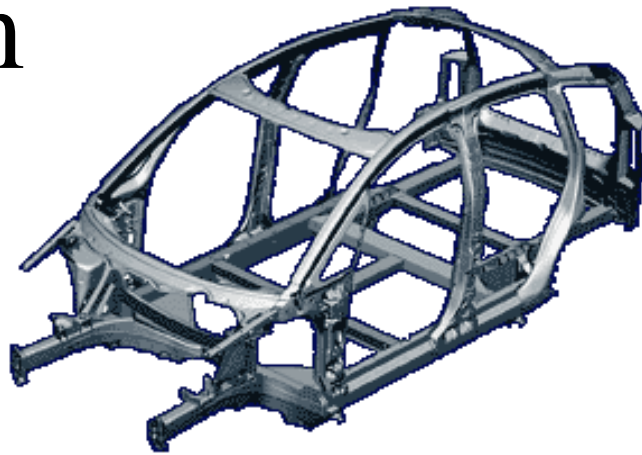
Material

- Material adalah sesuatu yang disusun/dibuat oleh bahan.
- Material digunakan untuk transportasi hingga makanan.
- Ilmu material/bahan merupakan pengetahuan dasar tentang struktur, sifat-sifat dan pengolahan bahan.

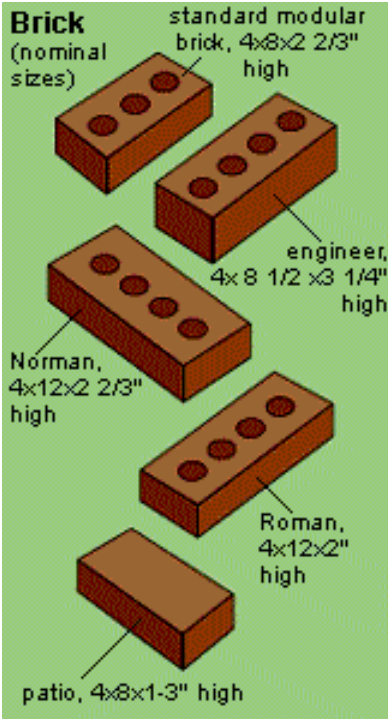
Jenis Material

- Logam
Kuat, ulet, mudah dibentuk dan bersifat penghantar panas dan listrik yang baik
- Keramik
Keras, getas dan penghantar panas dan listrik yang buruk
- Polimer
kerapatan rendah, penghantar panas dan listrik buruk dan mudah dibentuk
- Komposit
merupakan gabungan dari dua bahan atau lebih yang masing-masing sifat tetap

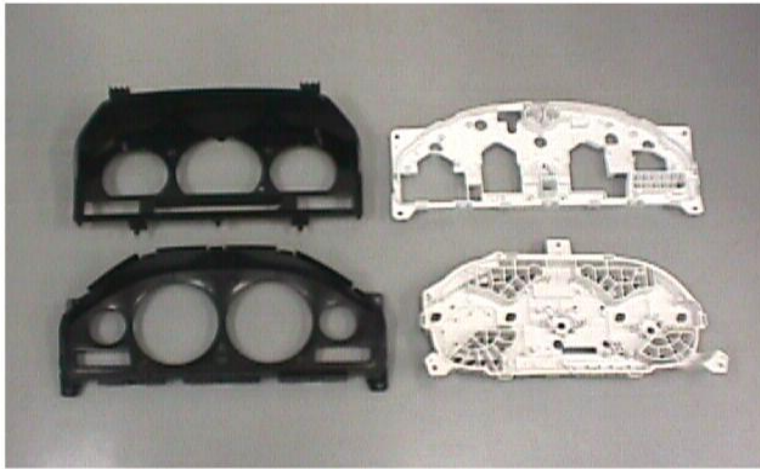
Logam



Keramik



Polimer



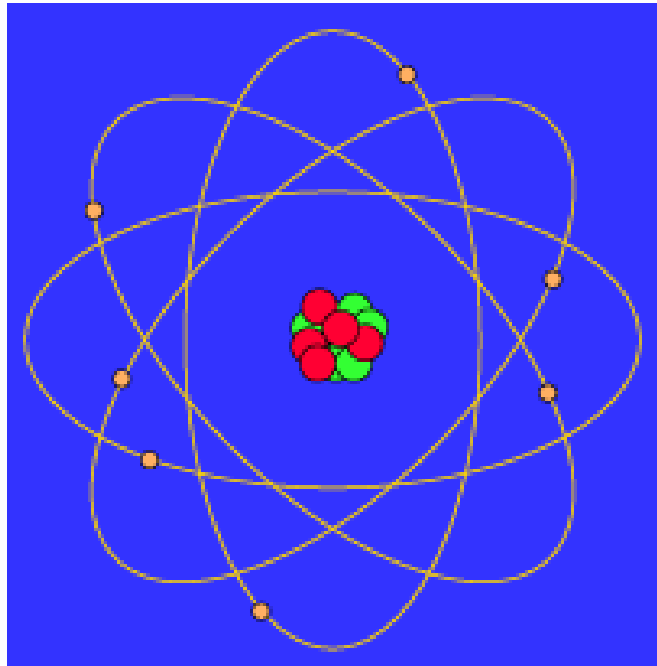
Struktur dan Ikatan Atom

Material Teknik

Pendahuluan

- Atom terdiri dari elektron dan inti atom
- Inti atom disusun oleh proton dan neutron
- Elektron mengelilingi inti atom dalam orbitnya masing-masing
- Massa elektron $9,109 \times 10^{-28}$ g dan bermuatan $-1,602 \times 10^{-19}$ C
- Massa proton $1,673 \times 10^{-24}$ g dan bermuatan $1,602 \times 10^{-19}$ C
- Massa neutron $1,675 \times 10^{-24}$ g dan tidak bermuatan
- Massa atom terpusat pada inti atom
- Jumlah elektron dan proton sama, sedangkan neutron netral, maka atom menjadi netral

Model atom Bohr



Konfigurasi elektron unsur

No.	Element	K	L	M	N	O	P	Q
		1	2	3	4	5	6	7
		s	s p	s p d	s p d f	s p d f	s p d f	s
1	H	1						
2	He	2						
3	Li	2	1					
4	Be	2	2					
5	B	2	2 1					
6	C	2	2 2					
7	N	2	2 3					
8	O	2	2 4					
9	F	2	2 5					
10	Ne	2	2 6					
11	Na	2	2 6	1				
12	Mg	2	2 6	2				
13	Al	2	2 6	2 1				
14	Si	2	2 6	2 2				
15	P	2	2 6	2 3				
16	S	2	2 6	2 4				
17	Cl	2	2 6	2 5				
18	Ar	2	2 6	2 6				
19	K	2	2 6	2 6	1			
20	Ca	2	2 6	2 6	2			
21	Sc	2	2 6	2 6 1	2			
22	Ti	2	2 6	2 6 2	2			
23	V	2	2 6	2 6 3	2			
24	Cr	2	2 6	2 6 5*	1			
25	Mn	2	2 6	2 6 5	2			
26	Fe	2	2 6	2 6 6	2			
27	Co	2	2 6	2 6 7	2			
28	Ni	2	2 6	2 6 8	2			
29	Cu	2	2 6	2 6 10	1*			
30	Zn	2	2 6	2 6 10	2			
31	Ga	2	2 6	2 6 10	2 1			
32	Ge	2	2 6	2 6 10	2 2			
33	As	2	2 6	2 6 10	2 3			
34	Se	2	2 6	2 6 10	2 4			
35	Br	2	2 6	2 6 10	2 5			
36	Kr	2	2 6	2 6 10	2 6			

Tabel Periodik

PERIODIC TABLE OF ELEMENTS

1 H 1																	2 He 4
3 Li 7	4 Be 9											5 B 11	6 C 12	7 N 14	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20
11 Na 23	12 Mg 24											13 Al 27	14 Si 28	15 P 31	16 S 32	17 Cl 35.5	18 Ar 40
19 K 39	20 Ca 40	21 Sc 45	22 Ti 48	23 V 51	24 Cr 52	25 Mn 55	26 Fe 56	27 Co 59	28 Ni 59	29 Cu 63.5	30 Zn 65	31 Ga 70	32 Ge 73	33 As 75	34 Se 79	35 Br 80	36 Kr 84
37 Rb 85.5	38 Sr 88	39 Y 89	40 Zr 91	41 Nb 93	42 Mo 96	43 Tc (98)	44 Ru 101	45 Rh 103	46 Pd 106	47 Ag 108	48 Cd 112	49 In 115	50 Sn 119	51 Sb 122	52 Te 128	53 I 127	54 Xe 131
55 Cs 133	56 Ba 137	71 Lu 175	72 Hf 178.5	73 Ta 181	74 W 184	75 Re 186	76 Os 190	77 Ir 192	78 Pt 195	79 Au 197	80 Hg 201	81 Tl 204	82 Pb 207	83 Bi 209	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra 226	103 Lr (260)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Uun (269)	111 Uuu (272)	112 Uub (277)	113 Uut	114 Uuq (289)		116 Uuh (289)		

- C SOLID
- Hg LIQUID
- H GAS
- METAL
- SEMIMETAL (Metalloid)
- NONMETAL

KEY

6
C
12

57 La 138	58 Ce 140	59 Pr 141	60 Nd 144	61 Pm (145)	62 Sm 150	63 Eu 152	64 Gd 157	65 Tb 159	66 Dy 162.5	67 Ho 165	68 Er 167	69 Tm 169	70 Yb 173
89 Ac 227	90 Th 232	91 Pa 231	92 U 238	93 Np 237	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	103 No (259)

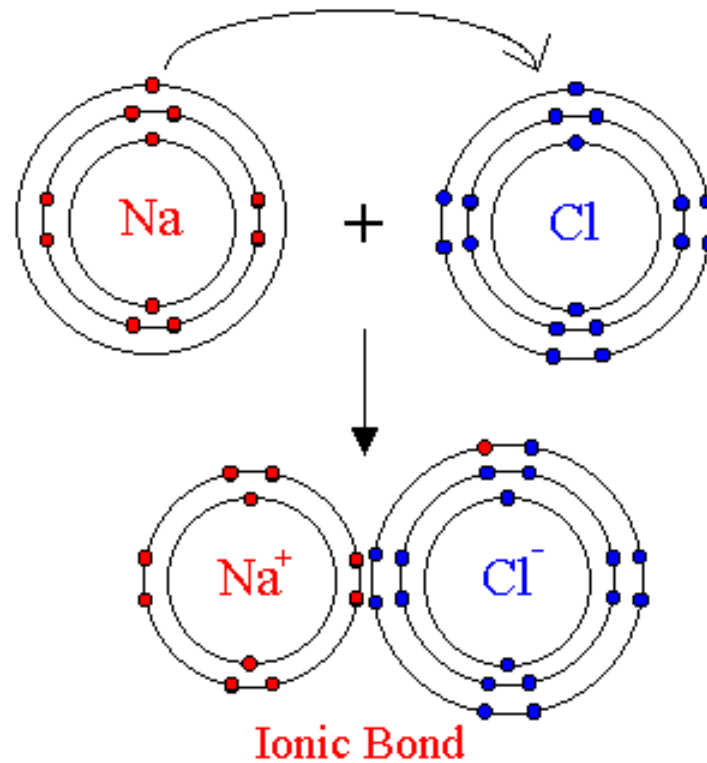
Elektronegatif dari Unsur

Z_{eff} ionization energy, electronegativity, and nonmetallic character increase →
 Atomic radius and metallic character decrease

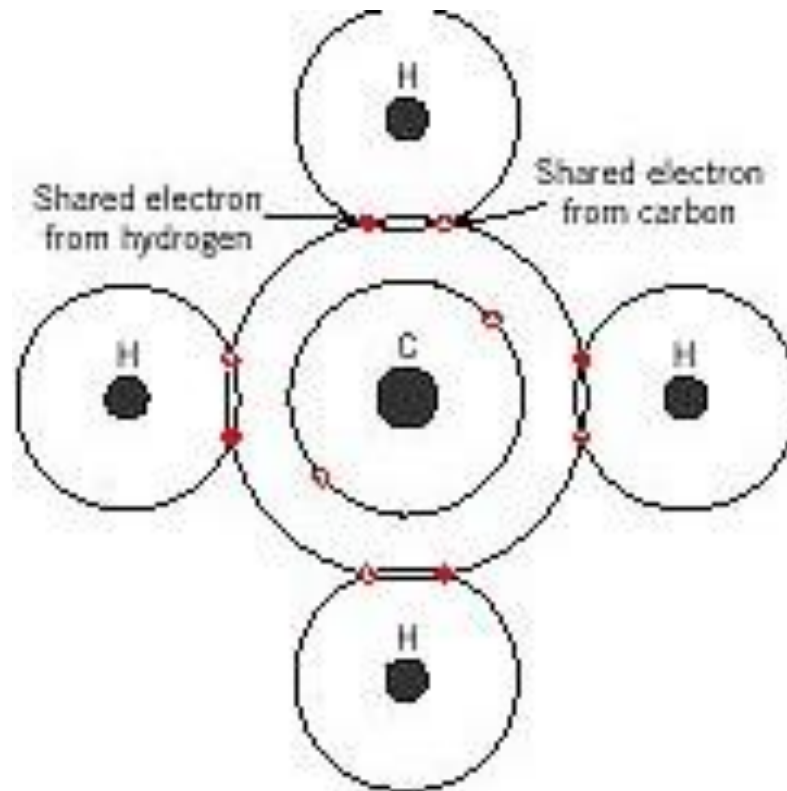
1 1A							18 8A		
H	2 2A		13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	He	
Li	Be		B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg		Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca			Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr			In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba			Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra				114		116		118

Ionization energy, electronegativity, and nonmetallic character decrease
 Atomic radius and metallic character increase

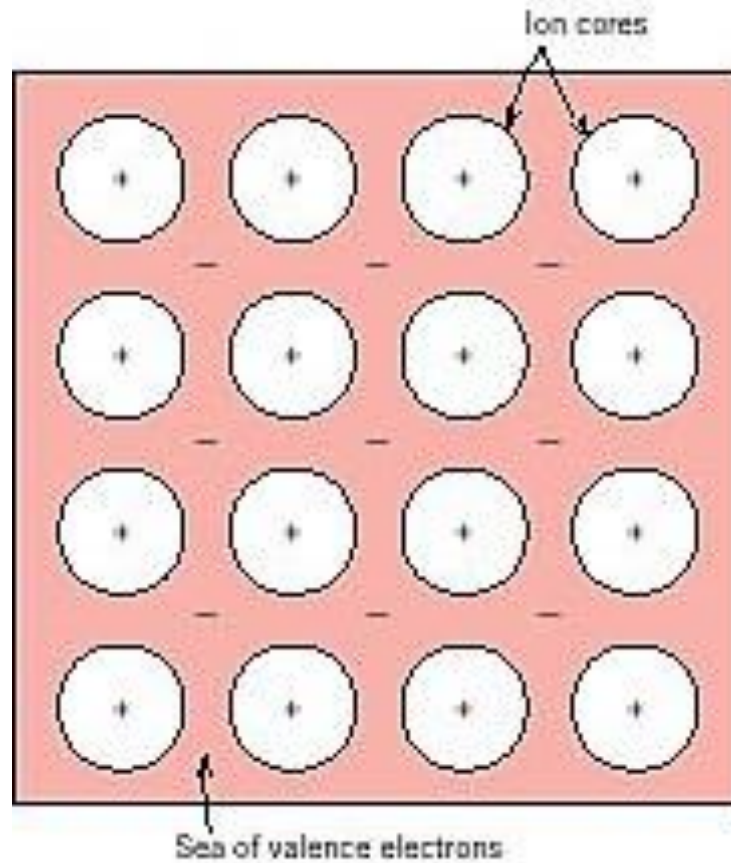
Ikatan Atom Ionik



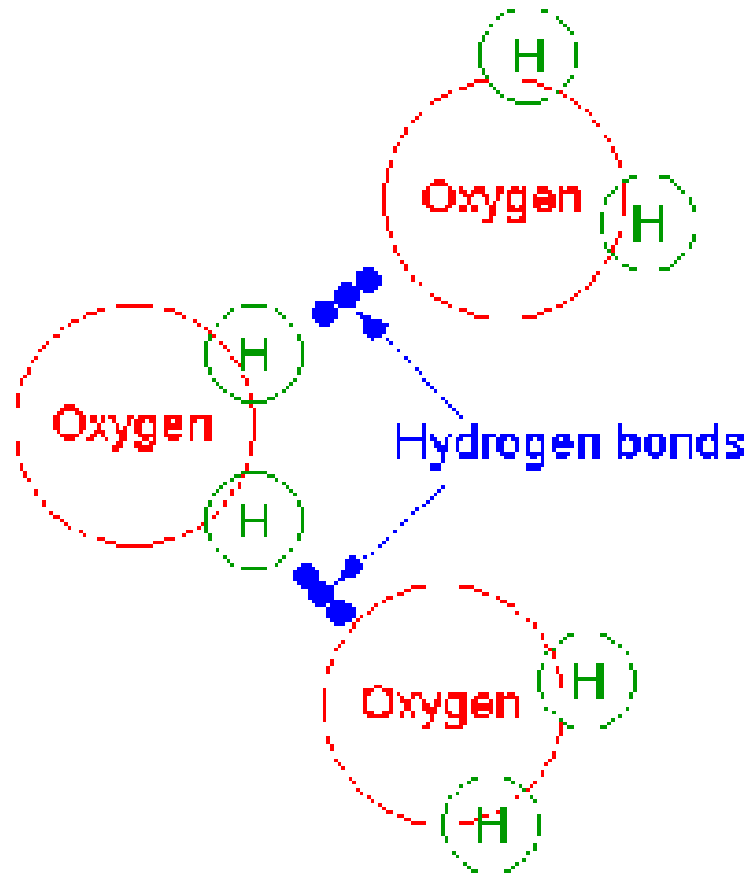
Ikatan Atom Kovalen



Ikatan Atom Logam



Ikatan Atom Hidrogen



Bilangan Koordinasi utk Ikatan Atom

Lattice Types and Madelung Constants for Different Stoichiometries and Radius Ratios of Cations and Anions

