

KRISTAL LOGAM



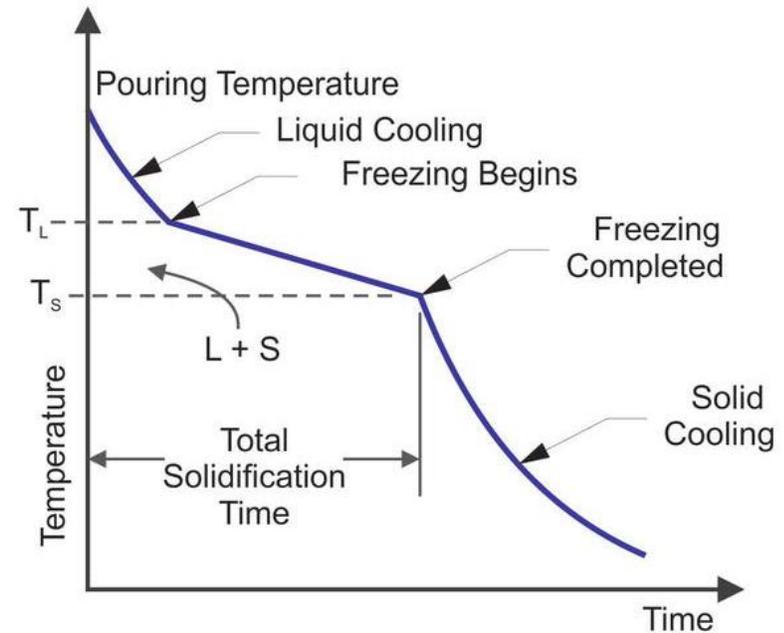
Kampus
Merdeka
INDONESIA JAYA

Dosen Pengampu :

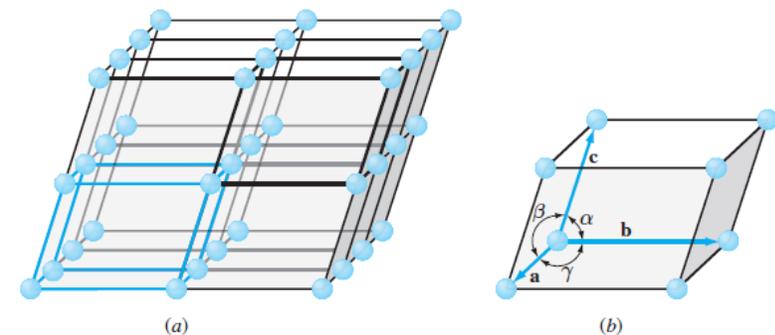
- 1). Prof. Dr. Ir. Dwita Suastiyanti M.Si, IPM, ASEAN Eng. (Institut Teknologi Indonesia)
- 2). Victor Danny Waas, ST., MT.

Pemahaman Kristal

- Ketika logam membeku dari keadaan cair (Solidifikasi), atom-atom mengatur diri mereka sendiri ke dalam berbagai konfigurasi yang teratur, yang disebut kristal, dan pengaturan atom-atom di dalam kristal disebut struktur kristal. [1]
- Kelompok atom terkecil yang menunjukkan struktur kisi karakteristik logam tertentu dikenal sebagai sel satuan (*unit cell*). [1]

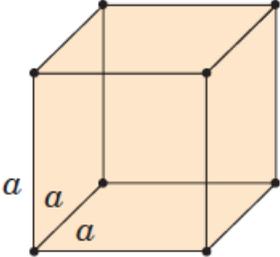
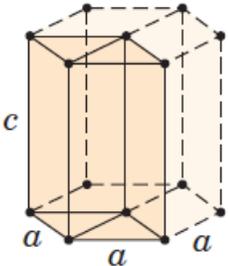
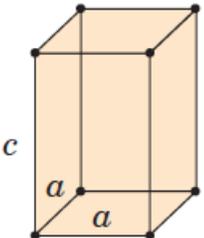


Mekanisme Solidifikasi. [2]



(a) Kisi ruang (*space lattice*) kristal padatan ideal & (b) Sel satuan yang menunjukkan konstanta kisi. [3]

Table 3.2 Lattice Parameter Relationships and Figures Showing Unit Cell Geometries for the Seven Crystal Systems

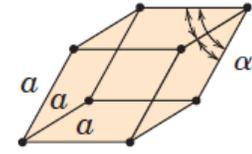
<i>Crystal System</i>	<i>Axial Relationships</i>	<i>Interaxial Angles</i>	<i>Unit Cell Geometry</i>
Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	
Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	
Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	

Tujuh Sistem Kristal

Rhombohedral
(Trigonal)

$$a = b = c$$

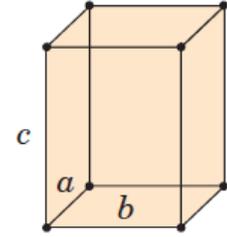
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



Orthorhombic

$$a \neq b \neq c$$

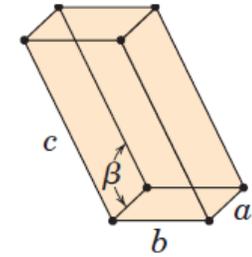
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



Monoclinic

$$a \neq b \neq c$$

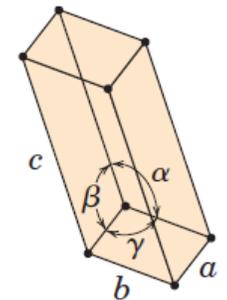
$$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$$



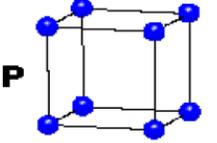
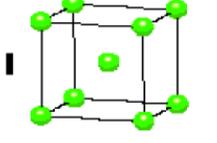
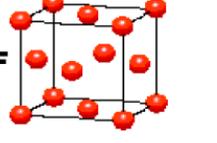
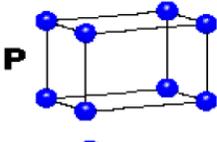
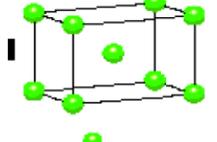
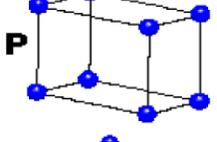
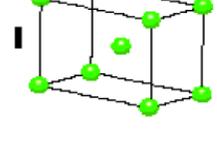
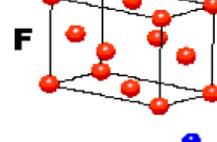
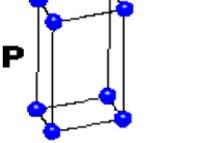
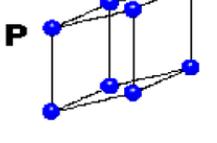
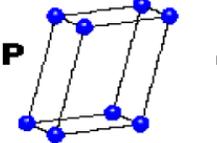
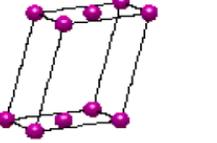
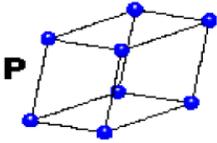
Triclinic

