

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1. *Bearing*

*Bearing* (bantalan) adalah elemen mesin yang menumpu poros yang mempunyai beban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan mempunyai umur yang panjang. *Bearing* harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya.

Secara umum *bearing* dapat diklasifikasikan berdasarkan arah beban dan berdasarkan konstruksi atau mekanismenya mengatasi gesekan. Berdasarkan arah beban yang bekerja pada bantalan, *bearing* dapat diklasifikasikan menjadi :

- Bantalan radial/*radial bearing*: menahan beban dalam arah radial
- Bantalan aksial/*thrust bearing*: menahan beban dalam arah aksial
- Bantalan yang mampu menahan kombinasi beban dalam arah radial dan arah aksial

Berdasarkan konstruksi dan mekanisme mengatasi gesekan, *bearing* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *slider bearing* (bantalan luncur) dan *roller bearing* (bantalan gelinding).

- Bantalan luncur yang sering disebut *slider bearing* atau *plain bearing* menggunakan mekanisme sliding, dimana dua permukaan komponen mesin saling bergerak relatif. Diantara kedua permukaan terdapat pelumas sebagai agen utama untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan. *Slider bearing* untuk beban arah radial disebut *journal bearing* dan untuk beban arah aksial disebut *thrust bearing*.
- Bantalan gelinding menggunakan elemen rolling untuk mengatasi gesekan antara dua komponen yang bergerak. Diantara kedua permukaan ditempatkan elemen gelinding seperti misalnya bola, rol, taper dan lain lain. Kontak gelinding terjadi antara elemen ini dengan komponen lain yang berarti pada permukaan kontak tidak ada gerakan relatif.

## 2.2. *Sliding Bearing* (Bantalan Luncur)

*Sliding bearing* memerlukan geseran langsung dari elemen yang membawa beban pada tumpuannya. Hal ini berbeda dengan *rolling-element bearings*, dimana bola atau *roller* dipasang diantara dua permukaan geser. *Sliding bearing* atau sering juga disebut *plain bearing* terdiri atas dua jenis yaitu:

(1) *Journal atau sleeve bearing*, yang bentuknya silindris dan menahan beban radial (yang tegak lurus terhadap sumbu poros).

(2) *Thrust bearing*, yang bentuknya biasanya datar, dimana pada kasus poros yang berputar, dapat menahan beban yang searah dengan sumbu poros.

Pada kasus poros yang berputar, bagian poros yang berkontak dengan bantalan disebut *journal*. Bagian yang datar pada bantalan yang melawan gaya aksial disebut *thrust surfaces*. Bantalan ini sendiri dapat disatukan dengan rumah atau *crankcase*. Tetapi biasanya berupa shell tipis yang dapat diganti dengan mudah dan yang menyediakan permukaan bantalan yang terbuat dari material tertentu seperti babbitt atau bronze. Ketika proses bongkar pasang tidak memerlukan pemisahan bantalan, bagian tertentu pada bantalan dapat dibuat sebagai sebuah dinding silindris yang ditekan pada lubang di rumah bantalan. Bagian bantalan ini disebut sebagai *bushing*.



Gambar 2.1 Contoh konstruksi *journal bearing* dan *thrust bearing*

## 2.3. Analisis Kegagalan *Journal Bearing*

Pada poros yang berputar tentunya tidak lepas oleh yang namanya *bearing*/bantalan karena *bearing* ini merupakan suatu benda yang dibuat untuk membantu kinerja komponen pada poros yang berputar. Oleh karena itu pada *bearing* teramat penting untuk mengetahui keandalannya, sehingga dapat mendukung kinerja komponen pada poros yang berputar secara maksimal. Keandalan dapat didefinisikan suatu kemampuan sebuah alat untuk melaksanakan suatu fungsi yang diperlukan (tanpa kegagalan) dalam keadaan yang ditentukan

untuk suatu jangka waktu yang ditentukan.

Kerusakan dapat terjadi pada awal pemakaian yang disebabkan karena kesalahan desain, produksi, dan instalasi, atau pada masa pakainya yang terjadi secara acak, atau karena umurnya maka menjadi usang, aus, dan lelah. Variable yang terpenting yang berkaitan dengan keandalan adalah waktu, terutama yang berkaitan dengan laju kerusakan (*failure rate*) yang dapat menjelaskan mengenai fenomena keandalan suatu sistem. MTBF (*mean time between failure*) ialah waktu rata – rata yang akan dijalani suatu sistem maupun komponen sebelum mengalami kegagalan maupun kerusakan. Waktu sangatlah penting karena sebagai variable untuk mengetahui keandalan suatu komponen, oleh sebab itu mencari nilai MTBF sangatlah penting untuk mengetahui keandalan komponen tersebut.

#### 2.4. Material bantalan luncur

Beberapa sifat yang dicari pada material bantalan adalah *relative softness* (untuk menyerap partikel asing), kekuatan yang cukup, *machinability* (untuk mempertahankan toleransi), *lubricity*, ketahanan temperatur dan korosi, dan pada beberapa kasus, porositas (untuk menyerap pelumas). Kekerasan material bantalan tidak boleh melebihi sepertiga kekerasan material yang bergesekan dengannya untuk mempertahankan *embedability* dari partikel abrasiv. Beberapa kelas material yang berbeda dapat digunakan sebagai bantalan, biasanya yang berbasis timbal, timah, dan tembaga. Aluminium sendiri bukan merupakan material yang baik untuk bantalan walaupun banyak digunakan sebagai bahan paduan untuk beberapa material bantalan.

##### ➤ Babbit

Semua famili logam berbasis timbal dan timah yang dikombinasikan dengan unsur lain sangat efektif terutama jika diproses dengan *electroplating* dalam bentuk lapisan tipis pada substrat yang lebih kuat seperti baja. Babbit merupakan contoh yang sangat umum pada famili ini dan biasa digunakan pada bantalan *crankshaft* dan *camshaft*. Lapisan babbit yang tipis akan mempunyai ketahanan *fatigue* yang lebih baik daripada lapisan babbit yang tebal, tetapi tidak dapat melekatkan partikel asing dengan baik. Karena babbit ini mempunyai temperatur peleburan yang rendah dan akan cepat rusak dalam kondisi pelumasan batas

(*boundary lubrication*), maka diperlukan pelumasan hidrodinamik atau hidrostatik yang baik.