Radius Ratio (Cation/Anion)	Lattice Type	Coordination Number of Cation	Coordination Number of Anion	Madelung Constant	Reduced Madelung Constant
A. 1:1 Stoichiometry of Salt (MX)					
0.225–0.414	Wurtzite (ZnS)	4	4	1.63805	1.63805
	Zinc blende (ZnS)	4	4	1.64132	1.64132
0.414–0.732	Rock salt (NaCl)	6	6	1.74756	1.74756
0.732–1.000	CsCl	8	8	1.76267	1.76267
B. 1:2 Stoichiometry of Salt (MX₂)					
0.225–0.414	Beta-quartz (SiO ₂)	4	2	2.201	1.467
0.414–0.732	Rutile (TiO ₂)	6	3	2.408*	1.605
0.732–1.000	Fluorite (CaF ₂)	8	4	2.51939	1.6796
C. 2:3 Stoichiometry of Salt (M₂X₃)					
0.414–0.732	Corundum (Al ₂ O ₃)	6	4	4.1719*	1.6688
D. Other Stoichiometries and Lattice Types					
Never favored	Ion pair	1	1	1.00000	1.0000
0.000–0.155		2			
0.155–0.225		3			
0.225–0.414		4			
0.414–0.732		6			
0.732–1.000		8			
1.000		12			

NOTE: Reduced Madelung constant = Madelung constant $\times 2/\rho$, where ρ = number of ions in the simplest formula of the salt.

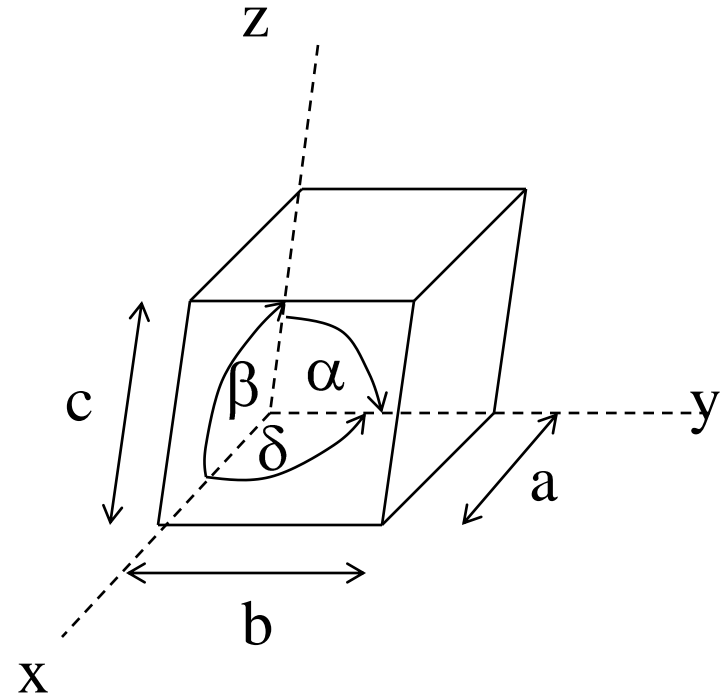
* Exact value dependent on details of the structure.

Struktur dan Cacat Kristal

Material Teknik

Pendahuluan

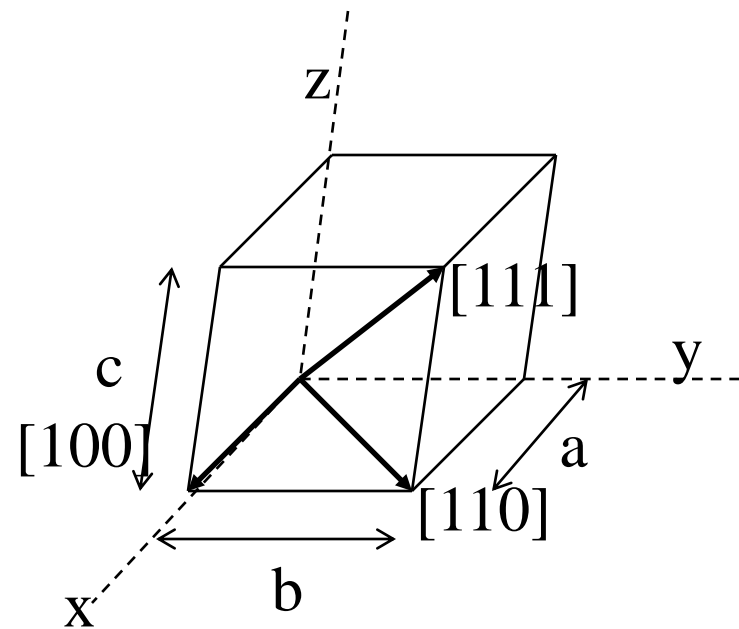
- Kristal adalah susunan atom-atom secara teratur dan kontinu pada arah tiga dimensi
- Satuan sel adalah susunan terkecil dari kristal
- Parameter kisi struktur kristal
 - Panjang sisi a , b , c
 - Sudut antara sumbu α , β , δ



Sistem Kristal

Parameter kisi diklasifikasikan dalam tujuh sistem kristal dan empat belas kisi kristal

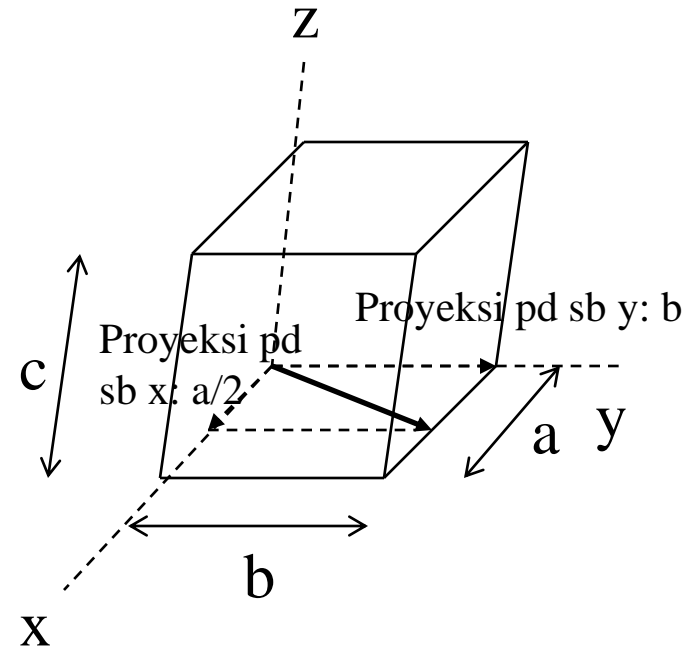
- Arah kristal dinyatakan sebagai vektor dalam $[uvw]$
- uvw merupakan bilangan bulat
- Himpunan arah $\langle 111 \rangle$ terdiri dari $[111]$, $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$, $[1\bar{1}\bar{1}]$, $[\bar{1}1\bar{1}]$, $[\bar{1}\bar{1}1]$, $[1\bar{1}1]$, $[\bar{1}11]$, $[11\bar{1}]$



Menentukan Indeks Miller Arah Kristal

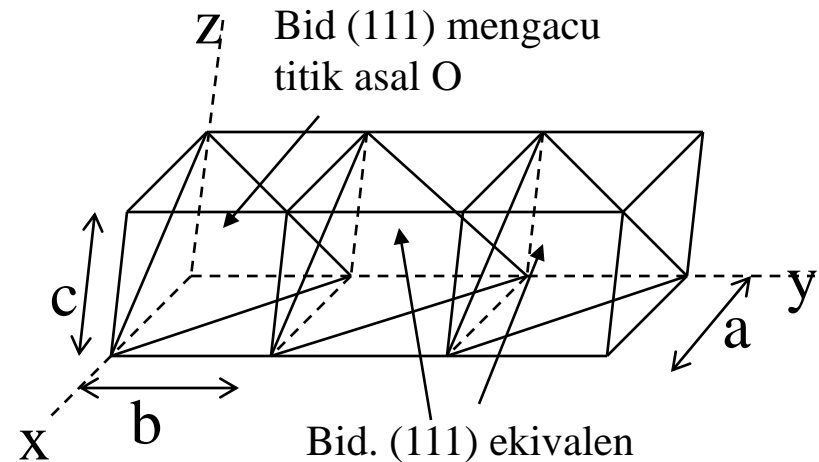
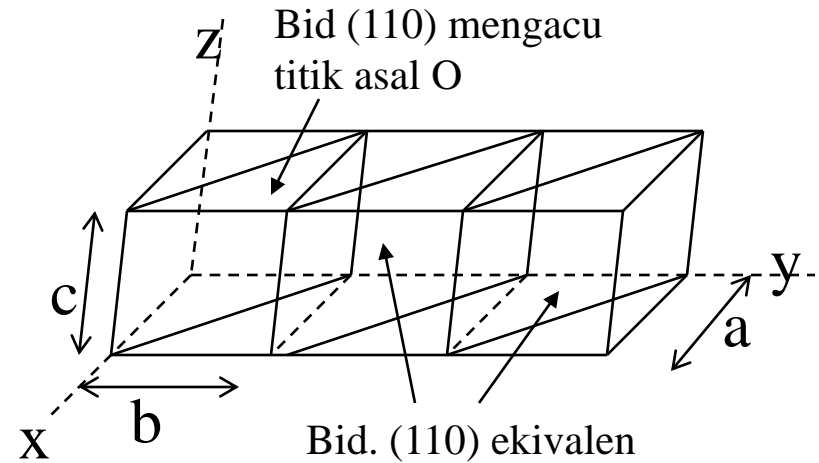
- Prosedur menentukan arah kristal

	x	y	z
Proyeksi	a/2	b	0
Proyeksi (dlm a, b, c)			
	1/2	1	0
Reduksi	1	2	0
Penentuan	[120]		



Bidang Kristal

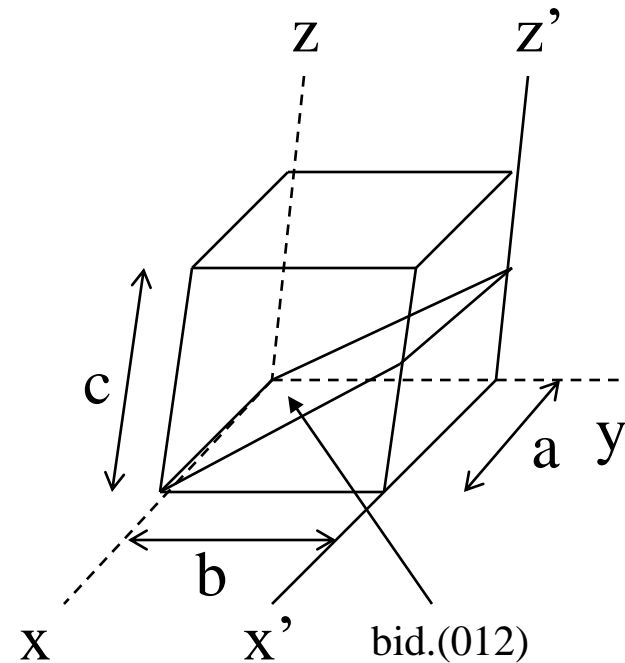
- Dinyatakan dengan (hkl)
- hkl merupakan bilangan bulat



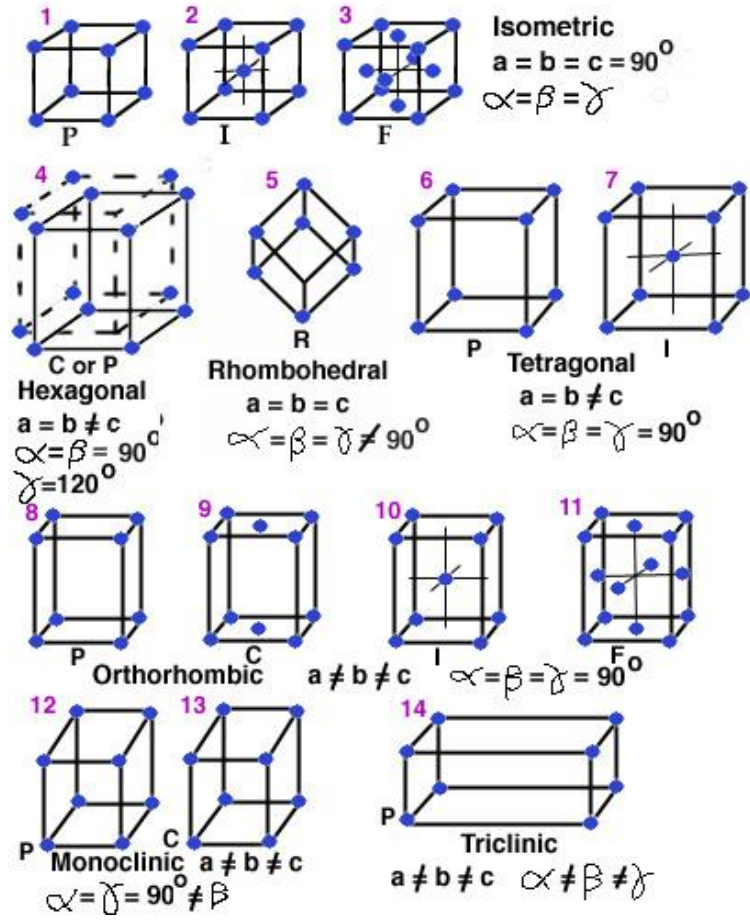
Menentukan Indeks Miller Bidang Kristal

- Prosedur menentukan bidang kristal

	x	y	z
Perpotongan	$\sim a$	$-b$	$c/2$
Perpotongan (dlm a, b dan c)	\sim	-1	$1/2$
Resiprokal	0	-1	2
Penentuan	(012)		

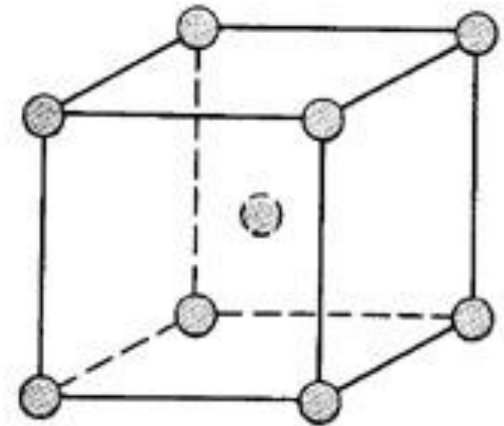
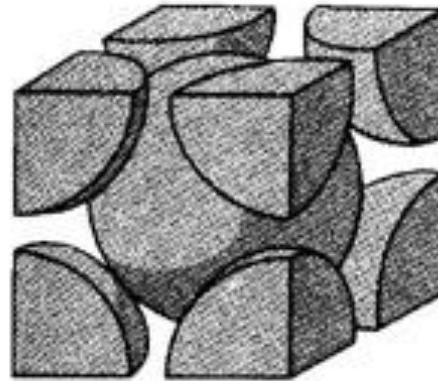