$$a \neq b \neq c$$

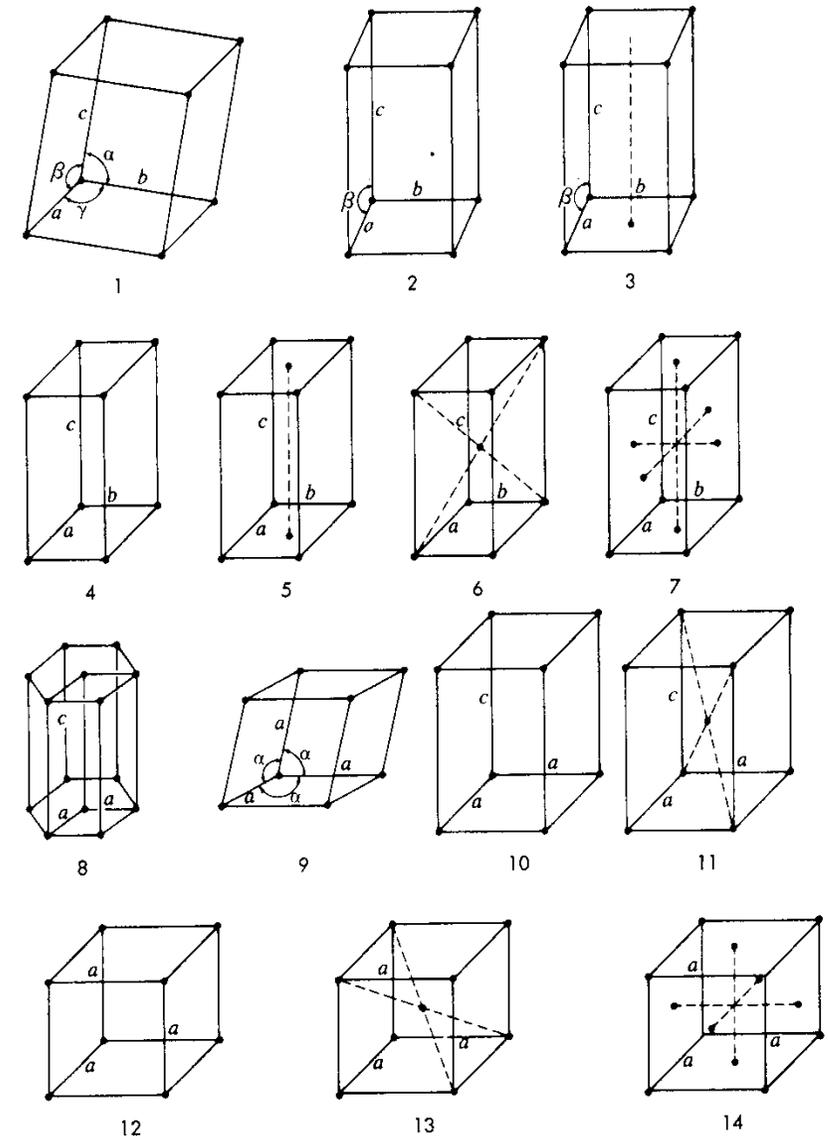
$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$



Dari ketujuh sistem kristal tersebut ternyata ada **14 jenis bentuk Kisi Ruang (Space Lattice)** yang mungkin terjadi

<p>CUBIC $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$</p>			
<p>TETRAGONAL $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$</p>			
<p>ORTHORHOMBIC $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$</p>			
<p>HEXAGONAL $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$</p>		<p>TRIGONAL $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$</p> 	
<p>MONOCLINIC $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 120^\circ$</p>			
<p>TRICLINIC $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$</p>			

4 Types of Unit Cell
 P = Primitive
 I = Body-Centred
 F = Face-Centred
 C = Side-Centred
 +
7 Crystal Classes
 → **14 Bravais Lattices**



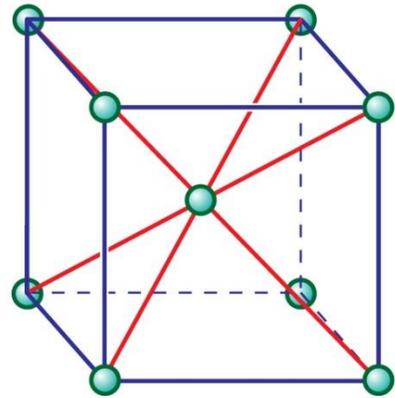
The 14 point lattices illustrated by a unit cell of each: (1) triclinic, simple; (2) monoclinic, simple; (3) monoclinic, base centered; (4) orthorhombic, simple; (5) orthorhombic, base centered; (6) orthorhombic, body centered; (7) orthorhombic, face centered; (8) hexagonal; (9) rhombohedral; (10) tetragonal, simple; (11) tetragonal, body centered; (12) cubic, simple; (13) cubic, body centered; (14) cubic, face centered.

Struktur Kristal Logam

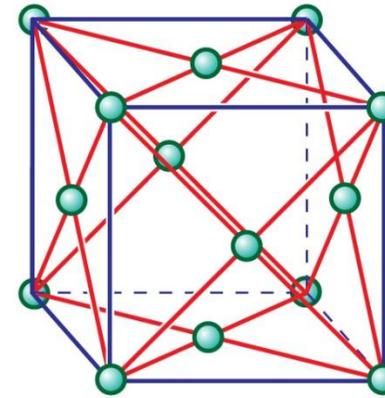
Kebanyakan logam umumnya mempunyai tiga struktur kristal sederhana, yaitu:

1. **FCC (*Face Centered Cubic*)** atau Kubus pemusatan Sisi,
2. **BCC (*Body Centered Cubic*)** atau Kubus Pemusatan Ruang,
3. **HCP (*Hexagonal Close-Packed*)** atau Hexagonal Tumpukan Padat.