➤ **Bronzes**

Famili paduan tembaga, terutama bronze, merupakan pilihan yang sangat baik untuk melawan baja atau besi cor. Bronze lebih lunak dibanding material *ferrous* tetapi mempunyai kekuatan, machinability, dan ketahanan korosi yang baik serta bekerja dengan baik melawan paduan besi jika dilumasi. Ada lima macam paduan tembaga yang biasa digunakan sebagai bantalan yaitu, *copper-lead*, *leaded bronze*, *tin bronze*, *aluminium bronze*, dan *beryllium copper*. Kekerasan paduan tembaga ini bervariasi mulai dari yang nilainya hampir sama dengan babbitt sampai dengan yang hampir sama dengan baja. Bushing bronze ini dapat bertahan dalam kondisi pelumasan batas (*boundary lubrication*) dan dapat menahan beban tinggi dan temperatur tinggi.

➤ **Besi Cor Kelabu dan Baja**

Besi cor kelabu dan baja merupakan material bantalan yang cukup baik untuk digunakan melawan sesamanya dalam kecepatan rendah. Grafit bebas pada besi cor menambah sifat *lubricity* tetapi pelumas cair tetap dibutuhkan. Baja juga dapat digunakan melawan baja jika keduanya dikeraskan dan diberi pelumasan. Ini merupakan pilihan yang biasa digunakan pada *rolling contact* di bantalan *rolling-element*. Bahkan baja dapat melawan semua material lain jika diberi pelumasan yang sesuai.

➤ **Material Non-Logam**

Beberapa jenis material non-logam memberikan kemungkinan untuk bekerja dalam kondisi kering jika material ini mempunyai sifat *lubricity* yang baik. Contohnya adalah grafit. Beberapa jenis material termoplastik seperti nilon, acetal, dan teflon memberikan koefisien gesek yang rendah terhadap logam manapun tetapi mempunyai kekuatan dan temperatur leleh yang rendah, yang jika digabungkan dengan konduktivitas panasnya yang buruk akan membatasi beban dan kecepatan yang bisa ditahan. Teflon mempunyai koefisien gesek yang rendah tetapi harus diberi *filler* untuk meningkatkan kekuatannya. Adapun *filler* yang biasa digunakan pada teflon adalah *inorganic fillers* seperti talc atau

serat kaca yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan, serbuk grafit dan MoS<sub>2</sub> yang dapat meningkatkan *lubricity*, kekuatan serta ketahanan temperaturnya. Kombinasi material poros dengan bantalan yang biasa digunakan pada prakteknya sangat terbatas.

## 2.5. Baja (Steel)

Baja merupakan paduan antara besi dan karbon dimana kadar karbonnya kurang dari 2%. Sedangkan untuk kadar karbon dari 2 hingga 6,67% disebut besi cor. Sifat – sifat mekanik baja sangat erat hubungannya dengan struktur mirronya. Sifat suatu baja dapat diubah dengan mengubah struktur mikronya melalui proses perlakuan panas (*Heat Treatment*), seperti *quenching*, *annealing*, *normalizing* dan *tempering*. Dalam proses pembuatan baja, akan terdapat unsur – unsur lain selain karbon yang akan tertinggal didalam baja seperti mangan (Mn), silikon (Si), kromium (Cr), vanadium (V), dan unsur lainnya. Dalam hal aplikasi, baja sering digunakan sebagai bahan baku untuk alat – alat perkakas, alat – alat pertanian, komponen otomotif, kebutuhan rumah tangga, dan lain – lain.

### 2.5.1 Baja Karbon

Baja karbon adalah baja yang sifat – sifatnya dipengaruhi oleh kadar karbonnya. Oleh karena itu, pada umumnya sebagian besar baja hanya mengandung karbon dengan sedikit unsur paduan lainnya. Berdasarkan kandungan karbon, baja karbon dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

#### a. Baja Karbon Redah (*Low Carbon Steel*)

Adalah baja yang mengandung kadar karbon kurang dari 0,025% C. Baja karbon rendah merupakan baja yang paling mudah diproduksi diantara semua karbon, mudah dilas, serta keuletan danketangguhannya sangat tinggi tetapi memiliki kekerasan yang rendah. Sehingga pada penggunaannya, baja jenis ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan komponen bodi mobil, struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, pagar, dan lain – lain.

#### b. Baja Karbon Sedang (*Medium Carbon Steel*)

Adalah baja yang mengandung karbon 0,025 hingga 0,5% C. baja karbon sedang memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan baja karbon rendah yaitu kekerasannya yang lebih tinggi, kekuatan tarik dan batas

regang yang tinggi, dapat dikeraskan dengan baik. Namun kekurangannya adalah tidak mudah dibentuk dan lebih sulit dilakukan pengelasan. Baja karbon sedang banyak digunakan untuk poros, rel kereta api, roda gigi, pegas, baut, komponen mesin yang membutuhkan kekuatan tinggi, dan lain – lain.

c. Baja Karbon Tinggi (*High Carbon Steel*)

Adalah baja yang mengandung karbon 0,5 hingga 1,7% C. baja karbon tinggi memiliki ketahanan terhadap panas yang tinggi, kekerasan yang tinggi, namun keuletannya rendah. Salah satu aplikasi baja karbon tinggi adalah kawat baja dan kabel baja. Berdasarkan jumlah karbon yang terkandung didalam baja, maka baja karbon tinggi banyak digunakan untuk pegas dan alat – alat perkakas seperti palu, gergaji, atau alay potong.