14 kisi kristal

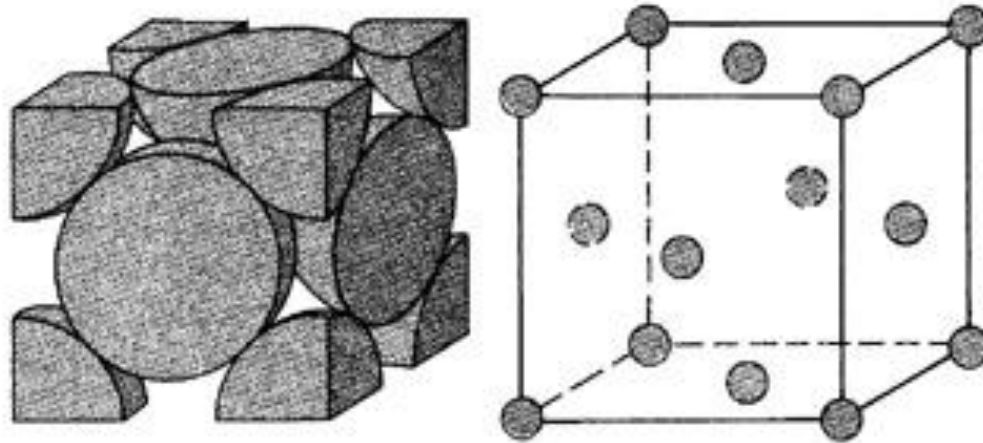


Kristal Kubik Berpusat Muka

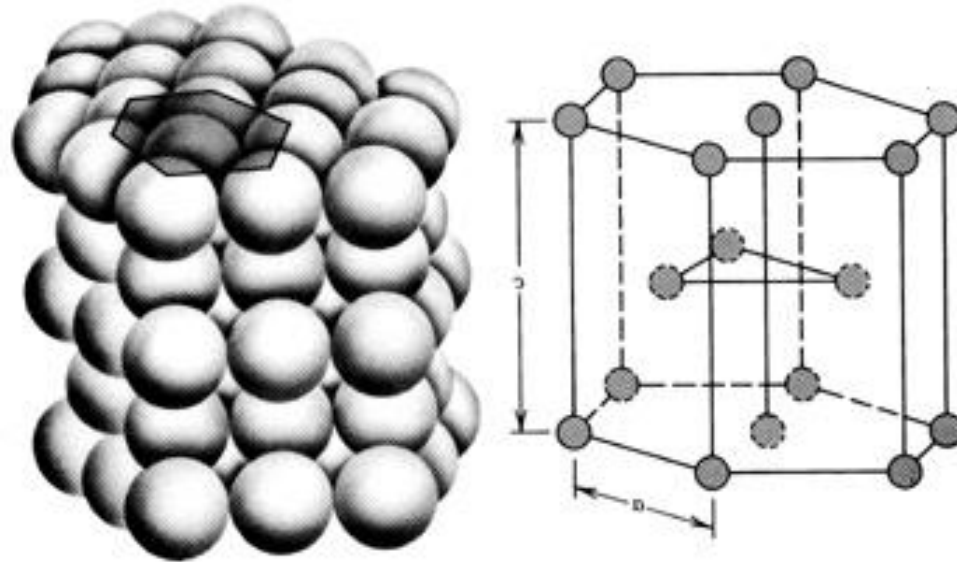
- Faktor tumpukan padat =
total volum bola / total
volum satuan sel = V_s/V_c
 $= 4 \times (4/3 \pi r^3) / 16r^3\sqrt{2} =$
0,74
- Kerapatan = $\eta A / V_c N_A$
 $= (4 \times 63,5) / (16\sqrt{2} \times$
 $(1,28 \times 10^{-8}) \times (6,02 \times 10^{23}))$
 $\text{g/cm}^3 = 8,89 \text{ g/cm}^3.$



Kristal Kubik Berpusat Bidang



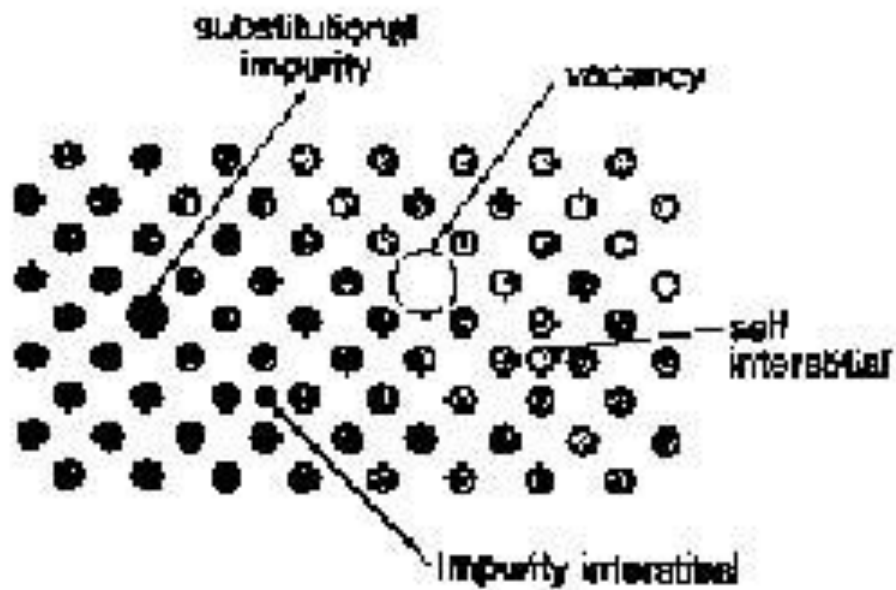
Kristal Heksagonal Tumpukan Padat



Cacat Kristal

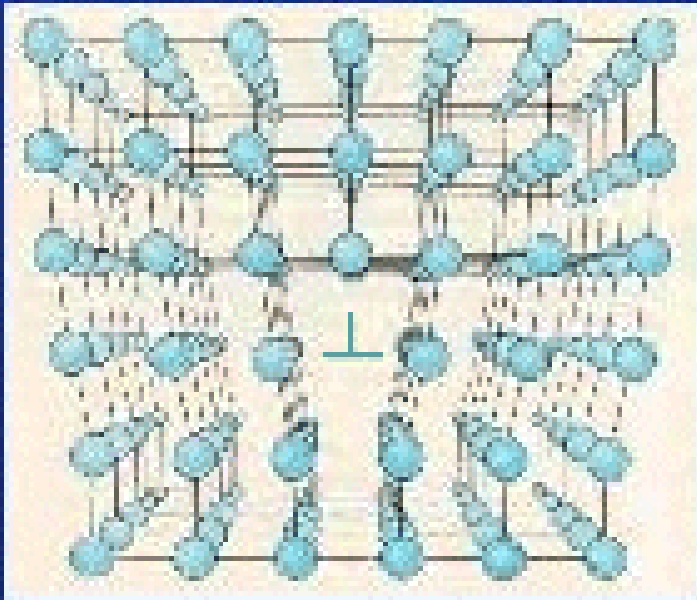
- Cacat Kristal
 - Cacat titik
 - Kekosongan
 - Pengotor
 - Pengotor Intersisi
 - Pengotor Substitusi
 - Cacat garis (dislokasi)
 - Dislokasi garis
 - Dislokasi ulir
 - Cacat bidang
 - Batas butir
 - Permukaan
 - Cacat volum

Cacat Titik

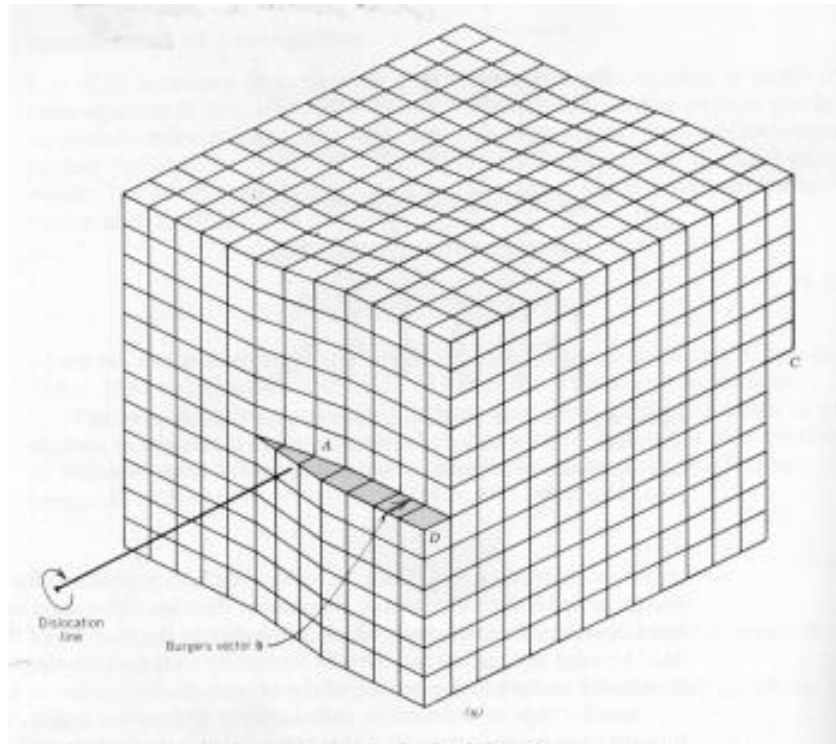


Dislokasi Garis

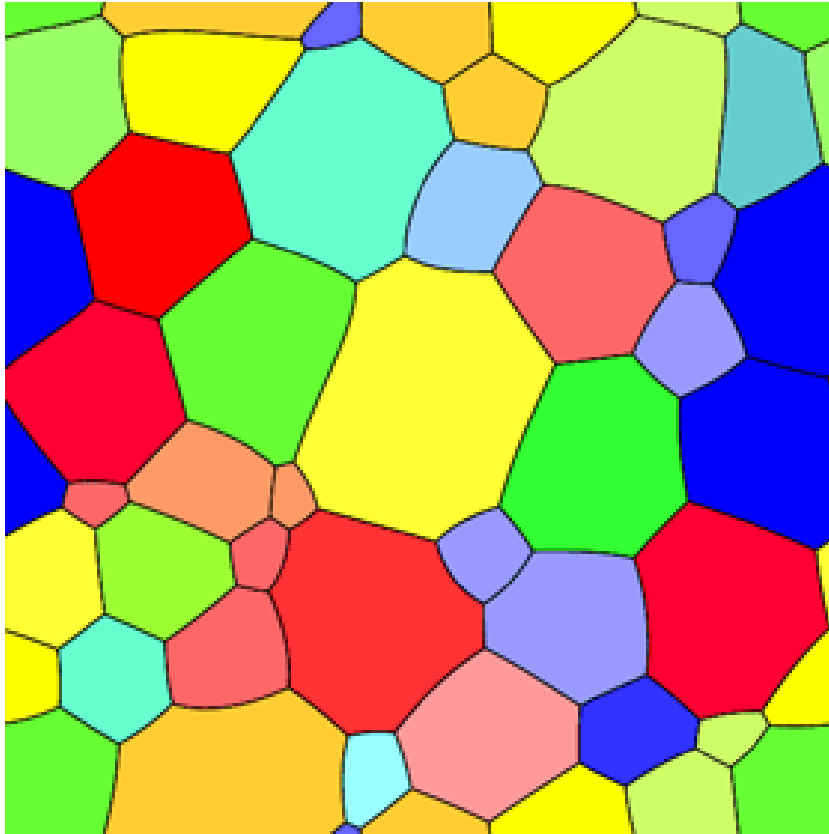
Edge Dislocation



Dislokasi Ulir



Batas Butir



Permukaan

Inklusi



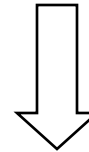
Sifat Mekanik

Material Teknik

Sifat Mekanik

- Material dalam penggunaanya dikenakan gaya atau beban.
- Karena itu perlu diketahui karakter material agar deformasi yg terjadi tidak berlebihan dan tidak terjadi kerusakan atau patah
- Karakter material tergantung pada:
 - Komposisi kimia
 - Struktur mikro
 - Sifat material: sifat mekanik, sifat fisik dan sifat kimia

Gaya/beban



Material

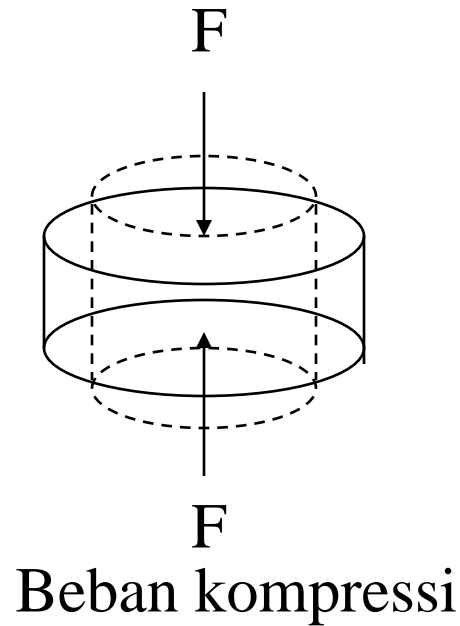
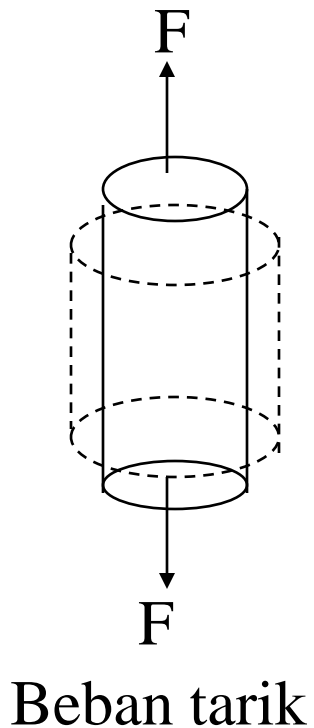
Sifat mekanik

- Kekuatan (strength): ukuran besar gaya yang diperlukan utk mematahkan atau merusak suatu bahan
- Kekuatan luluh (yield strength): kekuatan bahan terhadap deformasi awal
- Kekuatan tarik (Tensile strength): kekuatan maksimum yang dapat menerima beban.
- Keuletan (ductility): berhubungan dengan besar regangan sebelum perpatahan

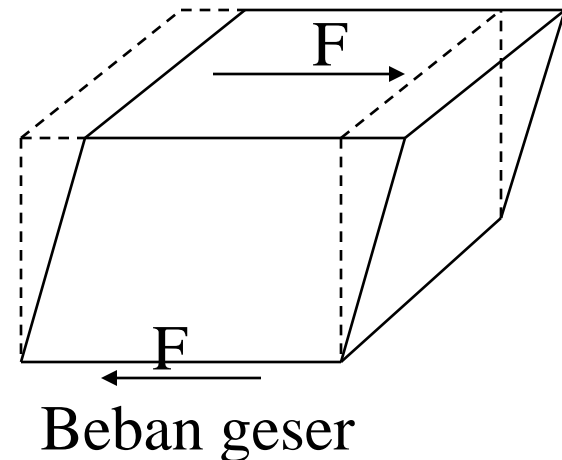
Sifat Mekanik

- Kekerasan (hardness): ketahanan bahan terhadap penetrasi pada permukaannya
- Ketangguhan (toughness): jumlah energi yang mampu diserap bahan sampai terjadi perpatahan
- Mulur (creep)
- Kelelahan (fatigue): ketahanan bahan terhadap pembebanan dinamik
- Patahan (failure)

Konsep tegangan (stress) dan regangan (strain)