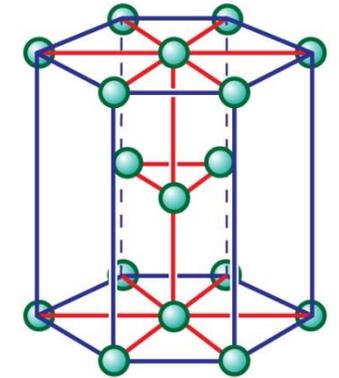
Common metallic crystal structures



body-centered cubic (bcc)



face-centred cubic (fcc)



hexagonal close-packed (hcp)

© 2012 Encyclopædia Britannica, Inc.

Table 3.1 Atomic Radii and Crystal Structures for 16 Metals

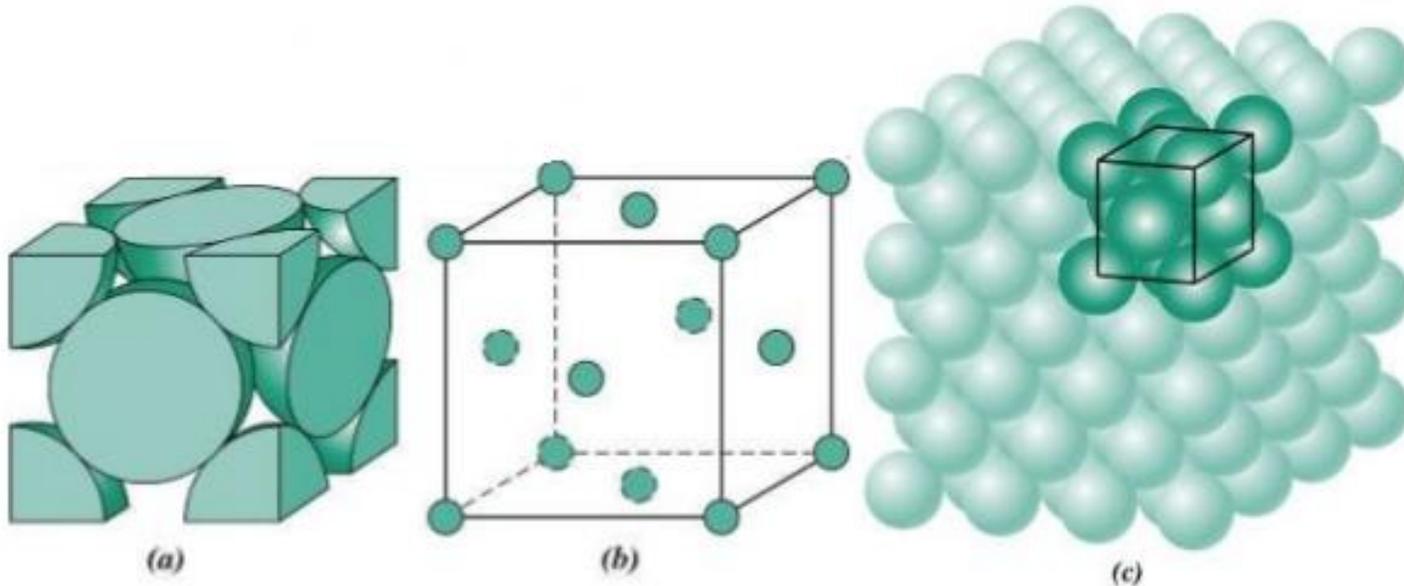
<i>Metal</i>	<i>Crystal Structure^a</i>	<i>Atomic Radius^b (nm)</i>	<i>Metal</i>	<i>Crystal Structure</i>	<i>Atomic Radius (nm)</i>
Aluminum	FCC	0.1431	Molybdenum	BCC	0.1363
Cadmium	HCP	0.1490	Nickel	FCC	0.1246
Chromium	BCC	0.1249	Platinum	FCC	0.1387
Cobalt	HCP	0.1253	Silver	FCC	0.1445
Copper	FCC	0.1278	Tantalum	BCC	0.1430
Gold	FCC	0.1442	Titanium (α)	HCP	0.1445
Iron (α)	BCC	0.1241	Tungsten	BCC	0.1371
Lead	FCC	0.1750	Zinc	HCP	0.1332

^aFCC = face-centered cubic; HCP = hexagonal close-packed; BCC = body-centered cubic.

^bA nanometer (nm) equals 10^{-9} m; to convert from nanometers to angstrom units (\AA), multiply the nanometer value by 10.

Karakteristik FCC:

- Struktur FCC mempunyai sebuah atom pada pusat semua sisi kubus dan sebuah atom pada setiap titik sudut kubus. Logam-logam yang memiliki struktur FCC: Cu, Al, Ag, Au, Fe (γ , Temp. 910-1400 °C)
- Sel satuan FCC mempunyai 4 buah atom, yang diperoleh dari jumlah delapan seperdelapan-atom pada delapan titik sudutnya plus enam setengah-atom pada enam sisi kubusnya ($8 \frac{1}{8} + 6 \frac{1}{2}$).



Gbr. Struktur FCC

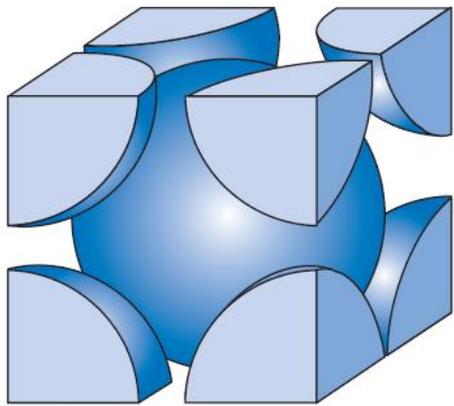
(a) Model bola pejal unit sel FCC

(b) Unit sel FCC digambarkan dengan bola padat kecil

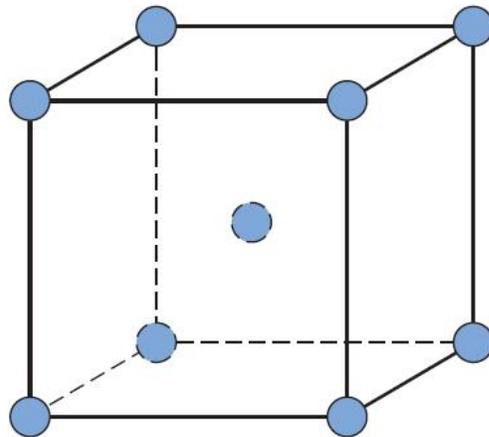
(c) Unit Sel FCC yang berulang dalam padatan kristalin