### 2.5.2 Baja Paduan

Baja paduan adalah baja yang sifatnya dipengaruhi oleh kadar karbon dan unsur – unsur paduan yang ditambahkan. Sebagai contoh paduan baja dengan Cr, Ni, Mn, V, dan W yang berguna untuk memperoleh sifat – sifat baja yang dikehendaki seperti sifat kekuatan, kekerasan, dan keuletan.

Berdasarkan kadar paduannya, baja paduan dibagi menjadi tiga macam, yaitu :

a. Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan elemen paduannya kurang dari 2,5% wt.

b. Baja Paduan Sedang (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan elemen paduannya diantara 2,5 hingga 10% wt.

c. Baja Paudan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan elemen paduannya lebih dari 10% wt.

Pada umumnya baja paduan mempunyai sifat yang unggul dibandingkan dengan baja karbon biasa diantaranya :

1. Keuletan yang tinggi tanpa pengurangan kekuatan tarik.

2. Tahan terhadap korosi dan keausan.
3. Tahan terhadap perubahan temperatur.
4. Memiliki butir yang halus.

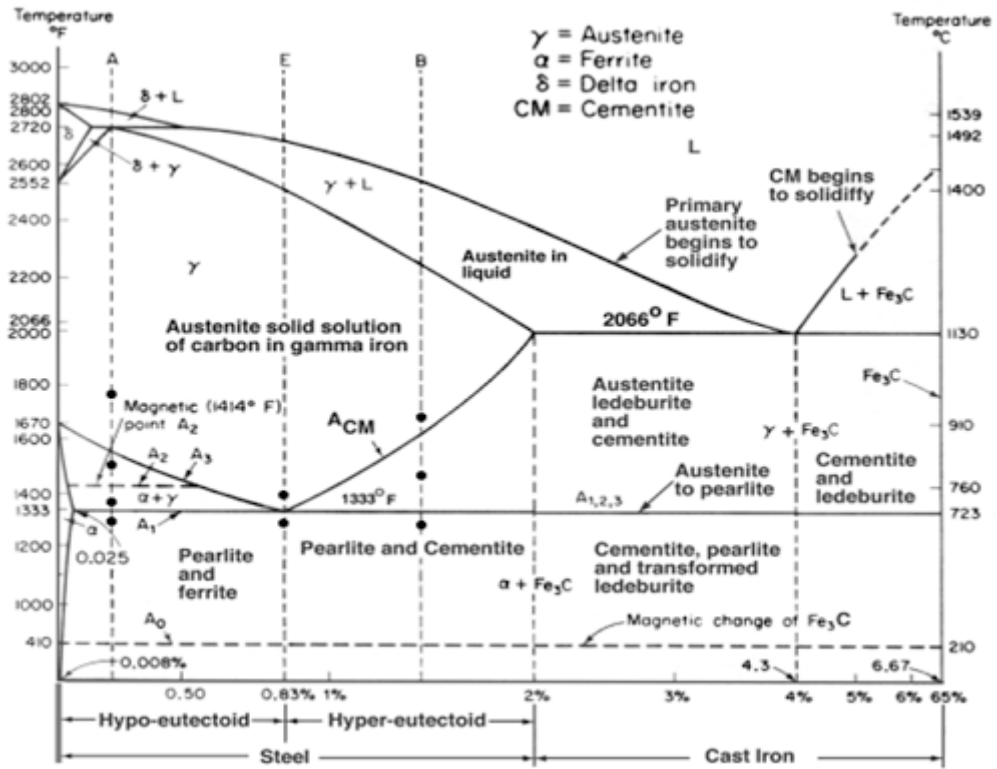
## 2.6. Diagram Fasa Fe – Fe<sub>3</sub>C

Fasa didefinisikan sebagai bagian dari bahan yang memiliki struktur atau komposisi tersendiri. Diagram fasa Fe – Fe<sub>3</sub>C atau biasa disebut dengan diagram kesetimbangan besi karbon merupakan diagram yang menjadi parameter untuk mengetahui segala jenis fasa yang terjadi dalam baja dengan segala perlakuannya. Diagram fasa berfungsi untuk memprediksi fasa – fasa yang terbentuk pada berbagai kondisi temperatur seiring dengan penambahan kadar karbon. Pada diagram fasa Fe – Fe<sub>3</sub>C timbul larutan padat ( $\alpha, \delta, \gamma$ ) atau disebut besi delta ( $\delta$ ), austenite ( $\gamma$ ), dan ferit ( $\alpha$ ).

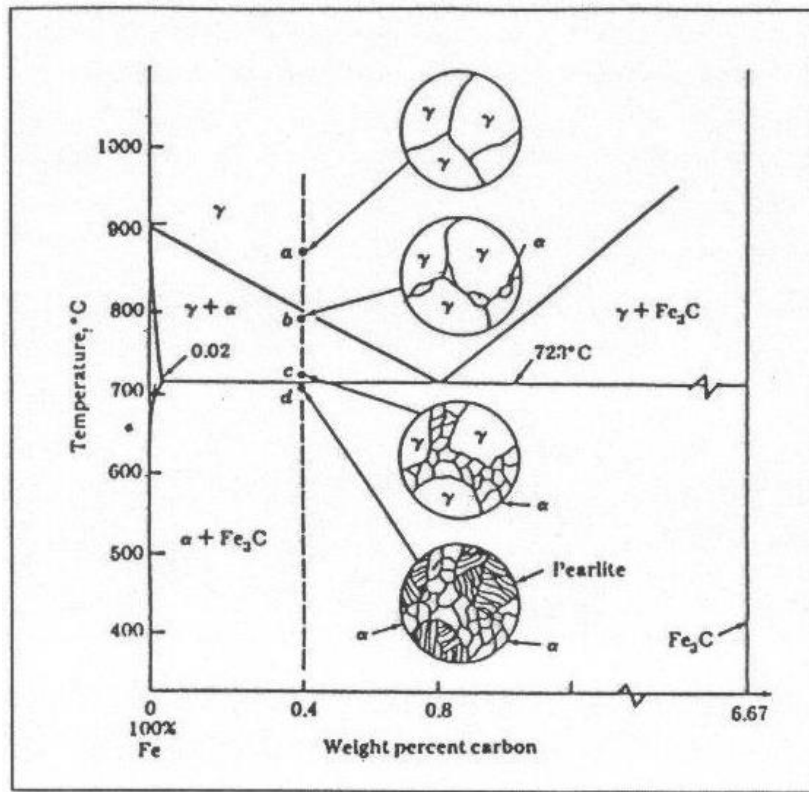
Karbon larut didalam besi dalam bentuk larutan padat (*solution*) hingga 0,05%, berat pada temperatur ruang. Baja dengan atom karbon terlarut hingga jumlah tersebut memiliki *alpha ferrite* pada temperatur ruang. Pada kadar karbon lebih dari 0,05% akan terbentuk endapan karbon dalam bentuk *hard metallic stoichiometric compound* (Fe<sub>3</sub>C) yang dikenal sebagai *cementite* atau *carbide*.