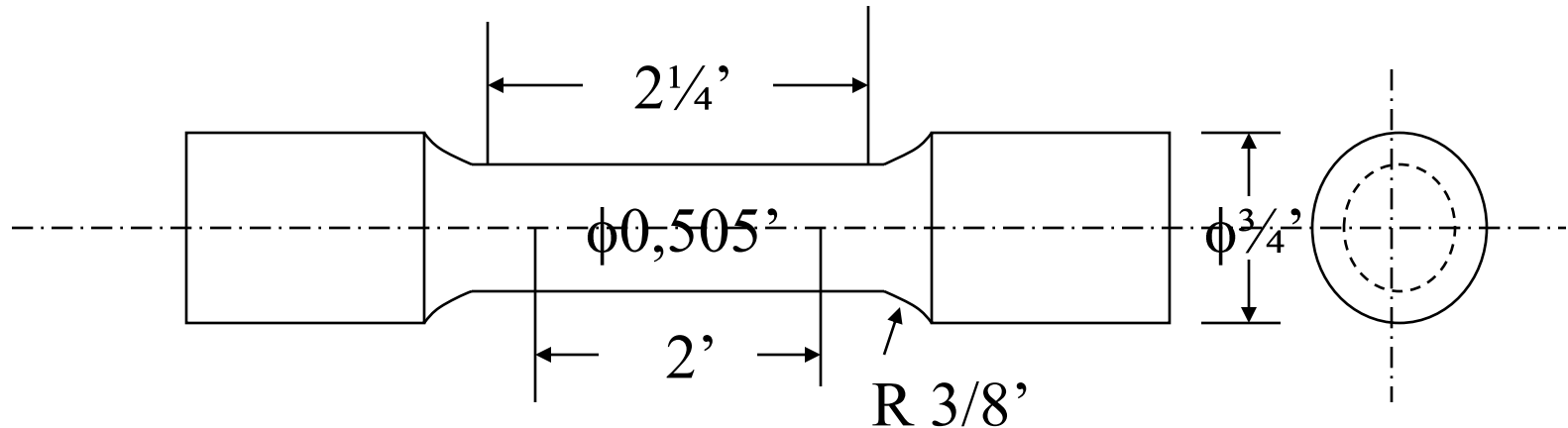


- Pembebanan statik:
 - Tarik
 - Kompresi
 - Geser



Uji tarik

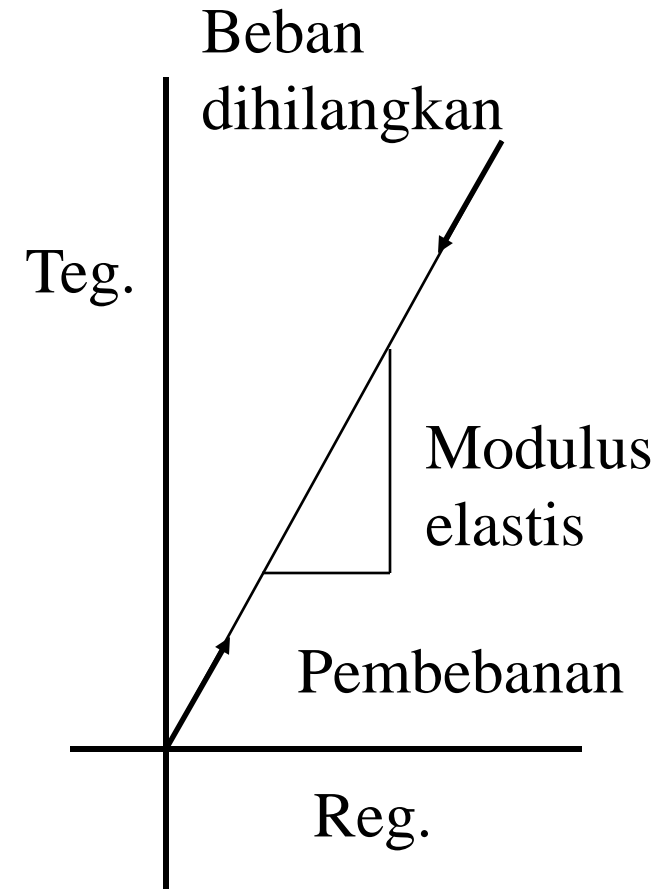
Standar sampel untuk uji tarik



- Tegangan teknik, $\sigma = F/A_o$ ($N/m^2=Pa$)
- Regangan teknik, $\varepsilon = (l_i-l_o)/l_o$
- Tegangan geser, $\tau = F/A_o$

Deformasi elastis

- Pada pembebanan rendah dalam uji tarik, hubungan antara tegangan dan regangan linier



Mesin uji tarik (Tensile Test)



Deformasi elastis

- Hubungan tsb masih dalam daerah deformasi elastis dan dinyatakan dengan
- Hubungan diatas dikenal sebagai Hukum Hooke
- Deformasi yang mempunyai hubungan tegangan dan regangan linier (proporsional) disebut sebagai deformasi elastis

Paduan logam	Modulus elastis (104 MPa)	Modulus geser (104 MPa)	Ratio Poisson
Al	6,9	2,6	0,33
Cu-Zn	10,1	3,7	0,35
Cu	11,0	4,6	0,35
Mg	4,5	1,7	0,29
Ni	20,7	7,6	0,31
Baja	20,7	8,3	0,27
Ti	10,7	4,5	0,36
W	40,7	16,0	0,28

- Hubungan tegangan geser dan regangan geser dinyatakan dengan

$$\tau = G \gamma$$

- Dengan

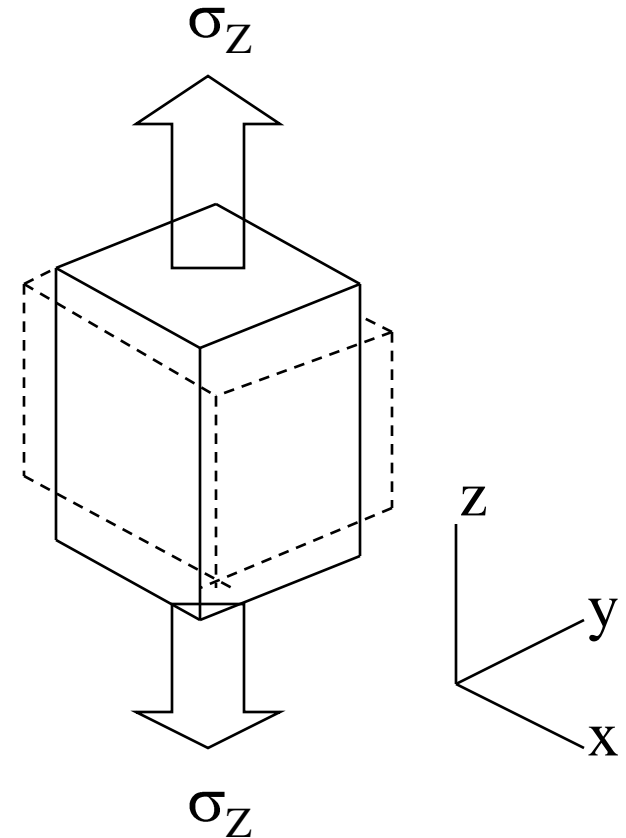
$$\tau = \text{teg.geser}$$

$$\gamma = \text{reg.geser}$$

$$G = \text{modulus geser}$$

Sifat elastis material

- Ketika uji tarik dilakukan pada suatu logam, perpanjangan pada arah beban, yg dinyatakan dlm regangan ε_z mengakibatkan terjadinya regangan kompresi pada ε_x sb-x dan ε_y pada sb-y
- Bila beban pada arah sb-z uniaxial, maka $\varepsilon_x = \varepsilon_y$. Ratio regangan lateral & axial dikenal sebagai ratio Poisson



$$\nu = \varepsilon_x / \varepsilon_y$$

- Harga selalu positif, karena tanda ε_x dan ε_y berlawanan.
- Hubungan modulus Young dengan modulus geser dinyatakan dengan

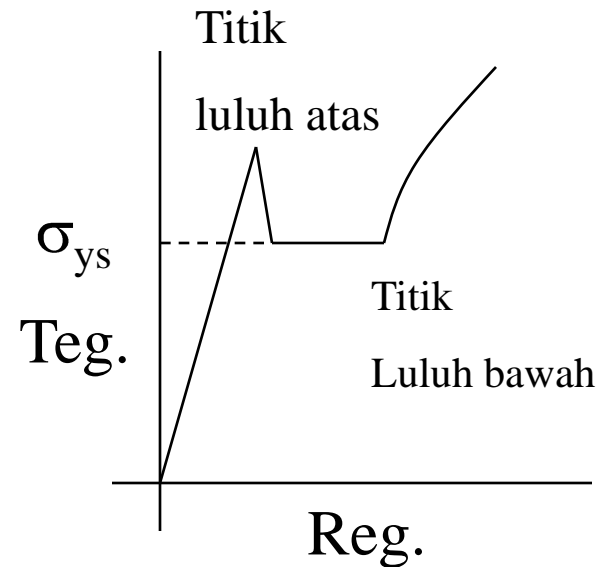
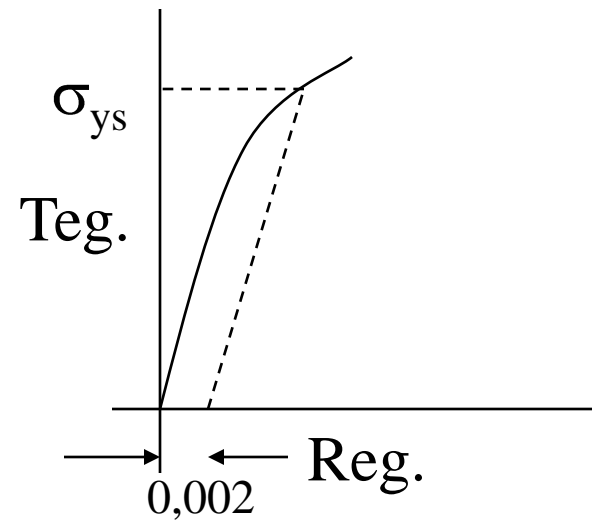
$$E = 2 G (1 + \nu)$$

- Biasanya $\nu < 0,5$ dan utk logam umumnya

$$G = 0,4 E$$

Deformasi plastis

- Utk material logam, umumnya deformasi elastis terjadi $< 0,005$ regangan
- Regangan $> 0,005$ terjadi deformasi plastis (deformasi permanen)



Deformasi elastis

- Ikatan atom atau molekul putus: atom atau molekul berpindah tdk kembali pada posisinya bila tegangan dihilangkan
- Padatan kristal: proses slip padatan amorphous (bukan kristal). Mekanisme aliran viscous

Perilaku uji tarik

- Titik luluh: transisi elastis & platis
- Kekuatan: kekuatan tarik: kekuatan maksimum
- Dari kekuatan maksimum hingga titik terjadinya patah, diameter sampel uji tarik mengecil (necking)

Keuletan (ductility)

- Keuletan: derajat deformasi plastis hingga terjadinya patah
- Keuletan dinyatakan dengan

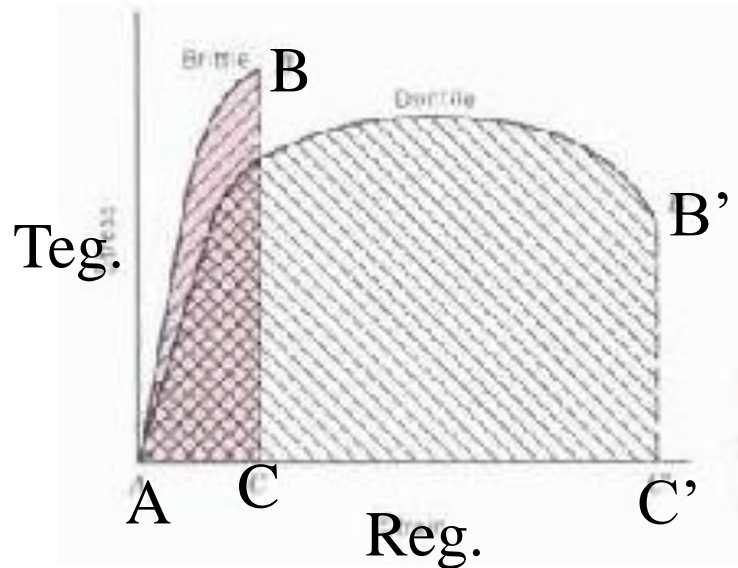
- Presentasi elongasi,

$$\% \text{El.} = (l_f - l_o) / l_o \times 100\%$$

- Presentasi reduksi area,

$$\% \text{AR} = (A_o - A_f) / A_o \times 100\%$$

Ketangguhan (Toughness)

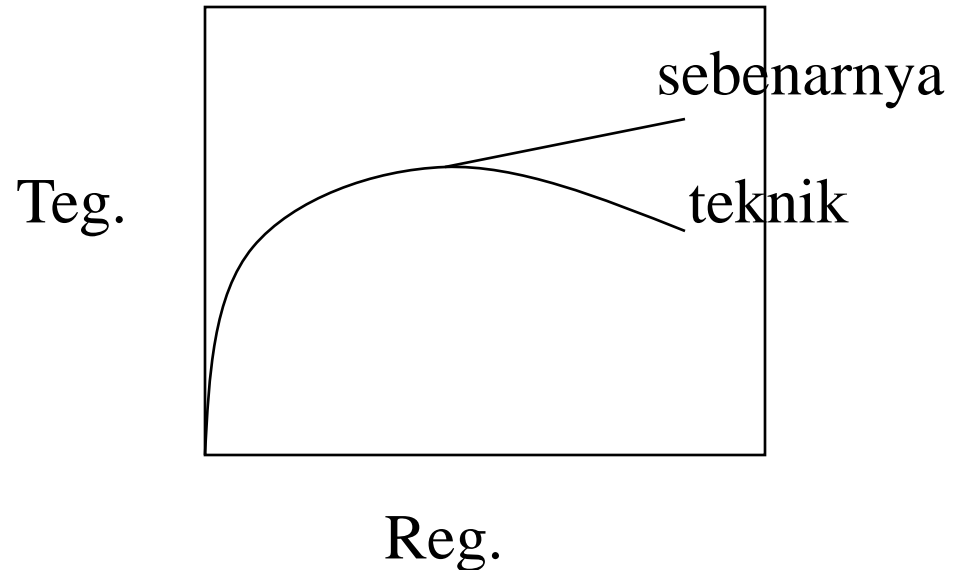


- Perbedaan antara kurva tegangan dan regangan hasil uji tarik utk material yang getas dan ulet
- ABC : ketangguhan material getas
- AB'C' : ketangguhan material ulet

Logam	Kekuatan luluh (MPa)	Kekuatan tarik (MPa)	Keuletan %El.
Au	-	130	45
Al	28	69	45
Cu	69	200	45
Fe	130	262	45
Ni	138	480	40
Ti	240	330	30
Mo	565	655	35

Tegangan dan regangan sebenarnya

- Pada daerah necking, luas tampang lintang sampel uji material
- Tegangan sebenarnya
$$\sigma_T = F/A_i$$
- Regangan sebenarnya
$$\varepsilon_T = \ln l_i/l_o$$



Bila volum sampel uji tidak berubah, maka

$$A_i l_i = A_o l_o$$

- Hubungan tegangan teknik dengan tegangan sebenarnya

$$\sigma_T = \sigma (1 + \varepsilon)$$

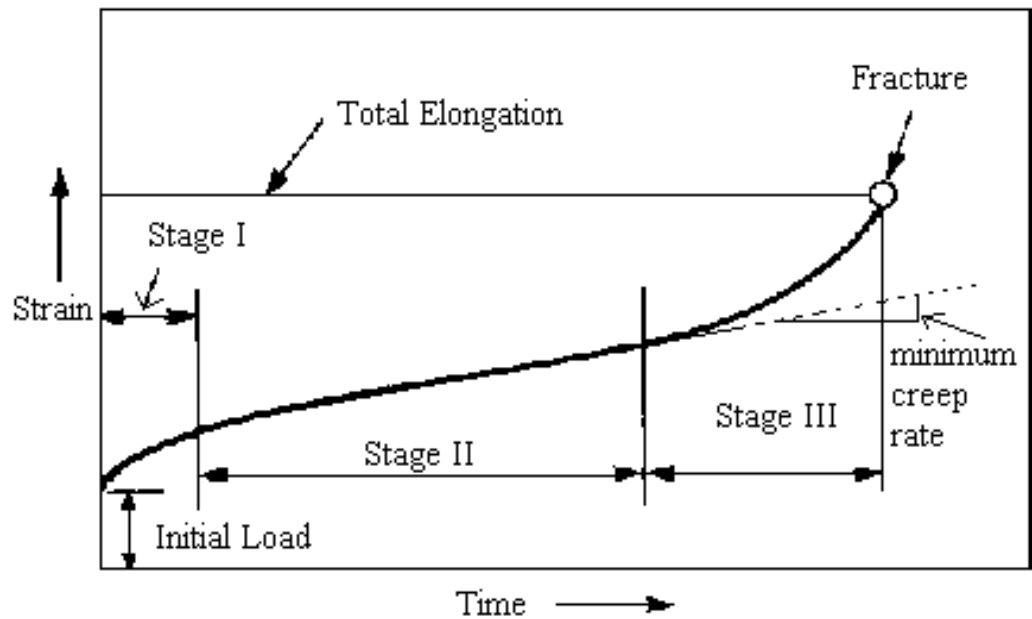
- Hubungan regangan teknik dengan regangan sebenarnya

$$\varepsilon_T = \ln (1 + \varepsilon)$$

Uji Kekerasan (Hardness Test)



Uji Mulur (Creep Test)



Uji Kelelahan (Fatigue Test)



Patahan (Failure)

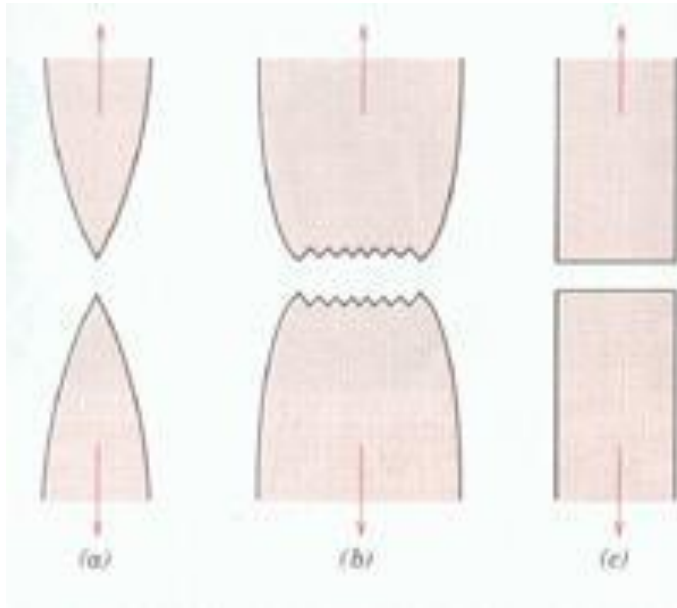


Figure 8.1 (a) Highly ductile fracture in which the specimen necks down to a point. (b) Moderately ductile fracture after some necking. (c) Brittle fracture without any plastic deformation.