Karakteristik BCC:

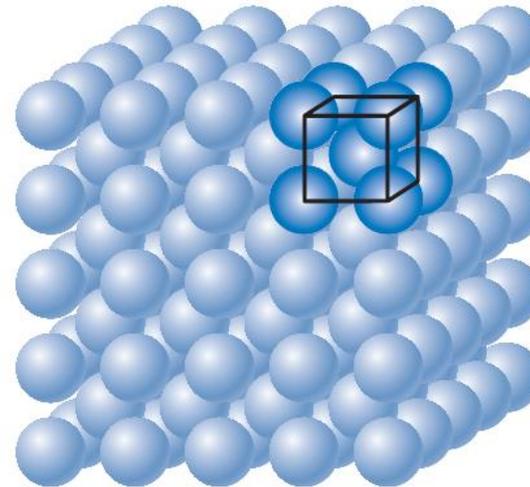
- Logam-logam dengan struktur BCC mempunyai sebuah atom pada pusat kubus dan sebuah atom pada setiap titik sudut kubus. Logam-logam yang memiliki struktur BCC: Cr, W, Mo, Fe (α , pada temp. kamar).
- Sel satuan BCC mempunyai dua (2) buah atom, yang diperoleh dari jumlah delapan seperdelapan atom pada delapan titik sudutnya plus satu atom pada pusat kubus ($8 \cdot \frac{1}{8} + 1$).



(a)



(b)



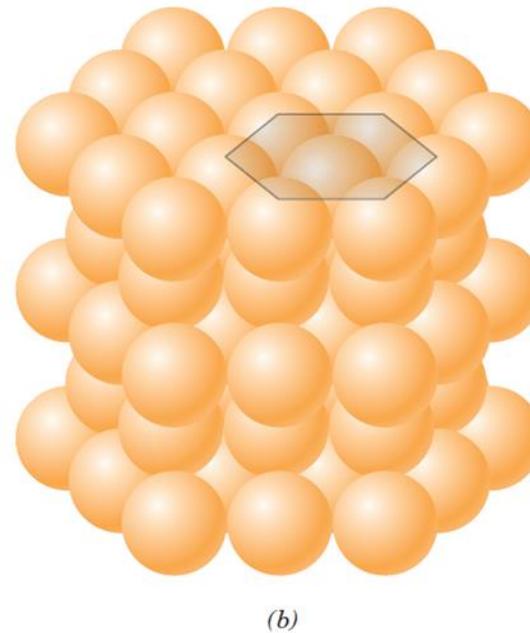
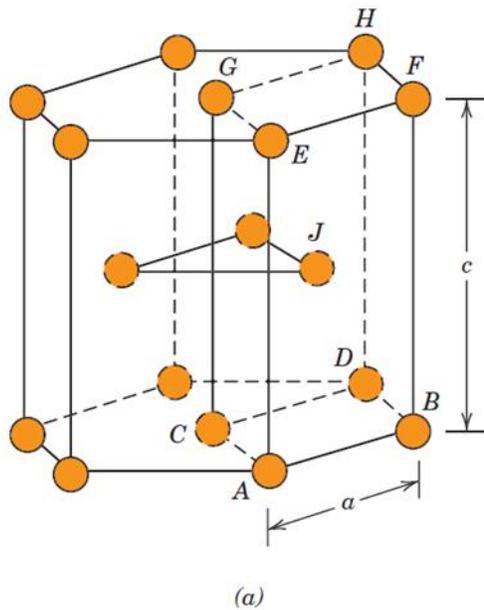
(c)

Gbr. Struktur BCC

(a) gambaran model bola pejal sel satuan BCC,
(b) Sel satuan BCC digambarkan dengan bola padat kecil,
(c) Sel satuan BCC yang berulang dalam padatan kristalin

Karakteristik HCP:

- Ciri khas logam–logam dengan struktur HCP adalah setiap atom dalam lapisan tertentu terletak tepat di atas atau dibawah sela antara tiga atom pada lapisan berikutnya. Contoh logam-logam dengan struktur HCP: Cd, Co, Ti, Zn.
- Sel satuan HCP mempunyai enam (6) buah atom, yang diperoleh dari jumlah dua-belas seperenam-atom pada dua belas titik sudut lapisan atas dan bawah plus dua setengah-atom pada pusat lapisan atas dan bawah plus tiga atom pada lapisan sela/tengah ($12 \frac{1}{6} + 2 \frac{1}{2} + 3$).



Gbr. Struktur HCP

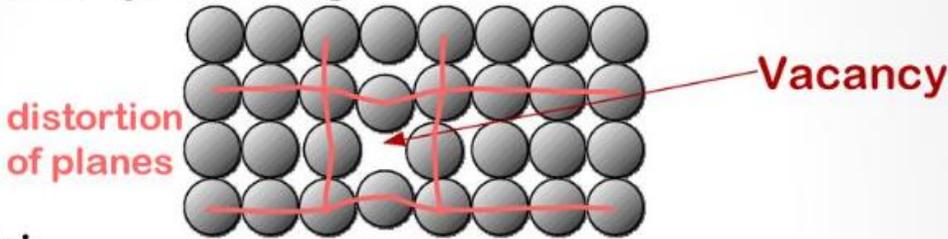
(a) sel satuan HCP digambarkan dengan bola padat kecil,
(b) sel satuan HCP yang berulang dalam padatan kristalin.

Cacat Kristal

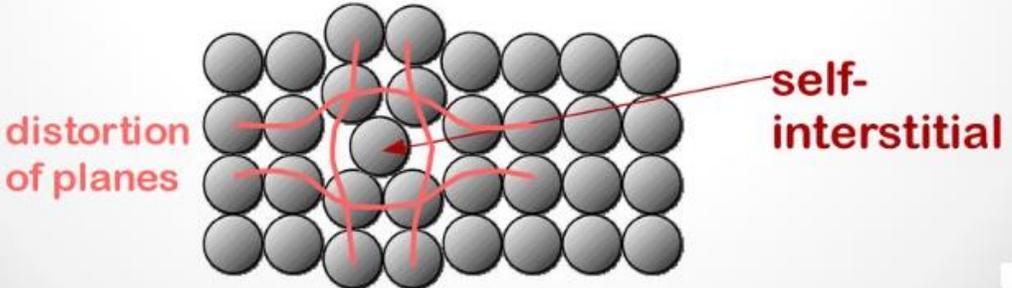
1) Cacat Titik (*Point Defect*)

- Cacat titik merupakan hasil dari penumpukkan yang salah sewaktu kristalisasi, atau dapat juga terjadi pada suhu tinggi, oleh karena meningkat energi termal.
- Bila energi termal tinggi memungkinkan bagi atom-atom untuk melompat meninggalkan tempatnya (dimana energi terendah) akan naik pula.