Selain larutan padat *alpha ferrite* yang dalam kesetimbangan dapat ditemukan pada temperatur ruang terdapat fasa – fasa penting lainnya, yaitu *delta ferrite* dan *gamma austenite*. Logam Fe bersifat *polymorphism* yaitu memiliki struktur Kristal berbeda pada temperature berbeda.

Pada Fe murni misalnya, *ferrite alpha* akan berubah menjadi *austenite gamma* saat dipanaskan pada temperatur 910 °C. Perubahan fasa dari temperature austenite sampai dibawah temperatur *eutectoid* pada komposisi *hypoeutectoid* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe – Fe<sub>3</sub>C

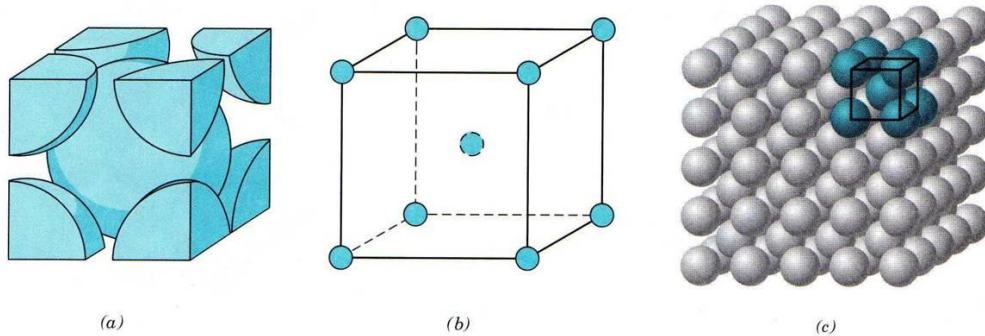


Gambar 2.3 Skematis Struktur Mikro Paduan Besi Karbon

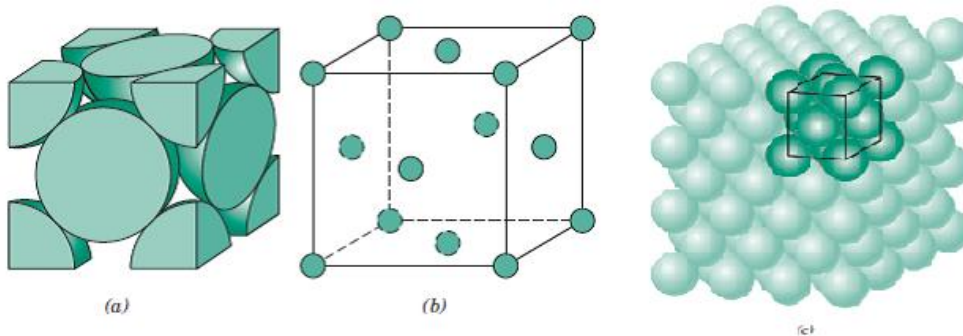
Pada temperatur yang lebih tinggi, mendekati 1400 °C *austenite gamma* akan



kembali berubah menjadi *ferrite delta*. Namun dalam hal ini, *ferrite delta* memiliki struktur Kristal BCC, sedangkan *austenite gamma* memiliki struktur Kristal FCC.



Gambar 2.4 Ilustrasi struktur Kristal BCC



Gambar 2.5 Ilustrasi struktur Kristal FCC

### 2.6.1 Ferrite

*Ferrite* adalah fasa larutan padat yang memiliki struktur Kristal BCC (*Body Centered Cubic*). Ferit dalam keadaan setimbang dapat ditemukan pada temperatur ruang, yaitu *alpha ferrite* atau pada temperatur tinggi yaitu *delta ferrite*. Secara umum fasa ini bersifat lunak, ulet, magnetic hingga temperature tertentu atau disebut dengan *curie*. Kelarutan karbon didalam fasa ini relatif lebih kecil dibandingkan dengan kelarutan karbon dalam fasa larut padat didalam baja. Pada temperatur ruang, kelarutan karbon dalam *alpha ferrite* hanyalah sekitar 0,05 %. Berbagai jenis baja dan besi tuang dibuat dengan mengeksploitasi sifat – sifat *ferrite*. Baja lembaran berkadar karbon rendah dengan fasa tunggal ferit misalnya, banyak diproduksi untuk proses pembenukan logam lembaran. Dewasa ini bahkan telah dikembangkan baja berkadar karbon ultra rendah untuk karakteristik mampu bentuk yang baik. Kenaikan kadar karbon secara umum dapat meningkatkan sifat – sifat mekanik sebagaimana telah dibahas sebelumnya. Untuk paduan baja dengan fasa tunggal *ferrite*, factor lain yang berpengaruh signifikan terhadap sifat

– sifat mekanik adalah ukuran butir.

### 2.6.2 Pearlite

*Pearlite* adalah suatu paduan lamellar dari *ferrite* dan *cementite*. Konstituen ini terbentuk dari dekomposisi *austenite* melalui reaksi *eutectoid* pada keadaan setimbang, dimana lapisan *ferrite* dan *cementite* terbentuk secara bergantian untuk menjaga keadaan kesetimbangan komposisi *eutecoid*. *Pearlite* memiliki struktur yang lebih keras daripada *ferrite*, yang terutama disebabkan oleh adanya fasa *cementite* dalam bentuk lamel – lamel.