Diagram Fasa

Material Teknik

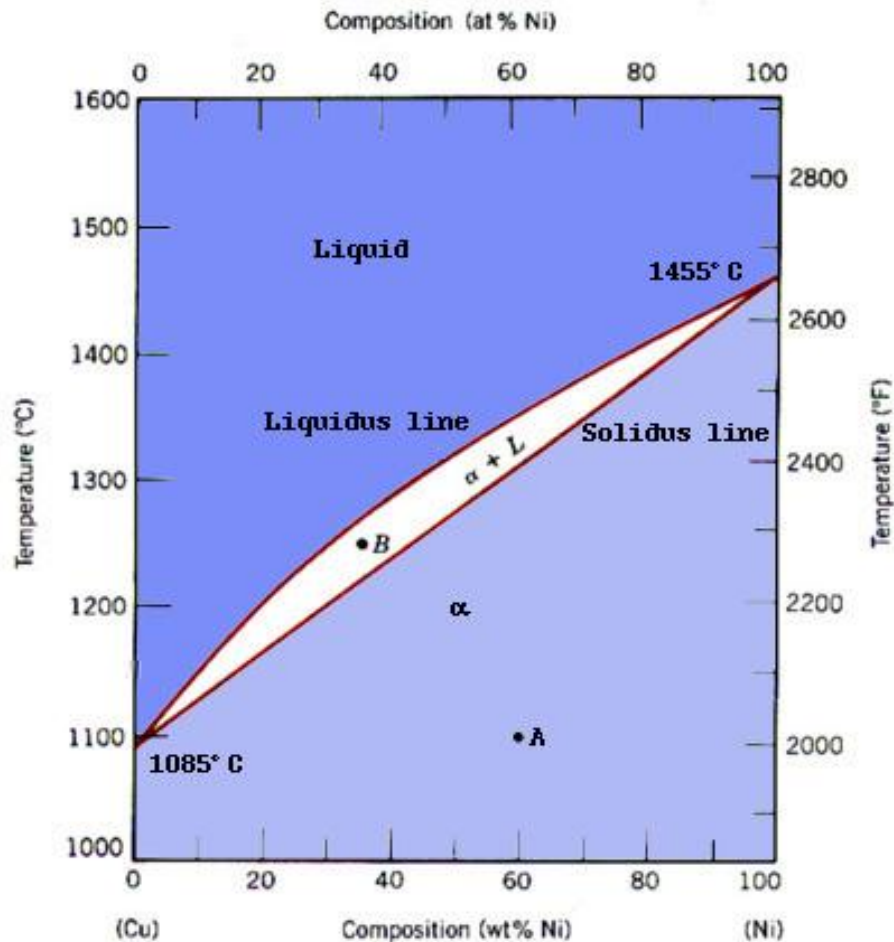
Pendahuluan

- Sifat mekanik bahan salah satunya ditentukan oleh struktur mikro
- Utk mengetahui struktur mikro, perlu mengetahui fasa diagram
- Diagram fasa digunakan utk peleburan, pengecoran, kristalisasi dll
- Komponen: logam murni dan/atau senyawa penyusun paduan
- Cth. Kuningan, Cu sebagai unsur pelarut dan Zn sebagai unsur yang dilarutkan.
- Batas kelarutan merupakan konsentrasi atom maksimum yang dapat dilarutkan oleh pelarut utk membentuk larutan padat (solid solution). Contoh Gula dalam air.

- Fasa adalah bagian homogen dari sistem yg mempunyai karakteristik fisik & kimia yg uniform
- Contoh fasa , material murni, larutan padat, larutan cair dan gas.
- Material yg mempunyai dua atau lebih struktur disebut polimorfik
- Jumlah fasa yg ada & bagiannya dlm material merupakan struktur mikro.

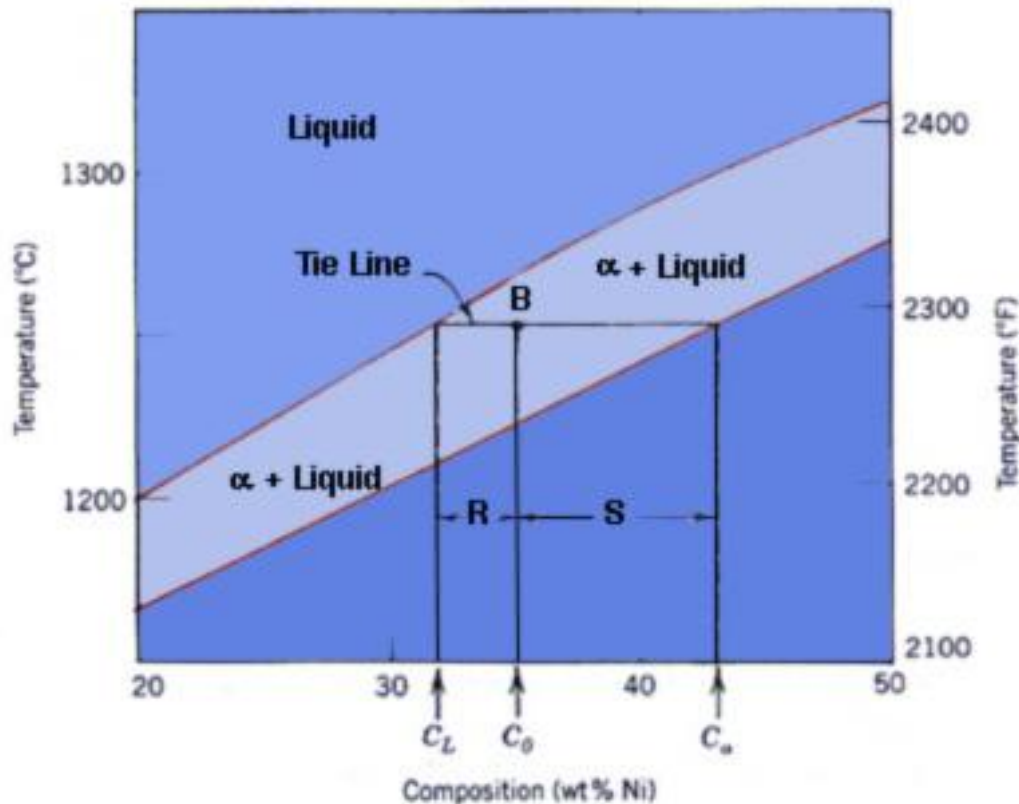
- Diagram kesetimbangan fasa merupakan diagram yang menampilkan struktur mikro atau struktur fasa dari paduan tertentu
- Diagram kesetimbangan fasa menampilkan hubungan antara suhu dan komposisi serta jumlah fasa-fasa dalam keadaan setimbang.

Diagram Cu-Ni



- L = larutan cair homogen yang mengandung Cu dan Ni
- A = larutan padat substitusi yang terdiri dari Cu dan Ni, yang mempunyai struktur FCC

Diagram Cu-Ni



- Jumlah persentasi cair (W_l) = $S/(R+S) \times 100\%$
- Jumlah persentasi α (W_α) = $R/(R+S) \times 100\%$

Sistem binary eutektik

- Batas kelarutan atom Ag pada fasa α dan atom Cu pada fasa β tergantung pada suhu
- Pada 780°C, Fasa α dapat melarutkan atom Ag hingga 7,9% berat dan Fasa β dapat melarutkan atom Cu hingga 8,8% berat
- Daerah fasa padat: fasa α , fasa $\alpha+\beta$, dan fasa β , yang dibatasi oleh garis solidus AB, BC, AB, BG, dan FG, GH.
- Daerah fasa padat + cair: fasa α + cair, dan fasa β + cair, yang dibatasi oleh garis solidus
- Daerah fasa cair terletak diatas garis liquidus AE dan FE
- Reaksi Cair \leftrightarrow padat(α) + padat (β) pada titik E disebut reaksi Eutektik.

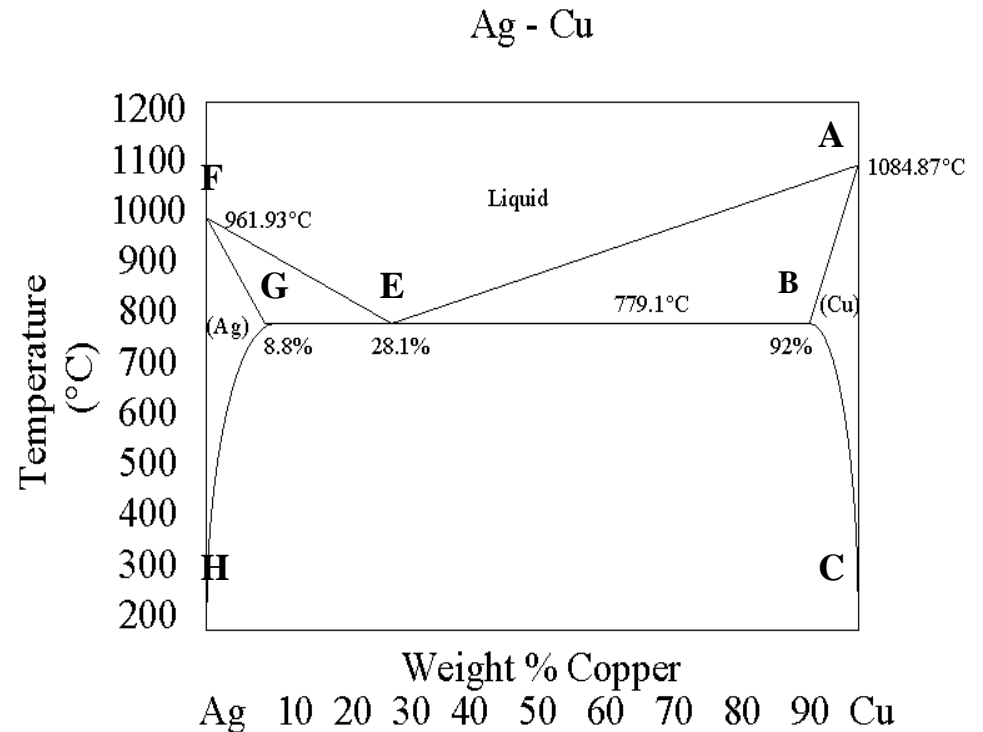


Diagram Fasa Pb-Sn

- Reaksi eutektik

Cair (61,9% Sn) \leftrightarrow α (19,2% Sn)+ β (97,6% Sn)

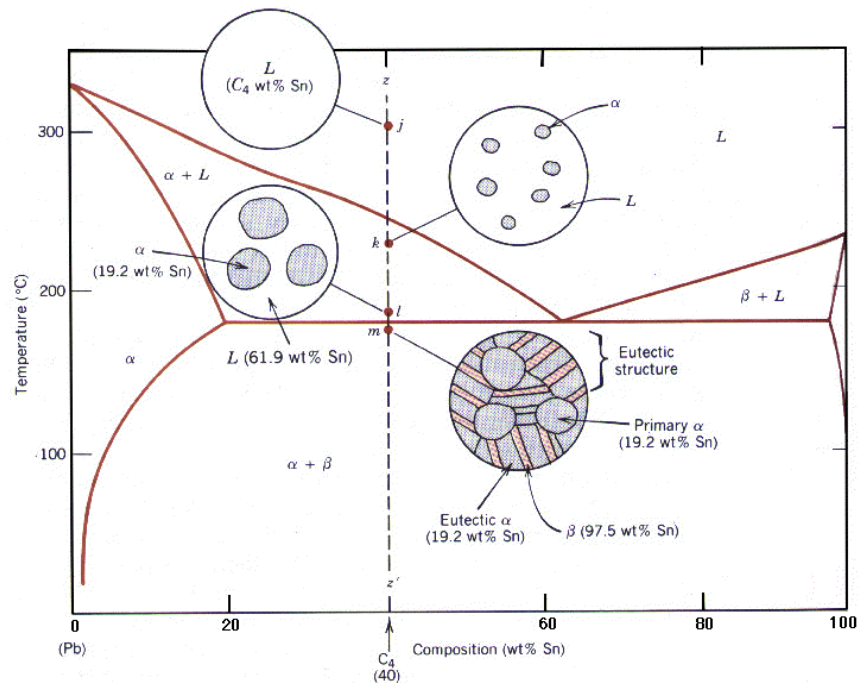


Diagram Fasa Cu-Zn

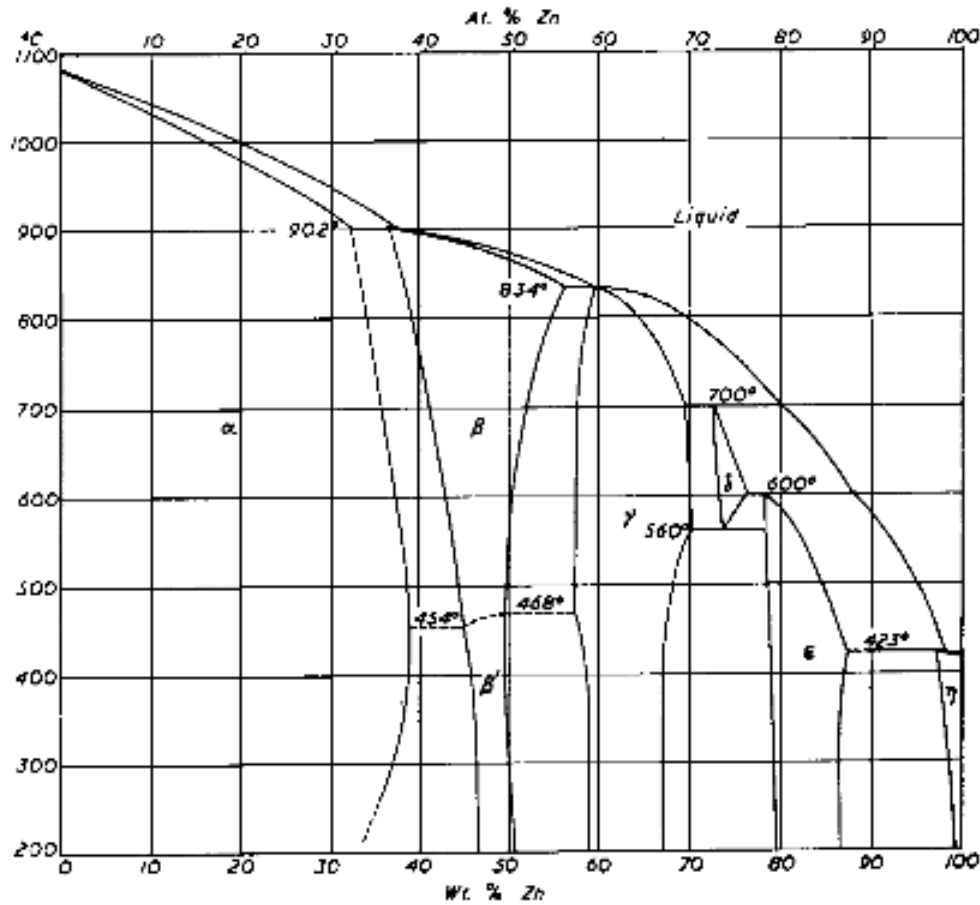
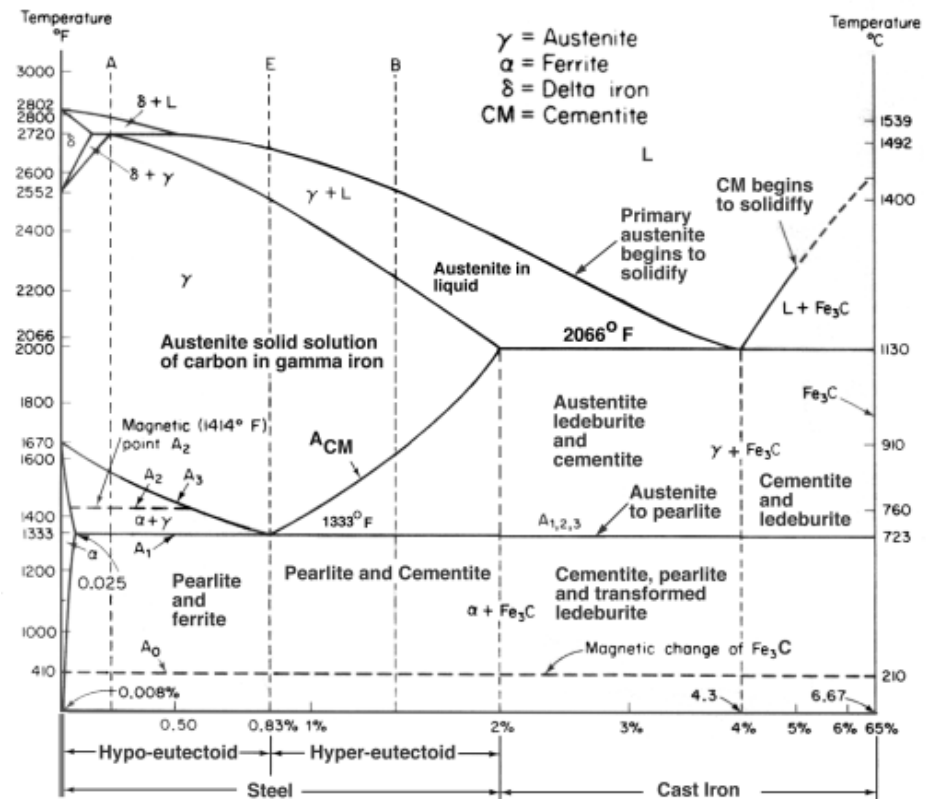