- **Kekosongan:**
 - Ada atom yang hilang sehingga tempat yang seharusnya diisi atom menjadi kosong



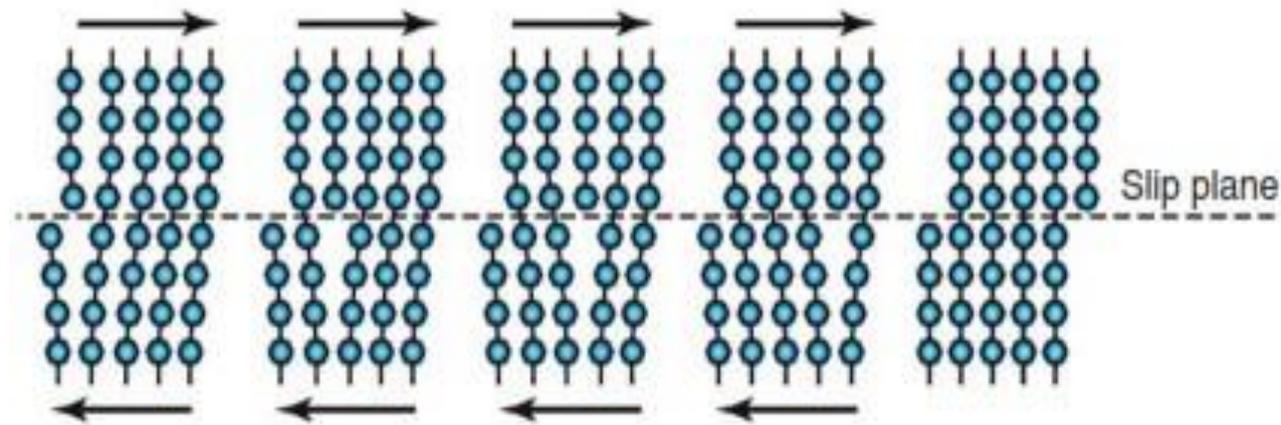
- **Interstisi:**
 - Ada atom menempati ruang diantara atom, yang pada kondisi normal tidak terisi



2) Cacat Garis (Dislokasi)

- Dislokasi adalah suatu pergeseran atau pergerakan atom-atom di dalam sistem kristal logam akibat tegangan mekanik yang dapat menciptakan deformasi plastis (perubahan dimensi secara permanen).
- Dislokasi bisa mudah bergerak dan juga bisa sulit bergerak. Misalnya pada proses pengerjaan dingin (*cold work*) terjadi peningkatan dislokasi di dalam kristal logam sehingga kekuatan logam meningkat, namun keuletan menurun.
- Terdapat 2 jenis Dislokasi:
 1. Dislokasi Sisi (*Edge Dislocation*) : penyimpangan kisi lokal yang terjadi di sekitar akhir extra half-plane (setengah bidang tambahan) dari atom.
 2. Dislokasi Ulir (*Screw Dislocation*) : dihasilkan dari penyimpangan geser.

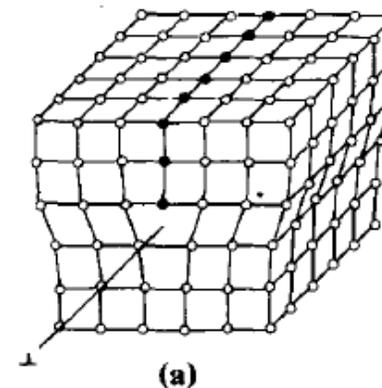
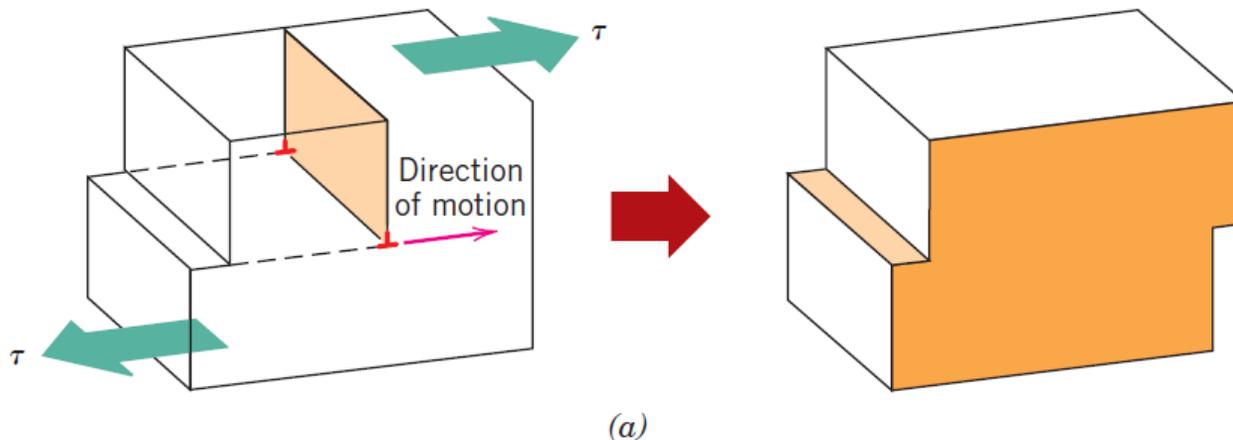
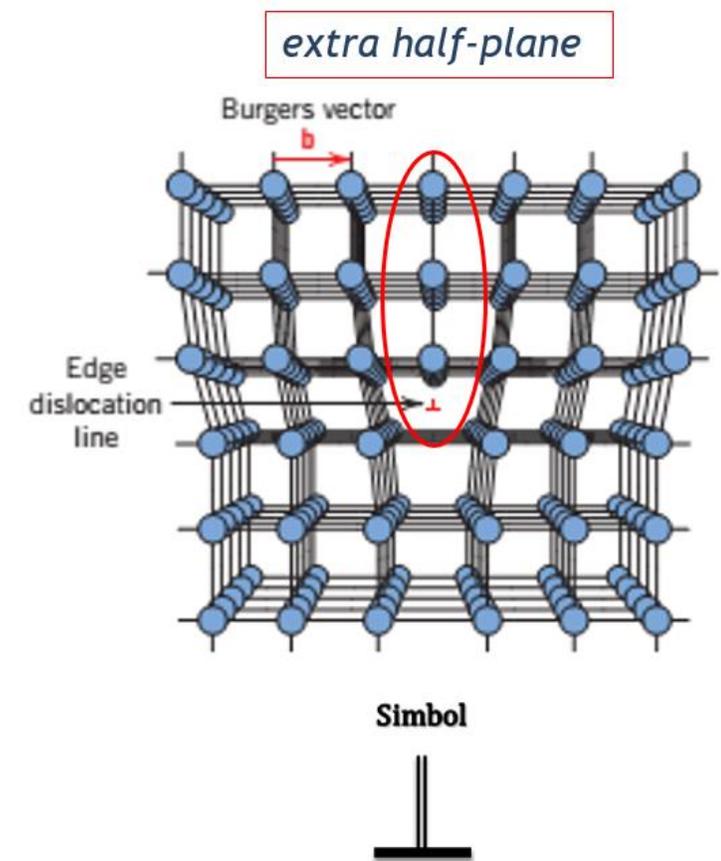
- Dislokasi adalah cacat pada keteraturan susunan struktur atom logam. Karena bidang slip yang mengandung dislokasi membutuhkan lebih sedikit tegangan geser untuk memungkinkan slip daripada yang dilakukan bidang dalam keadaan kisi sempurna.