### 2.6.3 Austenite

*Austenite* memiliki struktur atom FCC (*Face Centered Cubic*). Dalam keadaan setimbang, fasa *austenite* ditemukan pada temperature tinggi. Fasa ini bersifat *non magnetic* dan ulet, pada temperature tinggi. Kelarutan atom karbon didalam larutan padat *austenite* lebih besar jika dibandingkan dengan kelarutan atom karbon fasa *ferrite*. Secara geometri, dapat dihitung perbandingan besarnya ruang intersisi dalam fasa *austenite* dan fasa *ferrite*. Perbedaan ini dapat digunakan untuk menjelaskan fenomena transformasi fasa pada saat pendinginan yang berlangsung secara cepat.

### 2.6.4 Cementite

*Cementite* atau *carbide* dalam sistem paduan berbasis besi adalah *stoichiometric intermetallic*  $Fe_3C$  yang keras dan getas. *Cementite* sebenarnya dapat terurai menjadi bentuk yang lebih stabil yaitu Fe dan C sehingga sering disebut sebagai fasa metastabil. *Cementite* sangat penting peranannya dalam dalam membentuk sifat - sifat akhir baja. *Cementite* dapat berada dalam sistem baja dalam berbagai bentuk seperti bentuk bola, lembaran atau partikrl – partikel karbida kecil. Bentuk, ukuran, dan distribusi karbon dapat direkayasa melalui siklus pemanasan atau pendinginan.

### 2.6.5 Martensite

*Martensite* adalah konstituen yang terbentuk tanpa melalui proses difusi. Konstituen ini terbentuk saat *austenite* didinginkan secara sangat cepat, misalnya melalui proses *quenching* pada medium air. Transformasi berlangsung pada

kecepatan tinggi mendekati orde kecepatan suara, sehingga tak memungkinkan terjadi proses difusi karbon. Fasa *martensite* adalah fasa yang metastabil yang akan membentuk fasa yang lebih stabil apabila dilakukan proses perlakuan panas. *Martensite* yang keras dan getas diduga terjadi karena proses transformasi secara mekanik akibat adanya atom karbon yang terperangkap pada struktur Kristal pada saat terjadi transformasi *polimorf* dari FCC ke BCC. Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon didalam FCC dan BCC serta ruang intersisi maksimum pada kedua struktur Kristal tersebut.

## 2.7. Perlakuan Panas (*Heat Treatment*)

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat atau dapat dilunakan untuk memudahkan proses pemesinan lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis. Proses perlakuan panas pada baja terbagi menjadi beberapa jenis antara lain *annealing*, *normalizing*, *quenching* dan *tempering*.

### 2.7.1 *Annealing*

*Annealing* adalah proses pelunakan logam dengan cara memanaskan logam diatas garis kritis dan dibiarkan beberapa saat, lalu didinginkan dengan pendinginan yang sangat lambat (didalam tungku). Tujuan dari *annealing* yaitu melunakan logam untuk meningkatkan ketangguhan, menghaluskan ukuran butir dan untuk mengurangi kekerasan pada material agar memudahkan proses pemesinan.

### 2.7.2 *Normalizing*

*Normalizing* adalah proses normalisasi pada baja dengan memanaskan logam diatas garis kritis, lalu didinginkan pada temperatur ruang. Tujuan dari *normalizing* untuk baja *hypo eutectoid* adalah untuk mengembalikan ukuran butir

yang telah menjadi kasar karena proses pengerjaan panas atau pengerolan dingin, sedangkan untuk baja *hyper eutectoid* adalah untuk melarutkan karbida.

### 2.7.3 Quenching

*Quenching* adalah proses pendinginan secara cepat dari temperature austenisasi. Pada baja karbon rendah tidak akan terjadi *martensite*, sedangkan untuk baja karbon medium dan baja paduan, fasa *martensite* akan terbentuk. Kandungan karbon yang tinggi akan menggeser kurva isothermal. Proses *quench* untuk baja karbon medium dan tinggi diperoleh fasa *austenite* sisi. Semakin tinggi kadar karbon pada suatu baja maka *austenite* sisi akan semakin banyak pada struktur mikronya.

### 2.7.4 Tempering

*Tempering* adalah proses pemanasan kembali setelah proses *quenching* untuk memperoleh sifat – sifat yang sesuai terutama sifat mekaniknya. Tujuannya adalah untuk menyesuaikan sifat mekanik dan mengurangi sifat kegetasan. Temperatur *tempering* yang rendah dapat menghilangkan tegangan sisa akibat proses *quenching* ataupun proses pemesinan.

Proses *tempering* seharusnya segera dilakukan setelah proses *quenching*, setelah temperaturnya mencapai 50 – 70 °C. Jika sampai temperatur kamar dikhawatirkan terjadi retakan akibat pembentukan *martensite* pada temperature dibawah 50 °C. Proses *tempering* dapat menggunakan tungku *muffle furnace* atau *salt bath*.

## 2.8. Logam Putih / Babbitt

Logam putih atau Babbitt dikenal sebagai bahan yang paling baik untuk bahan bantalan karena kekerasannya yang lebih rendah yaitu berada diantara 23 – 33 HV dari *shaft* serta mempunyai sifat mampu bentuk dan mampu benamnya yang lebih baik dibanding dengan material – material lain yang digunakan sebagai bantalan.

Logam putih atau babbitt ini pertama kali ditemukan pada tahun 1839 oleh Isaac Babbitt yang membuat komposisi sekitar : Sn = 89 %, Sb = 9 % dan Cu = 2 %. Untuk membedakan komposisi ini dengan penomoran yang ditemukan kemudian maka komposisi diatas disebut sebagai "*Genuine babbitt*".