Diagram Fasa Fe-Fe₃C

- Besi- α (ferrit); Struktur BCC, dapat melarutkan C maks. 0,022% pada 727°C.
- Besi- δ (austenit); struktur FCC, dapat melarutkan C hingga 2,11% pada 1148°C.
- Besi- ζ (ferrit); struktur BCC
- Besi Karbida (sementit); struktur BCT, dapat melarutkan C hingga 6,7%0
- Pearlit; lamel-lamel besi- α dan besi karbida

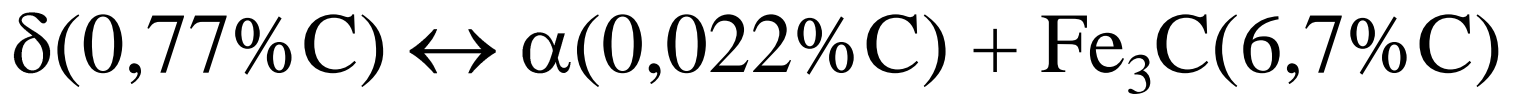


Reaksi pada Diagram Fasa Fe-C

- Reaksi eutektik pada titik 4,3% C, 1148°C



- Reaksi eutektoid pada titik 0,77% C, 727°C



- Reaksi peritektik

Pengaruh unsur pada Suhu Eutektoid dan Komposisi Eutektoid

- Unsur pembentuk besi- δ : Mn & Ni
- Unsur pembentuk besi- α : Ti, Mo, Si & W

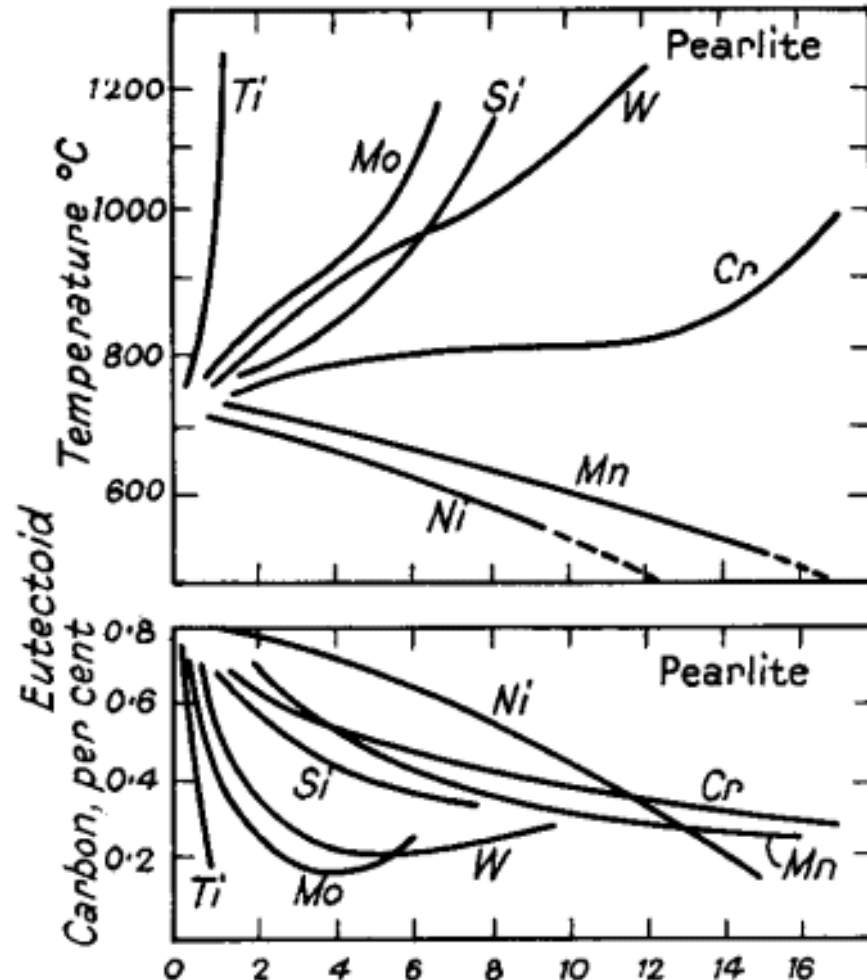
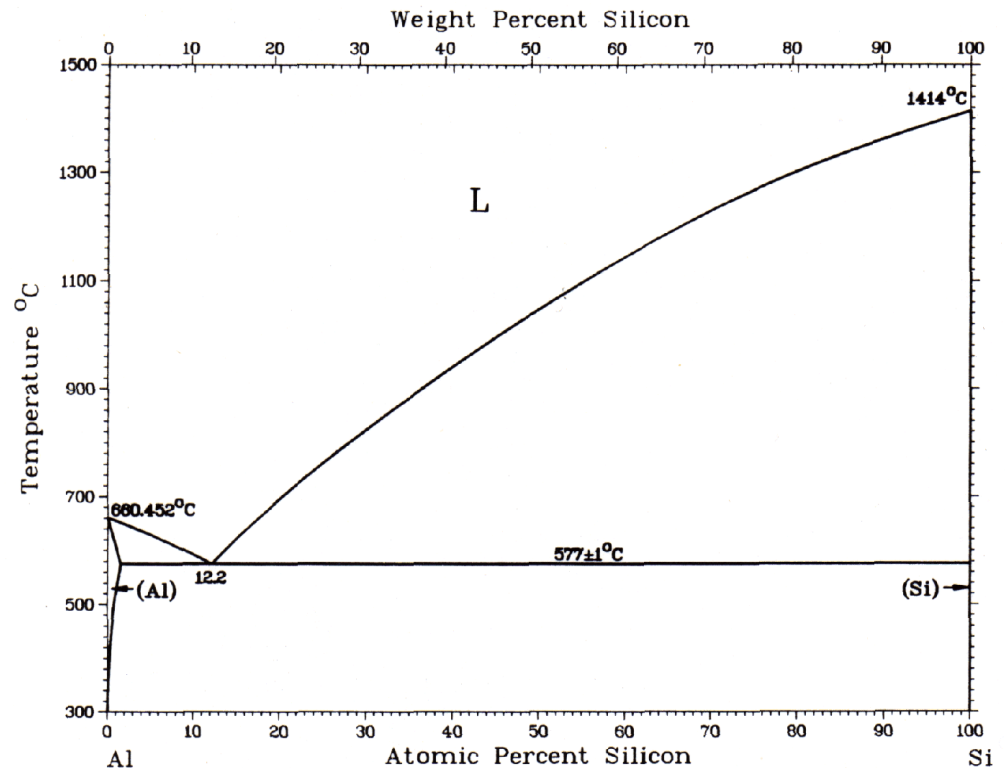


Diagram Fasa Al-Si

- Paduan hipoeutektik Al-Si mengandung Si <12,6%
- Paduan eutektik Al-Si mengandung Si sekitar 12,6%
- Paduan hipereutektik Al-Si mengandung Si >12,6%



Proses Anil & Perlakuan Panas

Material Teknik

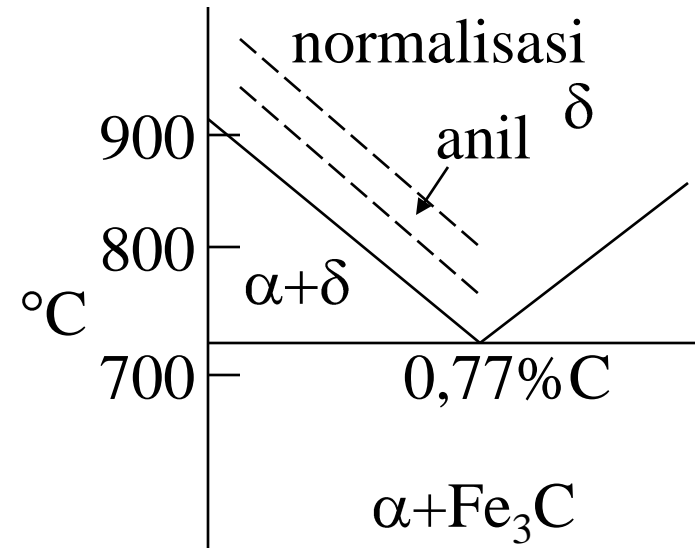
Pendahuluan

- Proses anil merupakan proses perlakuan panas suatu bahan melalui pemanasan pada suhu cukup tinggi dan waktu yang lama, diikuti pendinginan perlahan-lahan
- Anil
 - Bahan: Gelas
 - Tujuan: menghilangkan tegangan sisa & menghindari terjadinya retakan panas
 - Prosedur: suhu pemanasan mendekati suhu transisi gelas dan pendinginan perlahan-lahan
 - Perubahan strukturmikro: tidak ada

- Menghilangkan Tegangan
 - Bahan: semua logam, khususnya baja
 - Tujuan: menghilangkan tegangan sisa
 - Prosedur: Pemanasan sampai 600C utk baja selama beberapa jam
 - Perubahan strukturmikro: tidak ada
- Rekristalisasi
 - Bahan: logam yang mengalami pengerjaan dingin
 - Tujuan: pelunakan dengan meniadakan pengerasan regangan
 - Prosedur: Pemanasan antara 0,3 dan 0,6 titik lebur logam
 - Perubahan strukturmikro: butir baru

Anil Sempurna

- Bahan: baja
- Tujuan: Pelunakan sebelum pemesinan
- Prosedur: austenisasi 2-30°C
- Perubahan strukturmikro: pearlit kasar



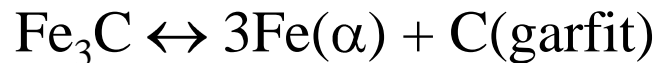
Speroidisasi

- Bahan: baja karbon tinggi, seperti bantalan peluru
- Tujuan: meningkatkan ketangguhan baja
- Prosedur: dipanaskan pada suhu eutektoid ($\sim 700^{\circ}\text{C}$) untuk 1-2 jam
- Perubahan strukturmikro: speroidit

Laku Mampu Tempa (Malleabilisasi)

- Bahan: besi cor
- Tujuan: besi cor lebih ulet
- Prosedur:

- anil dibawah suhu eutektoid ($<750^{\circ}\text{C}$)



Dan terbentuk besi mampu tempa ferritik

- Anil diatas suhu eutektoid ($>750^{\circ}\text{C}$)



Dan terbentuk besi mampu tempa austenitik

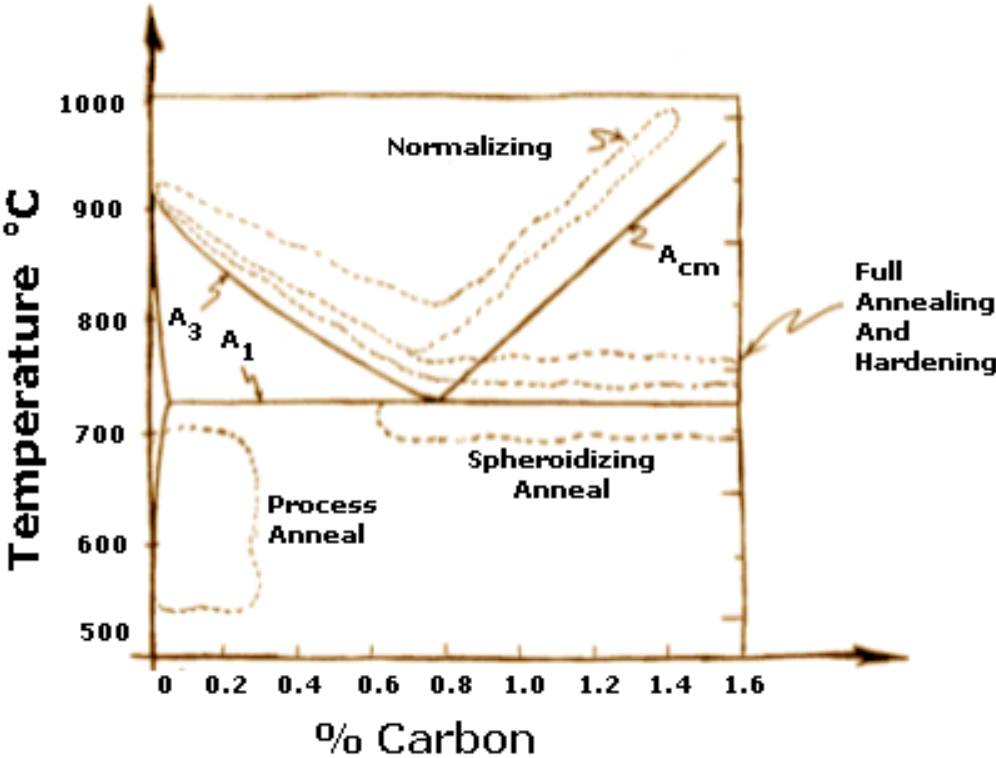
- Perubahan strukturmikro: terbentuknya gumpalan grafit.

Normalisasi

terdiri dari homogenisasi dan normalisasi

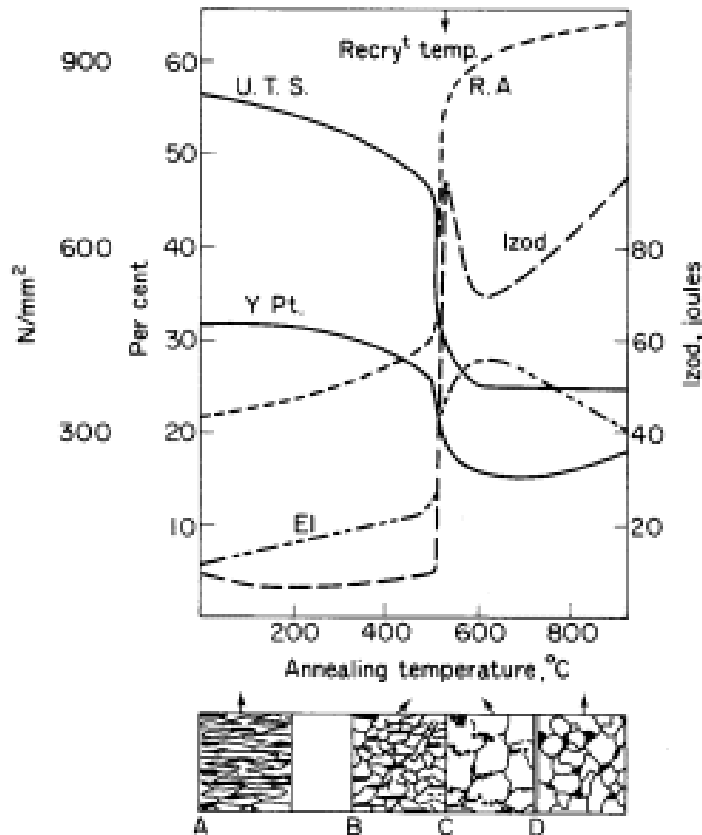
- Homogenisasi
 - Bahan: logam cair
 - Tujuan: menyeragamkan komposisi bahan
 - Prosedur: pemanasan pada suhu setinggi mungkin asalkan logam tidak mencair dan tidak menumbuhkan butir
 - Perubahan strukturmikro: homogenitas lebih baik, mendekati diagram fasa
- Normalisasi
 - Bahan: baja
 - Tujuan: membentuk strukturmikro dengan butir halus & seragam
 - Prosedur: austenisasi 50-60C, disusul dengan pendinginan udara
 - Perubahan strukturmikro: pearlit halus dan sedikit besi- α praeutektoid

Anil



HEAT TREATMENT PROCESS

Recovery, Rekristalisasi, Pertumbuhan Butir



Proses Presipitasi

- Pengerasan presipitasi dilakukan dengan memanaskan logam hingga unsur pemuad larut, kemudian celup cepat, dan dipanaskan kembali pada suhu relatif rendah