Gbr. Pergerakan dislokasi sisi melintasi kisi kristal pada tegangan geser.

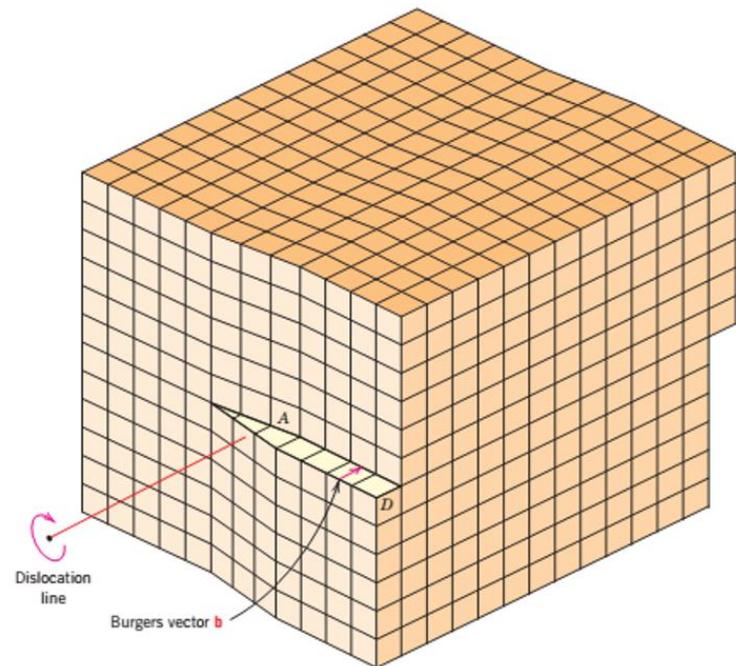
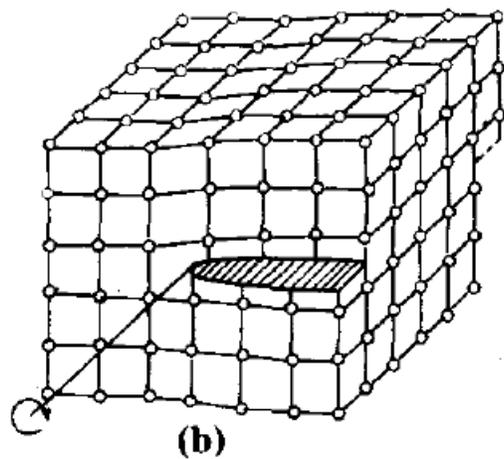
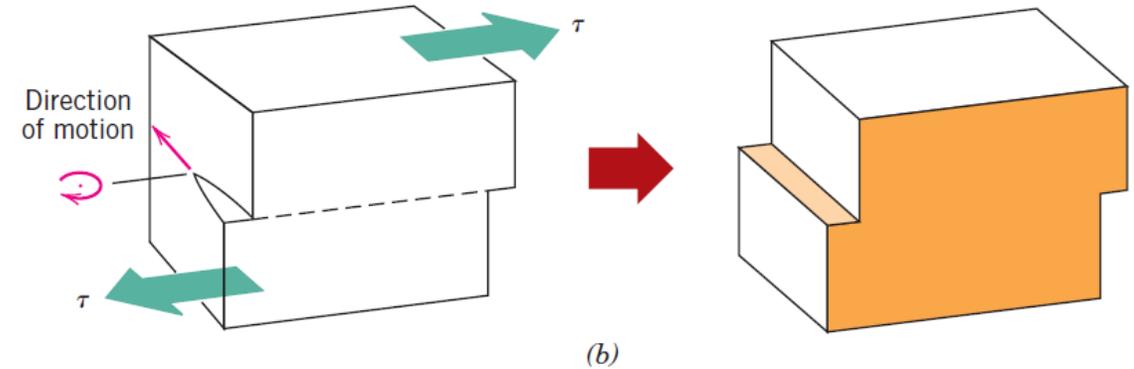
Dislokasi Sisi (*Edge Dislocation*)

- Garis dislokasi (*dislocation line*) bergerak searah dengan tegangan geser (τ) yang diterapkan.
- Untuk dislokasi sisi maka arah vektor burgernya sejajar dengan tegangan geser.
- Atom di atas garis dislokasi mengalami tekanan (kompresi), dan yang berada di bawah mengalami tegangan.

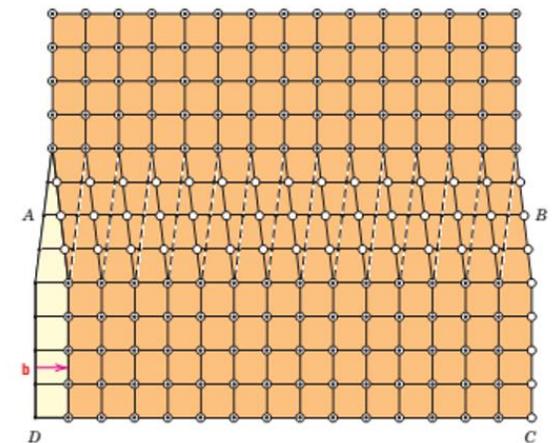


Dislokasi Ulir (*Screw Dislocation*)

- Terbentuk dari adanya tegangan geser.
- Bagian atas dari kristal bergeser satu atom ke kanan relatif terhadap bagian bawah.
- Gerakan garis dislokasi (*dislocation line*) tegak lurus dengan arah tegangan geser (τ).