Logam ini digunakan secara luas pada mesin – mesin diesel kapal laut, turbin,

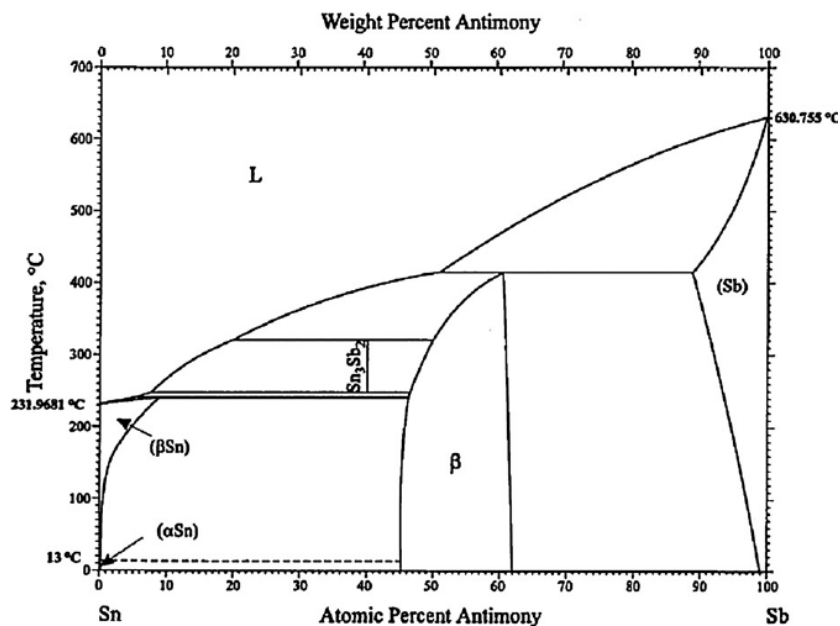
alternator dan peralatan – peralatan yang berputar. Babbit dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

1. High Tin – Alloy
2. High Lead - Alloy
3. Intermediate Alloy

Babbitt ini merupakan paduan Sn sebagai bahan utama dengan Pb, Sb, dan Cu. Bahan ini digunakan untuk melapisi *bearing* yang mempunyai titik lebur selitar 300°C serta mempunyai sifat ikatan yang baik dengan logam yang dilapisi. Logam Babbitt memiliki sifat – sifat, yaitu :

1. *Anti Friction* / tahan gesekan
2. *Anti Las*
3. Mampu menahan minyak lumas
4. Keuletan yang tinggi
5. Mampu membenamkan kotran atau partikel – partikel yang halus
6. Daya tahan listrik yang baik
7. Daya tahan karat yang baik

Logam Babbit dipakai untuk bahan *bearing* (*bearing metal*). *Bearing* (bantalan) adalah bagian mesin yang berfungsi meneruskan /memindahkan beban antara dua permukaan yang saling bergesekan. Sedangkan bantalan (*bearing*), yaitu bantalan luncur (*sliding contact bearing*) dan bantalan gelinding (*rolling contact bearing*). Pada umumnya logam babbit dipakai untuk bantalan luncur.



Gambar 2.6 Diagram fasa Sn - Sb

Sementara itu untuk membedakan komposisi Sn, Sb, dan juga Cu dengan penomoran yang ditemukan kemudian, maka komposisi di atas disebut sebagai “*Genuine Babbitt*”. Komposisi serta sifat fisik dari paduan timah putih yang digunakan untuk bantalan menurut ASTM B23 ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2.1 ASTM Specification ASTM B-23

CHEMICAL COMPOSITION (%)	TIN - BASE				LEAD - BASE			
	ALLOY NUMBER (GRADE)							
	1	2	3	11	7	8	13	15
<b>TIN</b>	90.0 to 92.0	88.0 to 90.0	83.0 to 85.0	86.0 to 89.0	9.3 to 10.7	4.5 to 5.5	5.5 to 6.5	0.8 to 1.2
<b>ANTIMONY</b>	4.0 to 5.0	7.0 to 8.0	7.5 to 8.5	6.0 to 7.7	14.0 to 16.0	14.0 to 16.0	9.5 to 10.5	14.5 to 17.5
<b>LEAD</b>	0.35	0.35	0.35	0.50	Remainder	Remainder	Remainder	Remainder
<b>COPPER</b>	4.0 to 5.0	3.0 to 4.0	7.5 to 8.5	5.0 to 6.5	0.50	0.50	0.50	0.6
<b>IRON</b>	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
<b>ARSENIC</b>	0.10	0.10	0.10	0.10	0.30 to 0.60	0.30 to 0.60	0.25	0.8 to 1.4
<b>BISMUTH</b>	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
<b>ZINC</b>	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
<b>ALUMINUM</b>	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
<b>CADMIUM</b>	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>TOTAL NAMED ELEMENTS, Min.</b>	99.80	99.80	99.80	99.80				

1. All values not given as ranges are maximum unless shown otherwise
2. Alloy Number 9 was discontinued in 1946 and number 4, 5, 6, 10, 11, 12, 16 and 19 Were discontinued in 1959. A new number 11.
3. To be determined by difference

Tabel 2.2 Composition and Physical properties of white metal bearing alloy

Alloy Number	Specified Nominal Composition Alloys, %					Specific Gravity	Composition of Alloys Tested, %				Yield Point, MPa	
	Tin	Antimony	Lead	Copper	Arsenic		Tin	Antimony	Lead	Copper	20 °C	100 °C
1	91.0	4.5		4.5		7.34	90.9	4.52	None	4.56	30.3	18.3
2	89.0	7.5		3.5		7.39	89.2	7.4	0.03	3.1	42.0	20.6
3	84.0	8.0		8.0		7.46	83.4	8.2	0.03	8.3	45.5	21.7

7	10.0	15.0	Remainder		0.45	9.73	10.0	14.5	53.0	0.11	24.5	11.0
8	5.0	15.0	Remainder		0.45	10.04	5.2	14.9	79.4	0.14	23.4	12.1
15	1.0	16.0	Remainder		1.0	10.05						