Precipitation Hardening

- Particles impede dislocations
- Ex. Al-Cu system

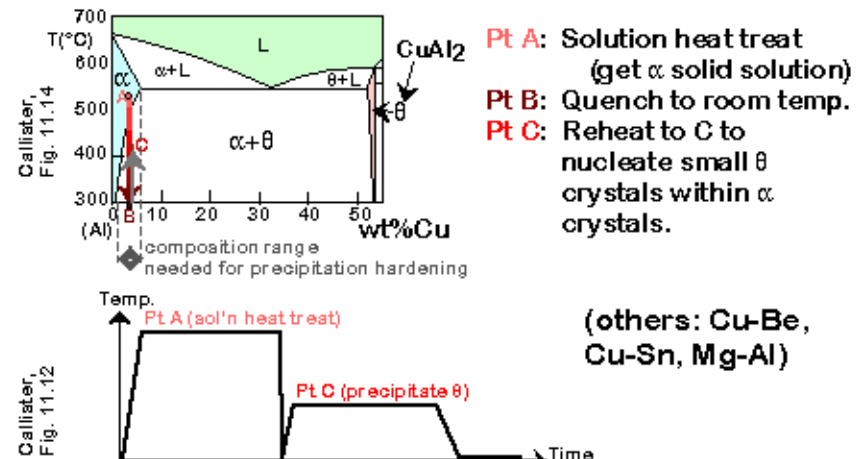


Diagram Transformasi-Isotermal

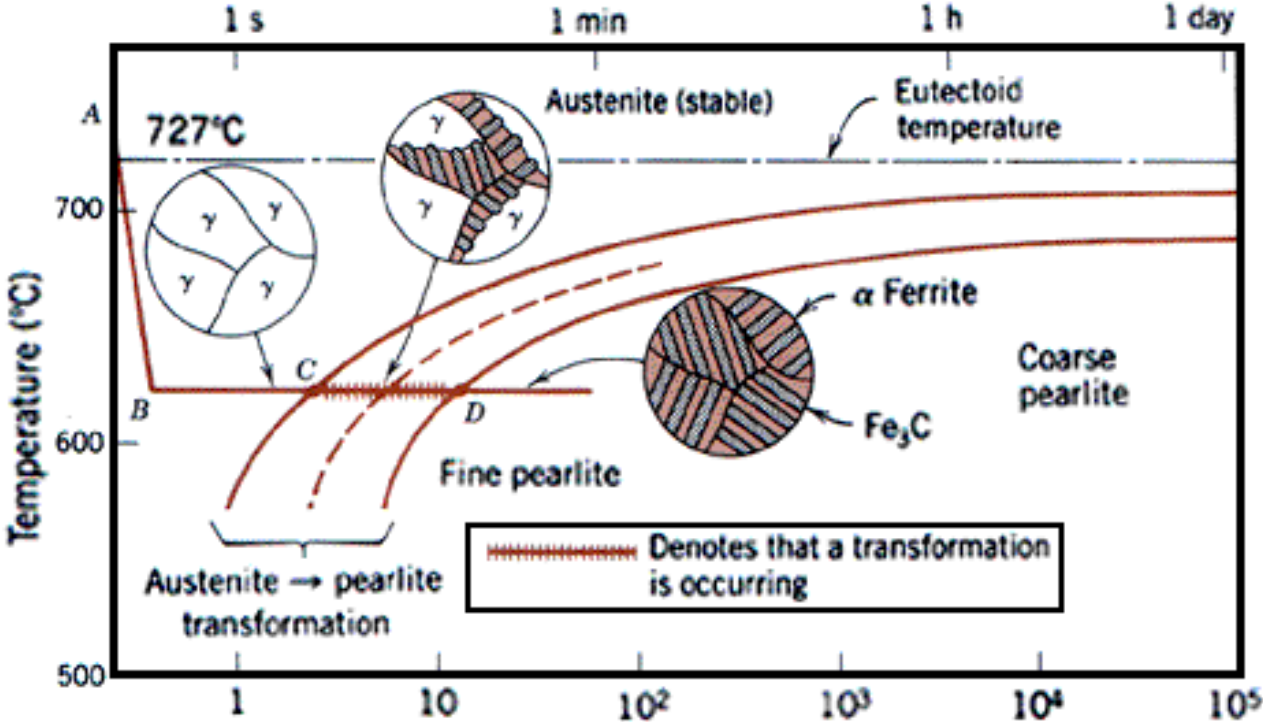
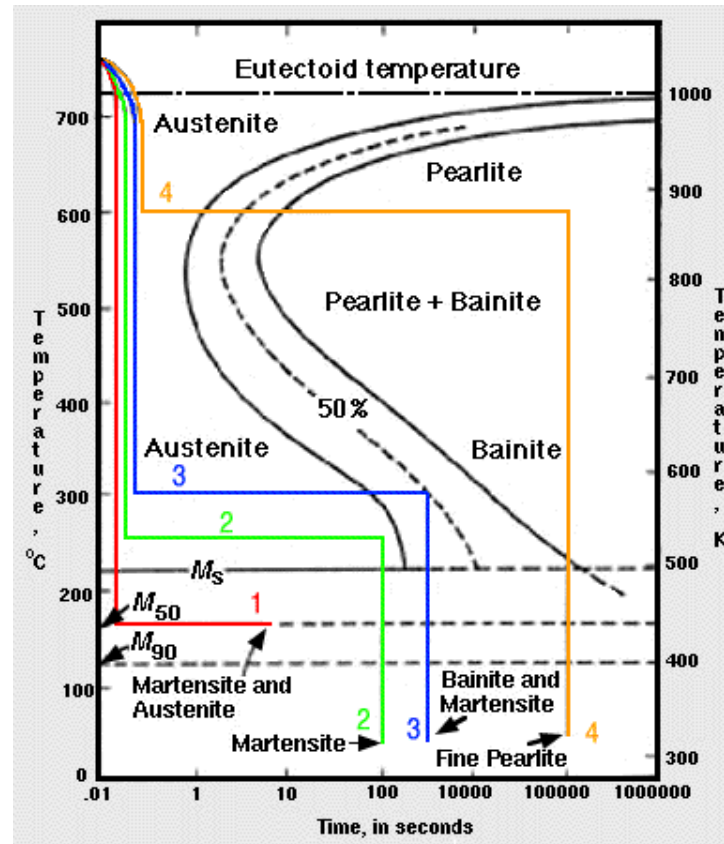


Diagram Transformasi-Isotermal untuk Baja Eutektoid



Logam Besi

Material Teknik

Logam besi

- Baja karbon
- Baja paduan
- Baja pekaas & dies
- Baja tahan karat
- Besi tuang

Baja karbon

- Menurut kadungan C
 - Baja karbon rendah: $C < 0,3\%$, utk baut, mur, lembaran, pelat, tabung, pipa, komponen mesin berkekuatan rendah
 - Baja karbon menengah: $0,3\% < C < 0,6\%$, utk roda gigi, axle, batang penghubung, crankshaft, rel, komponen utk mesin pengerjaan logam
 - Baja karbon tinggi: $0,6\% < C < 1,0\%$, utk mata pahat, kabel, kawat musik, pegas

Klasifikasi baja menurut AISI & SAE

Steel Alloy Type	Number	Description	Number	Properties	Applications	
Carbon	10xx	plain 0.05-0.90% carbon steels	Low Carbon	1006-12	soft and plastic	Sheets, stripping, tubes, welding rivets, screws, wire, structural shapes pipes, gears, shafts, bars, structural shapes
	11xx	free cutting carbon steels		1015-22	soft and tough	
Manganese	13xx	1.75% Mn	Medium Carbon	1023-32	medium	large section parts: forged parts, shafts, axles, rods, gears
Nickel Steels	23xx	3.50% Ni		1035-40		
Nickel-chromium	25xx	5.00% Ni	High Carbon	1041-50		heat treated parts: shafts, axles, gears, spring wire heavy duty machine parts: gears, forgings
	31xx	1.25% Ni and 0.65% Cr		1052-55		
	33xx	3.50% Ni and 1.57% Cr		1060-70	shock resistant	
Molybdenum	303xx	Corrosion and heat resisting	High Carbon	1074-80	tough and hard	dies, rails, set screws shear blades, hammers, wrenches, chisels, cable wire cutting tools: dies, milling cutters, drills, taps, etc.
Nickel-chromium-moldb.	40xx	0.25% Mo, carbon-molybdenum		1084-95		
	41xx	0.95% Cr, chromium-molybdenum				
	43xx	1.82% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo				
	47xx	1.05% Ni, 0.45% Cr, 0.20% Mo				
	86xx	0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.20% Mo				
	87xx	0.55% Ni, 0.50% Cr, 0.25% Mo				
	93xx	3.25% Ni, 1.20% Cr, 0.12% Mo				
Nickel-molybdenum	98xx	1.00% Ni, 0.80% Cr, 0.25% Mo				
	46xx	1.57% Ni, 0.20 Mo				
Chromium	48xx	3.50% Ni, 0.25% Mo				
	50xx	0.27-0.50% Cr, low chromium				
	51xx	0.80-1.05% Cr, low chromium				
	51xxx	1.02% Cr, medium chromium				
	52xxx	1.45% Cr, high chromium				
Chromium-vanadium	514xx	corrosion and heat resisting				
	61xx	0.95% Cr, 0.15% V				
Silicon-manganese	92xx	0.65-0.87% Mn, 0.85-2.00% Si				
Boron	xxBxx					
Leaded	xxLxx					

Baja seri 1045 utk yoke ball

- 1045 termasuk seri 10xx atau seri baja karbon
- Angka 45 merupakan kandungan karbon = $45/100 \% = 0,45\%$

Baja Paduan

- Baja paduan rendah berkekuatan tinggi (high strength alloy steel)
 - $C < 0,30\%$
 - Struktur mikro: butir besi- α halus, fasa kedua martensit & besi- δ
 - Produknya: pelat, balok, profil
- Baja fasa ganda (Dual- phase steel)
 - Struktur mikro: campuran besi- α & martensit

Baja paduan rendah berkekuatan tinggi

Kekuatan luluh		Komposisi kimia	Deoksidasi
10 ³ Psi	MPa		
35	240	S = kualitas struktur X = paduan rendah W = weathering D = fasa ganda	F = kill + kontrol S K = kill O = bukan kill
40	275		
45	310		
50	350		
60	415		
70	485		
80	550		
100	690		
120	830		
140	970		

Cth. 50XF

50 → kekuatan luluh 50x10³ Psi

X → paduan rendah

F → kill + kontrol S

Baja tahan karat

- Sifatnya tahan korosi, kekuatan & keuletan tinggi dan kandungan Cr tinggi
- Kandungan lain : Ni, Mo, Cu, Ti, Si, Mg, Cb, Al, N dan S

Jenis baja tahan karat

- Austenitik (seri 200 & 300)
 - Mengandung Cr, Ni dan Mg
 - Bersifat tidak magnet, tahan korosi
 - Utk peralatan dapur, fitting, konstruksi, peralatan transport, tungku, komponen penukar panas, lingkungan kimia
- Ferritik (seri 400)
 - Mengandung Cr tinggi, hingga 27%
 - Bersifat magnet, tahan korosi
 - Utk peralatan dapur.

Jenis baja tahan karat

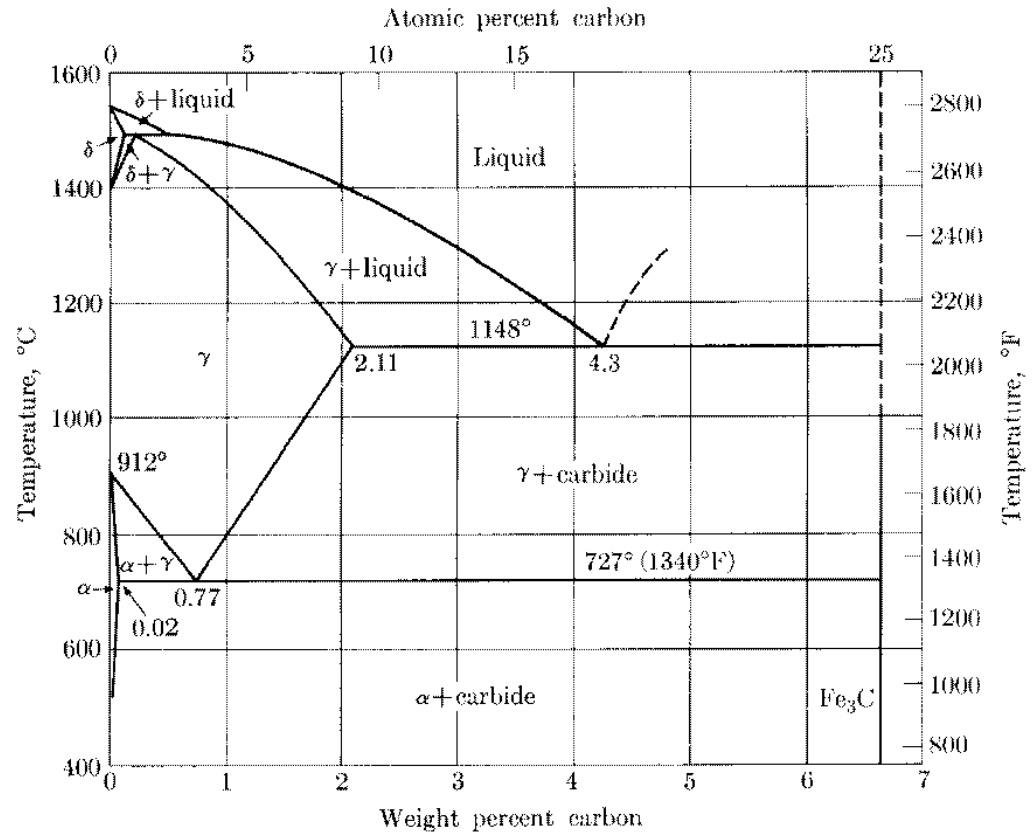
- Martensitik (seri 400 & 500)
 - Mengandung 18%Cr, tdk ada Ni
 - Bersifat magnet, berkekuatan tinggi, keras, tahan patah dan ulet
 - Utk peralatan bedah, instrument katup dan pegas
- Pengerasan presipitasi
 - Mengandung Cr, Ni, Cu, Al, Ti, & Mo
 - Bersifat tahan korosi, ulet & berkekuatan tinggi pada suhu tinggi
 - Utk komponen struktur pesawat & pesawat ruang angkasa

Jenis baja tahan karat

- Struktur Duplek
 - Campuran austenit & ferrit
 - Utk komponen penukar panas & pembersih air

Besi cor

- Besi tuang disusun oleh besi, 2,11-4,50% karbon dan 3,5% silikon
- Kandungan Si mendekomposisi Fe_3C menjadi $\text{Fe-}\alpha$ dan C (garfit)

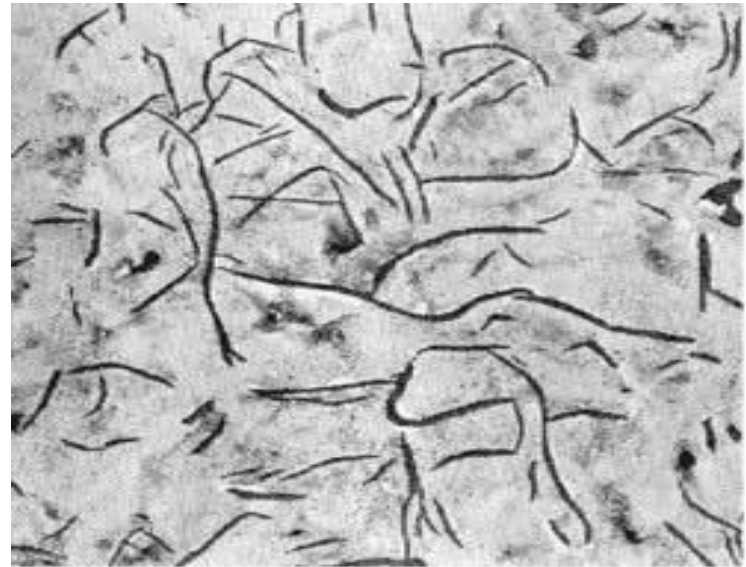


Jenis besi cor

- Besi cor kelabu
- Besi cor nodular (ulet)
- Besi cor tuang putih
- Besi cor malleable

Besi cor kelabu

- Disusun oleh serpihan C (grafit) yang tersebar pada besi- α
- Bersifat keras & getas



Besi cor nodular (ulet)

- C (grafit)nya berbentuk bulat (nodular) tersebar pada besi- α .
- Nodular terbentuk karena besi cor kelabu ditambahkan sedikit unsur magnesium dan cesium
- Keras & ulet



Besi cor putih

- Disusun oleh besi- α dan besi karbida (Fe_3C)
- Terbentuk melalui pendinginan cepat
- Getas, tahan pakai & sangat keras



Besi cor malleable

- Disusun oleh besi- α dan C (grafit)
- Dibentuk dari besi cor putih yang dianil pada 800-900°C dalam atmosphere CO & CO²



Logam Bukan Besi

Material Teknik

Pendahuluan

- Logam & paduan bukan besi
 - Logam biasa: Al, Cu, Mg
 - Logam/paduan tahan suhu tinggi: W, Ta, Mo
- Aplikasi utk
 - Ketahanan korosi
 - Konduktifitas panas & listrik tinggi
 - Kerapatan rendah
 - Mudah dipabrikasi
- Cth.
 - Al utk pesawat terbang, peralatan masak
 - Cu utk kawat listrik, pipa air
 - Zn utk karburator
 - Ti utk sudu turbin mesinjet
 - Ta utk mesin roket

Aluminium

Produk Wrough

1xxx	Al murni: 99,00%
2xxx	Al+Cu
3xxx	Al+Mn
4xxx	Al+Si
5xxx	Al+Mg
6xxx	Al+Mg+Si
7xxx	Al+Zn
8xxx	Al+unsur lain

Aluminium

Produk Cor

1xx.x	Al murni: 99,00%
2xx.x	Al+Cu
3xx.x	Al+Si, Cu, Mg
4xx.x	Al+Si
5xx.x	Al+Mg
6xx.x	Tidak digunakan
7xx.x	Al+Zn
8xx.x	Al+Pb

Perlakuan utk produk aluminium wrough dan cor

F	Hasil pabrikasi (pengerjaan dingin atau panas atau cor)
O	Proses anil (hasil pengerjaan dingin atau panas atau cor)
H	Pengerjaan regangan melalui pengerjaan dingin (utk produk wrough)
T	Perlakuan panas

Magnesium & paduan magnesium

- Logam terringan dan penyerap getaran yg baik
- Aplikasi:
 - Komponen pesawat & missil
 - Mesin pengangkat
 - Pekakas
 - Tangga
 - Koper
 - Sepeda
 - Komponen ringan lainnya.