Simbol

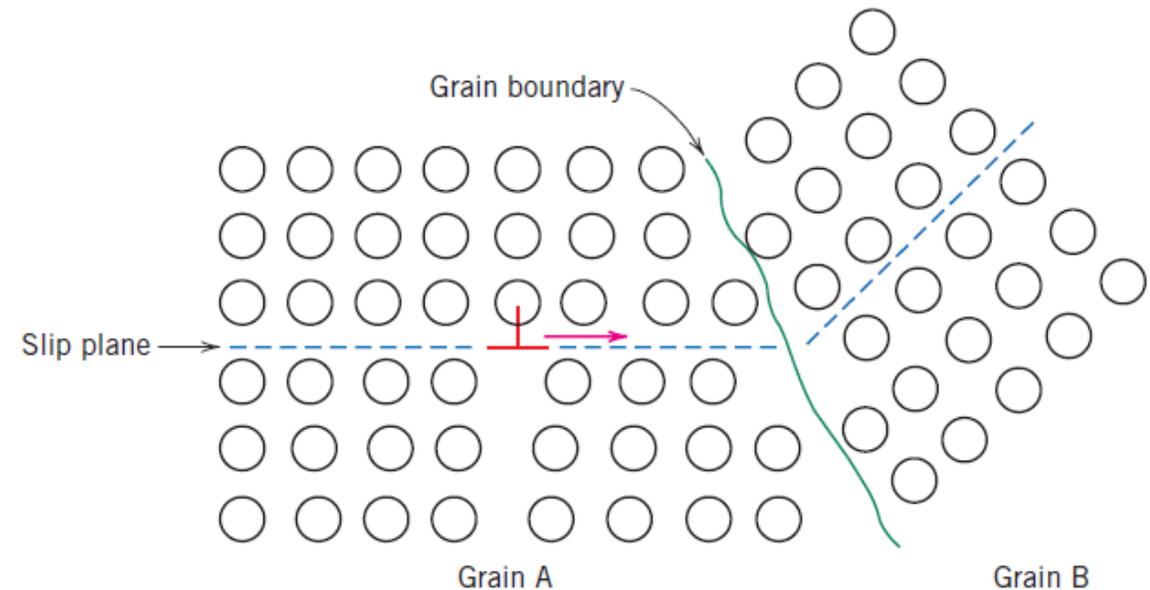


Mekanisme Penguatan Logam

- Mekanisme penguatan pada material logam merupakan hubungan antar pergerakan dislokasi dan sifat mekanik dari logam.
- Kemampuan suatu material logam untuk diubah secara plastis tergantung pada kemampuan dislokasi untuk dapat bergerak.
- Dengan mengurangi pergerakan dislokasi, kekuatan mekanik dapat di tingkatkan, dimana di sebabkan energi mekanik yang di butuhkan untuk membuat deformasi plastis akan semakin besar. Sebaliknya apabila pergerakan dislokasi tidak ada yang menahan, logam akan lebih mudah untuk terdeformasi.
- Mekanisme penguatan memiliki 3 metode yaitu **penghalusan butir (*grain-size reduction*)**, **penguatan larutan padat (*solid-solution strengthening*)**, dan **pengerasan regangan (*strain hardening*)**.

Penghalusan Butir (*Grain-size Reduction*)

- Penghalusan butir adalah salah satu cara yang efektif bagi penguatan yang dihasilkan dengan menghalangi pergerakan dislokasi di sekitar batas butir.
- Batas butir bertindak sebagai penghalang gerakan dislokasi karena dua alasan:
 1. Karena kedua butir memiliki orientasi yang berbeda, dislokasi yang melewati butir B harus mengubah arah gerakannya; ini menjadi lebih sulit karena misorientasi kristalografi meningkat.
 2. Gangguan atom dalam wilayah batas butir akan mengakibatkan terputusnya bidang slip dari satu butir ke butir lainnya.

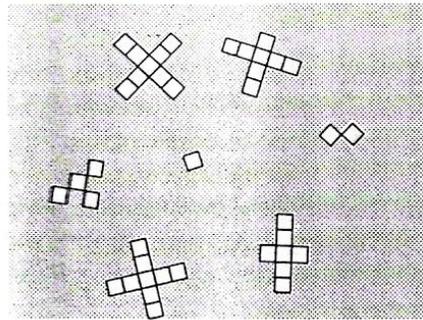


Dari penjelasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa penguatan dapat dilakukan dengan cara menghaluskan butir karena semakin halus ukuran butir menyebabkan semakin banyaknya keberadaan batas butir di suatu logam

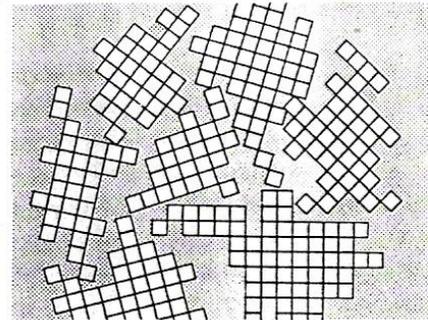
Butir

- Kumpulan sel satuan yang mempunyai orientasi sama.
- Kebanyakan kristal logam padat tersusun atas sejumlah banyak butir, dimana bahan seperti ini disebut dengan polikristal.