Alloy Number	Johnson's Apparent Elastic Limit, MPa		Ultimate Strength in Compression		Brinell Hardnes		Melting Point (°C)	Temperature of Complete Liquefaction (°C)	Proper Pouring Temperature (°C)
	20 °C	100 °C	20 °C	100 °C	20 °C	100 °C			
1	16.9	7.2	88.6	47.9	17.0	8.0	223	371	441
2	23.1	7.6	102.7	60.0	24.5	12.0	241	354	424
3	36.9	9.0	121.3	68.3	27.0	14.5	240	422	491
7	17.2	9.3	107.9	42.2	22.5	10.5	240	268	338
8	18.3	8.3	107.6	42.4	20.0	9.5	237	272	341
15					21.0	13.0	248	281	350

Paduan grade 1, 2, serta 11 kandungan timah hitam (Pb) dibatasi maksimum 0.5%, hal ini dikarenakan Pb dan Sn pada konsentrasi tertentu akan membentuk *eutectic* dengan titik cair 180 °C. Struktur mikro paduan yang mengandung tembaga sekitar 0,5% hingga 4% dan antimoni sekitar 8%, membentuk senyawa intermetalik  $Cu_6Sn_5$  yang berbentuk jarum dan endapan partikel – partikel SnSb yang berbentuk bulat yang halus dan tersebar. Pendinginan yang cepat menghasilkan struktur yang lebih halus sehingga akan meningkatkan kekuatan serta elongasinya.

Adapun pengaruh unsur – unsur yang lain adalah sebagai berikut :

- Seng (Zn) : Secara umum tidak memberikan pengaruh yang besar, tetapi pada temperature sekitar 60 °C dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi.
- Arsen (As) : Meningkatkan ketahanannya terhadap deformasi pada kondisi temperatur yang lebih tinggi.
- Aluminum (Al) : Sedikit aluminum, walaupun dibawah 1% dapat mengubah struktur mikronya.
- Bismuth (Bi) : Dengan Sn akan membentuk titik *eutectic* yang dapat mencair pada temoeratur 135 °C.

## 2.9 Identifikasi Material

Identifikasi pada material dapat dilakukan dengan melakukan pengujian pada material uji. Dengan melakukan pengujian, sifat-sifat material yang diuji dapat diketahui. Untuk mengidentifikasi suatu material dapat dilakukan pengujian mekanis,

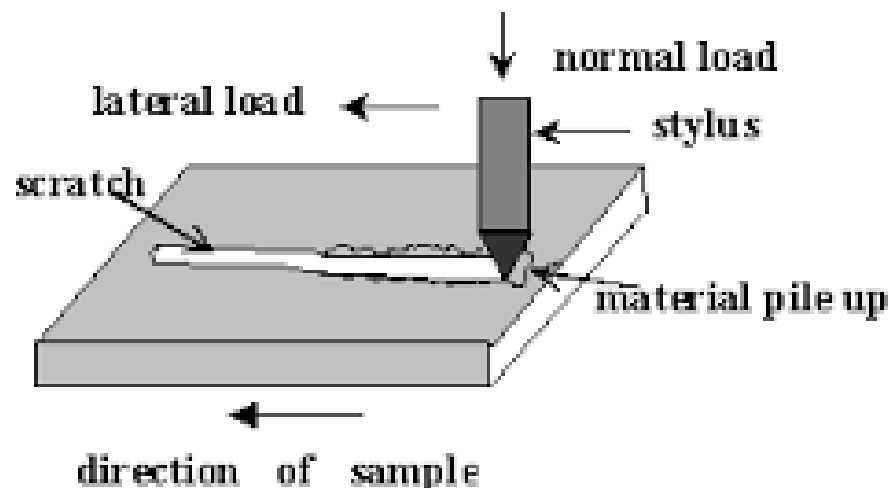
fisik dan kimia. Uji mekanis meliputi uji keras, uji impact, uji tarik, uji jominy dan lain-lain. Uji fisik dilakukan dengan uji metalografi dan uji kimia dilakukan dengan uji komposisi dengan *spectrometri test*.

### 2.9.1 Uji Keras

Pada umumnya, kekerasan adalah kemampuan untuk menahan deformasi atau gaya luar yang diberikan pada suatu material, dan untuk logam dengan sifat tersebut merupakan ukuran ketahanannya terhadap deformasi plastis. Terdapat 3 jenis umum mengenai ukuran kekerasan yang tergantung pada cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah :

#### 1. Dengan cara goresan (*scratch hardness*)

Kekerasan goresan merupakan perhatian utama para ahli mineral. Dengan mengukur kekerasan, berbagai mineral dan bahan-bahan lain, disusun berdasarkan kemampuan goresan satu terhadap yang lain. Kekerasan goresan diukur sesuai dengan skala Mohs. Skala ini terdiri atas 10 standar mineral disusun berdasarkan kemampuannya untuk digores. Mineral yang paling lunak pada skala ini adalah talk yang mempunyai kekerasan 1, sedangkan intan mempunyai kekerasan 10.



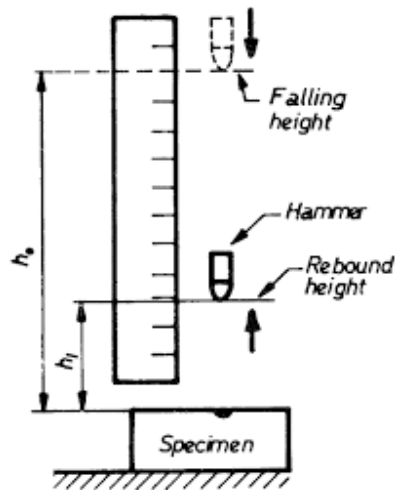
Gambar 2.7 Skematis *scratch hardness*

#### 2. Dengan cara dinamik (*dynamic hardness*)

Pada pengukuran kekerasan dinamik, biasanya penumbuk dijatuhkan ke permukaan logam dan kekerasan dinyatakan sebagai energi tumbukannya. Skeleroskop shore (*shore scleroscope*) yang merupakan contoh paling