Paduan magnesium: produk wrought dan cor

Paduan	Komposisi (%)				Kondisi	Pembentukk an
	Al	Zn	Mn	Zr		
AZ31B	3,0	1,0	0,2		F H24	Ekstrusi lembaran & pelat
AZ80A	8,5	0,5	0,2		T5	Ekstrusi & tempa
HK31A				0,7	H24	Lembaran & pelat
ZK60A		5,7		0,55	T5	Ekstrusi & tempa

Penamaan paduan magnesium

- Huruf 1&2 menyatakan unsur pepadu utama
- Angka 3&4 menyatakan % unsur pepadu utama
- Huruf 5 menyatakan standar paduan
- Huruf dan angka berikutnya menyatakan perlakuan panas

Contoh. AZ91C-T6

A → Al

Z → Zn

9 → 9% Al

1 → 1% Zn

C → Standar C

T6 → Perlakuan panas

Tembaga & paduan tembaga

- Sifat paduan tembaga:
 - Konduktifitas listrik dan panas tinggi
 - Tidak bersifat magnet
 - Tahan korosi
- Aplikasi
 - Komponen listrik dan elektronik
 - Pegas
 - Cartridge
 - Pipa
 - Penukar panas
 - Peralatan panas
 - Perhiasan, dll

Jenis paduan tembaga

- Kuningan (Cu+Zn)
- Perunggu (Cu+Sn)
- Perunggu Al (Cu+Sn+Al)
- Perunggu Be (Cu+Sn+Be)
- Cu+Ni
- Cu+Ag

Nikel & paduan nikel

- Sifat paduan nikel
 - Kuat
 - Getas
 - Tahan korosi pada suhu tinggi
- Elemen pemuat nikel: Cr, Co, Mo dan Cu
- Paduan nikel base = superalloy
- Paduan nikel tembaga = monel
- Paduan nikel krom = inconel
- Paduan nikel krom molybdenum = hastelloy
- Paduan nikel krom besi = nichrome
- Paduan nikel besi = invar

Supperalloy

- Tahan panas dan tahan suhu tinggi
- Aplikasi: mesin jet, turbin gas, mesin roket, pekakas, dies, industri nuklir, kimia dan petrokimia
- Jenis superalloy
 - Superalloy besi base: 32-67%Fe, 15-22%Cr, 9-38%Ni
 - Superalloy kobalt base: 35-65%Co, 19-30%Cr, 35%Ni
 - Superalloy nikel base: 38-76%Ni, 27%Cr, 20%Co.

Keramik

Material Teknik

Keramik

- Senyawa logam atau bukan logam yang mempunyai ikatan atom ionik dan kovalen
- Ikatan ionik dan kovalen menyebabkan keramik mempunyai titik lebur tinggi dan bersifat isolator
- Keramik terdiri dari
 - Keramik tradisional, disusun oleh tanah liat, silika dan feldspar. Cth. bata, ubin, genteng dan porselen
 - Keramik murni atau teknik, disusun oleh senyawa murni.

Struktur Kristal

- Sebagian besar keramik diikat secara ionik dan hanya sedikit yang diikat secara kovalen
- Ikatan ionik biasanya mempunyai diameter atom kation $<$ atom anion, akibatnya atom kation selalu dikelilingi atom anion.
- Jumlah atom tetangga terdekat (mengelilingi) atom tertentu dikenal sbg bilangan koordinasi (Coordination number).

Hub. bil. koordinasi dan perbandingan jari2atom kation-anion

Bilangan koordinasi	Perbandingan jari-jari kation-anion	Geometri koordinasi
2	$<0,155$	
3	$0,115-0,225$	
4	$0,225-0,414$	
6	$0,414-0,732$	
8	$0,723-1,0$	

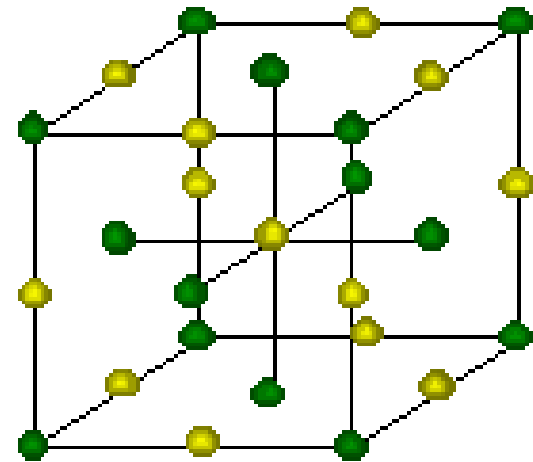
Jari-jari kation dan anion

Kation	Jari-jari ion (nm)	Anion	Jari-jari ion (nm)
Al ³⁺	0,053	Br ⁻	0,196
Ba ²⁺	0,136	Cl ⁻	0,181
Ca ²⁺	0,100	F ⁻	0,133
Cs ⁺	0,170	I ⁻	0,220
Fe ²⁺	0,077	O ²⁻	0,140
Fe ³⁺	0,069	S ²⁻	0,184
K ⁺	0,138		
Mg ²⁺	0,072		
Mn ²⁺	0,067		
Na ²⁺	0,102		
Ni ²⁺	0,069		
Si ⁴⁺	0,040		
Ti ²⁺	0,061		

Struktur Kristal Tipe AX

Cth.; NaCl, CsCl, ZnS dan intan

- Struktur NaCl (Garam)
 - Bentuk kubik berpusat muka (FCC)
 - 1 atom kation Na^+ dikelilingi 6 atom anion Cl^- (BK 6)
 - Posisi atom kation Na^+ : $\frac{1}{2}\frac{1}{2}\frac{1}{2}$, $00\frac{1}{2}$, $0\frac{1}{2}0$, $\frac{1}{2}00$
 - Posisi atom anion Cl^- : 000 , $\frac{1}{2}\frac{1}{2}0$, $\frac{1}{2}0\frac{1}{2}$, $0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$
 - Cth seperti kristal garam: MgO, MnS, LiF dan FeO.
 - Perbandingan jari-jari atom kation dan anion = $0,102/0,181 = 0,56$

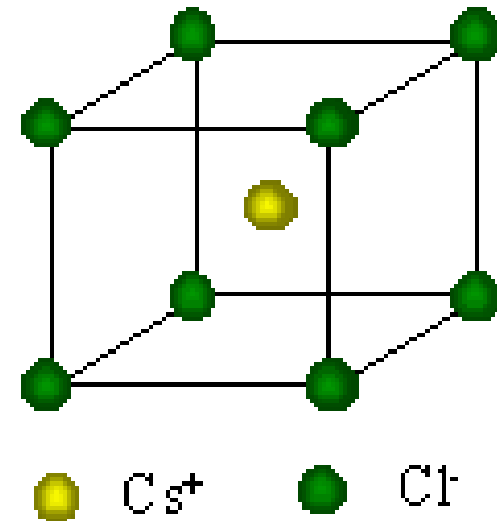


● Na^+ ● Cl^-

Structure de NaCl

Struktur kristal tipe AX

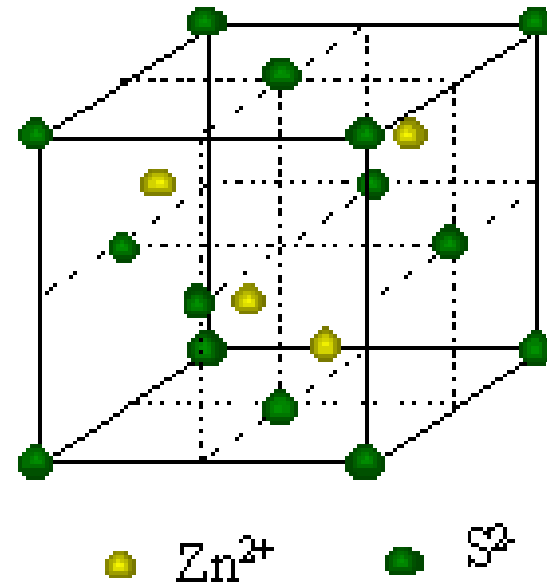
- Struktur CsCl
 - Bentuk kubik sederhana (simple cubic)
 - 1 atom kation Cs^+ dikelilingi 8 atom anion Cl^- (BK 8)
 - Posisi atom kation Na^+ : $\frac{1}{2}\frac{1}{2}$
 - Posisi atom anion Cl^- : 000
 - Perbandingan jari-jari aton kation dan anion = $0,170/0,181 = 0,94$.



Structure de CsCl

Struktur kristal tipe AX

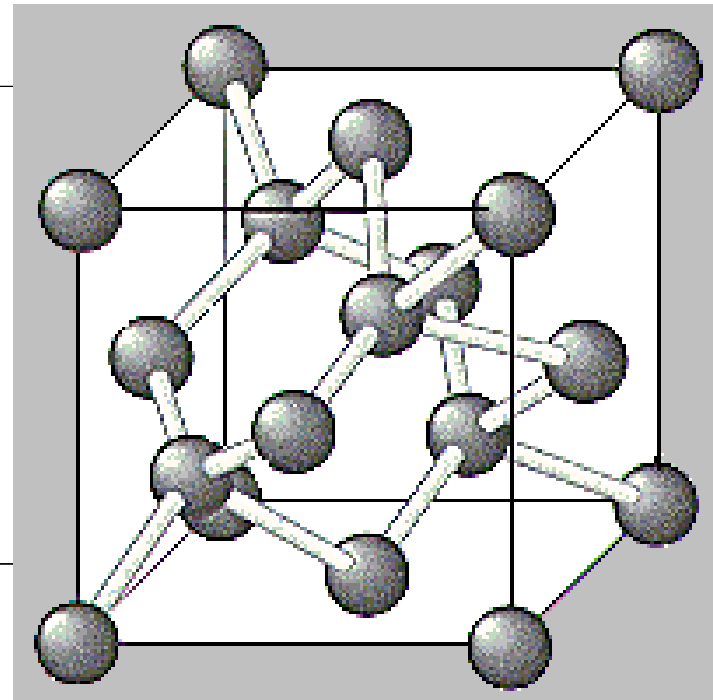
- Struktur ZnS
 - Bentuk Sphalerite
 - 1 atom kation Zn^{2+} dikelilingi 4 atom anion S^{2-} (BK 4)
 - Posisi atom kation Zn^{2+} :
 $\frac{3}{4}\frac{3}{4}\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}\frac{1}{4}\frac{3}{4}$, $\frac{1}{4}\frac{3}{4}\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}\frac{1}{4}\frac{1}{4}$
 - Posisi atom anion S^{2-} : 000,
 $\frac{1}{2}\frac{1}{2}0$, $\frac{1}{2}0\frac{1}{2}$, $0\frac{1}{2}\frac{1}{2}$
 - Cth seperti kristal ZnS: ZnTe, BeO dan SiO.
 - Perbandingan jari-jari atom kation dan anion = $0,060/0,174 = 0,344$



Structure de ZnS

Struktur kristal AX

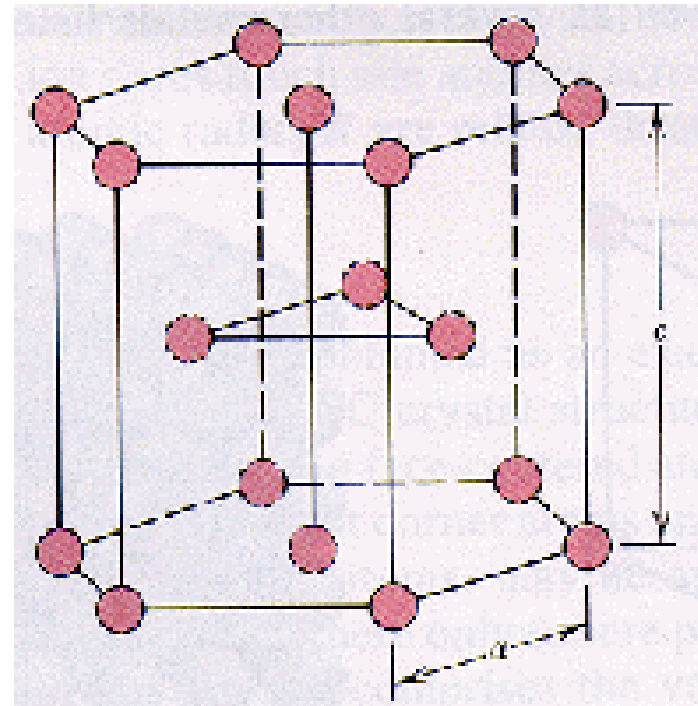
- Struktur intan
 - Bentuk sama seperti ZnS, tetapi seluruh atomnya diisi atom C.
 - Ikatan atomnya ikatan atom kovalen



Struktur kristal intan

Struktur kristal $AmXp$

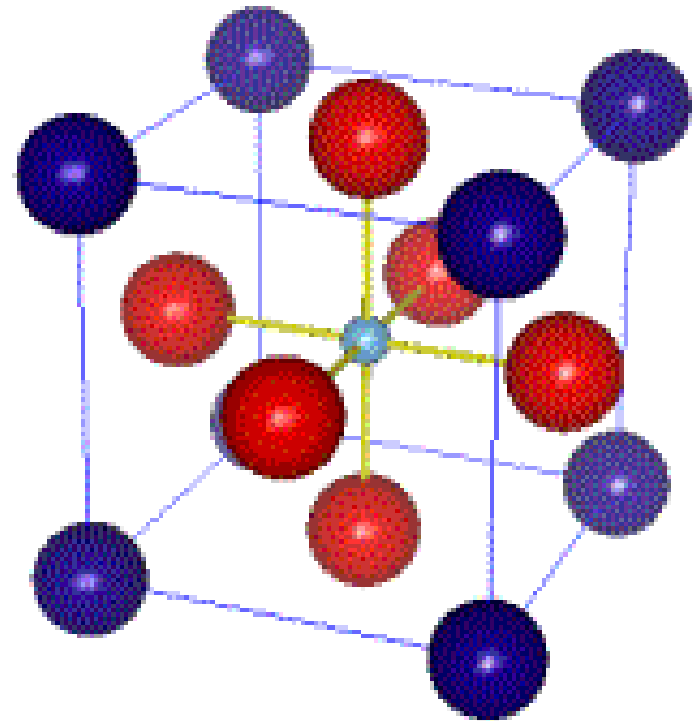
- Al_2O_3 (korundum)
 - Bentuk heksagonal tumpukan padat



Struktur kristal Al_2O_3

Struktur kristal $A_mB_nX_p$

- $BaTiO_3$
 - Bentuk kristal perouskite
 - Atom kation: Ba^{2+} dan Ti^{4+}
 - Atom anion: O^{2-}



Struktur kristal perouskite

Polimer

Material Teknik

Komposit

Material Teknik