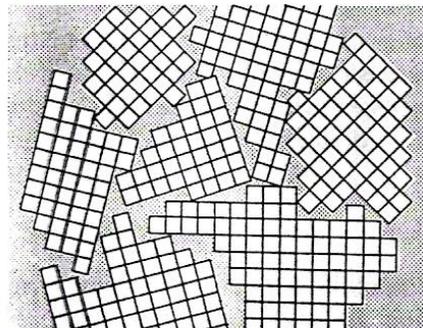
Tahapan proses pembekuan yang menggambarkan terbentuknya butir



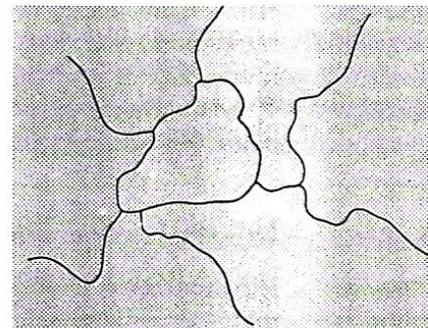
(a)



(b)



(c)



(d)

Metalografi

- **Metalografi** adalah ilmu yang mempelajari struktur mikro suatu logam dan karakteristiknya.
- Metalografi sangat penting untuk mengetahui ukuran butir, distribusi fasa, dan untuk mengetahui adanya inklusi (kotoran) dalam suatu logam.
- Faktor yang sangat mempengaruhi keberhasilan suatu proses metalografi menggunakan mikroskop optik adalah persiapan permukaan spesimen yang akan dilihat.
- Klasifikasi dari metalografi ada 2 yaitu: **Makrografi** dan **Mikrografi**

Makrografi mempelajari struktur logam dan paduannya menggunakan mata telanjang atau menggunakan lensa dengan perbesaran yang kecil sampai dengan 15 kali. Hasil pengamatannya dinamakan makrostruktur.

Tujuannya adalah untuk:

- Memunculkan ukuran, bentuk dan pengaturan butir kristal yang ada di dalam logam
- Memunculkan retakan yang mungkin ada selama proses fabrikasi logam
- Memunculkan serat/alur logam yang mengalami deformasi
- Memunculkan adanya pengkerutan (shrinkage), porositas dan lubang akibat adanya gas yang terjebak saat proses pengecoran
- Mencari tahu penyebab kegagalan suatu komponen (part)

Contoh Makrografi.

Sampel analisa kerusakan *pipe drill* yang mengalami kebocoran secara melintang mendekati area *radius pipe*



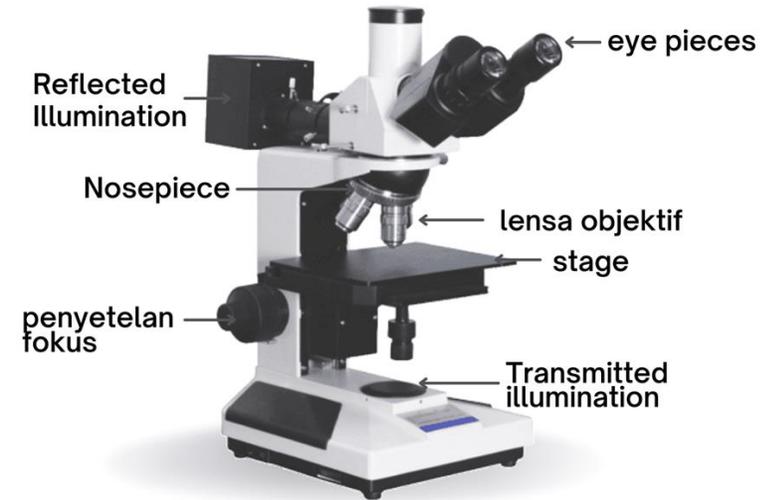
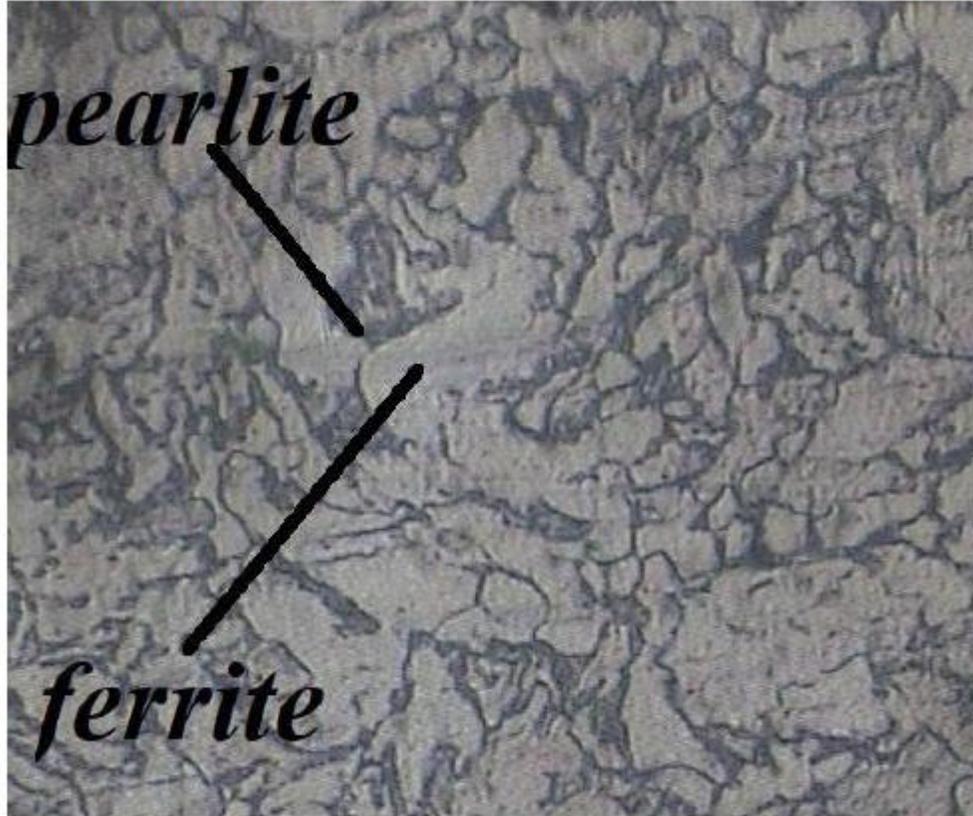
Mikrografi mempelajari struktur logam dan paduannya menggunakan mikroskop dengan perbesaran mulai dari 20 kali sampai dengan 2000 kali. Hasil pengamatannya disebut mikrostruktur. Sedangkan tujuannya adalah untuk:

- Menentukan kandungan unsur kimia yang ada di dalam paduan
- Menemukan cacat mikro
- Menentukan ukuran dan bentuk butir kristal
- Menunjukkan kualitas dari proses perlakuan panas (heat treatment), dll

Adapun langkah-langkah dalam mendapatkan mikrografi adalah sebagai berikut:

- Persiapan sampel/spesimen
- Proses pengamplasan menggunakan kertas amplas
- Proses poles (polishing) menggunakan larutan
- Proses etsa
- Pengamatan di bawah mikroskop optik dan melakukan interpretasi atas hasilnya

• *Raw Material*



Mikroskop Optik

Contoh Mikrografi Baja ST-40 dengan pembesaran 200x