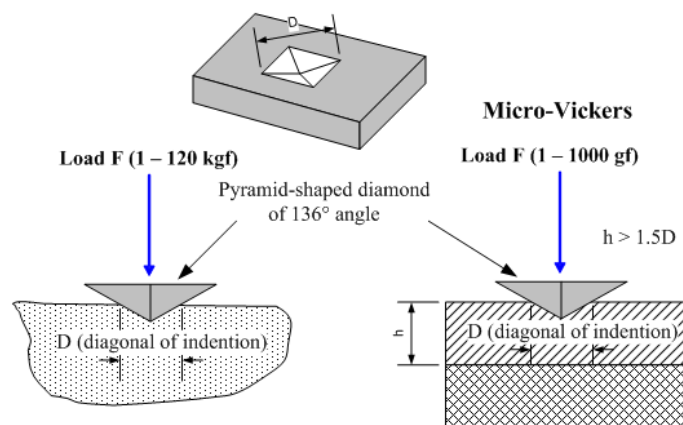
umum dari suatu alat pengujian kekerasan dinamik, mengukur kekerasan yang dinyatakan dengan tinggi lekukan atau tinggi pantulan.



Gambar 2.8 Skematis *dynamic hardness*

### 3. Dengan cara penekanan (*indentation hardness*)

Umumnya digunakan untuk bahan-bahan logam, cara ini adalah cara Brinell, Vickers dan Rockwell.



Gambar 2.9 Skematis *indentation hardness dengan metoda Vickers*

#### 2.9.2 X-Ray Fluorescence (XRF)

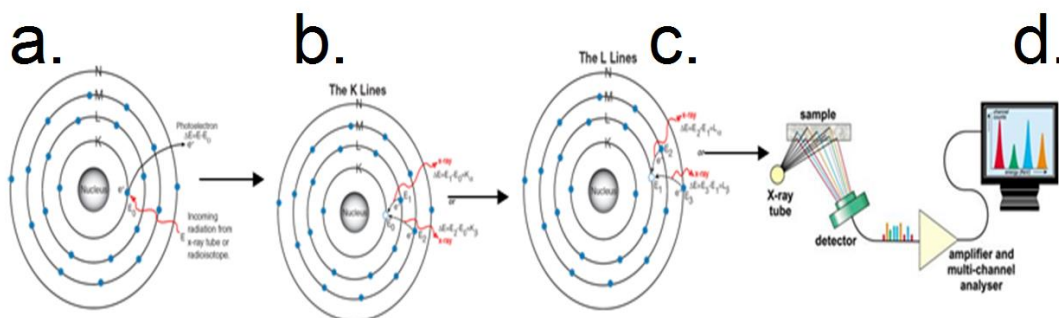
XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur – unsur yang terkandung dalam suatu sampel dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang

terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi dalam bahan.

Terdapat 2 jenis XRF yaitu WDXRF (Wave Length XRF) dan EDXRF (Energy Dispersive XRF). Secara umum perbedaan kedua ini adalah :

WDXRF	EDXRF
Lebih besar, lebih kompleks. Menggunakan <i>water chiller</i> (pendingin X-Ray tube)	Lebih kecil, lebih sederhana. Tidak menggunakan <i>water chiller</i>
Analisa B (5) – U (92). Lebih sensitive, lebih akurat. Menggunakan <i>vacuum pump</i>	Analisa Na (11) – U (92). <i>Vacuum pump optional</i>
Unggul pada analisa unsur ringan (B-Mg) dibandingkan EDXRF	Analisa unsur berat (K – U) hasil hamper sama dengan WDXRF
Menggunakan gas p10 (Argon – methane), He (optional, untuk analisa cairan	Menggunakan He (optional, untuk unsur ringan Na – Cl)

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan karakteristik sinar-X yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek foto listrik terjadi karena *electron* dalam atom target pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (radiasi gamma, sinar-X) berikut penjelasannya :



Gambar 2.10 Prinsip kerja XRF

1. Elektron di kulit K terpental keluar dari atom akibat radiasi sinar X yang datang. Akibatnya, terjadi kekosongan/vakansi electron pada orbital (Gambar a.)

2. Elektron dari kulit L atau M “turun” untuk mengisi vakansi tersebut disertai oleh emisi sinar X yang khas dan meninggalkan vakansi lain di kulit L atau M (gambar b.)
3. Saat vakansi terbentuk di kulit L, electron di kulit M atau N “turun” untuk mengisi vakansi tersebut sambil melepaskan sinar X yang khas (gambar c.)
4. Spektrometri XRF memanfaatkan sinar X yang dipancarkan oleh bahan yang selanjutnya ditangkap *detector* untuk dianalisis kandungan unsur dalam bahan (gambar d.)

Selain dari pada itu terdapat juga beberapa keunggulan dan keterbatasan dari pengujian XRF ini, yaitu :

#### **Keunggulan XRF :**

1. Mudah digunakan dan sampel dapat berupa padat, serbuk (butiran) dan cairan.
2. Tidak merusak sampel (*Non Destructive Test*), sampel utuh dan analisa dapat dilakukan berulang – ulang.
3. Banyak unsur yang dapat di analisa sekaligus (Na – U).
4. Konsentrasi di ppm hinngga kadar dalam %.
5. Hasil keluar dalam beberaoa detik (hingga beberapa menit, tergantung aplikasi)
6. Menjadi metoda analisa unsur standara dengan banyaknya metoda analisa ISO dan ASTM yang mengacu pada analisa XRF.

#### **Keterbatasan XRF :**

1. Tidak dapat mengetahui senyawa apa yang dibentuk oleh unsur – unsur yang terkandung dalam material yang akan kita teliti.

### **2.9.3 Pengamatan Metalografi**

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur, dan persentase campuran logam tersebut. Dalam proses pengujian metalografi, pengujian logam dibagi lagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Pengujian makro (*macroscope test*)

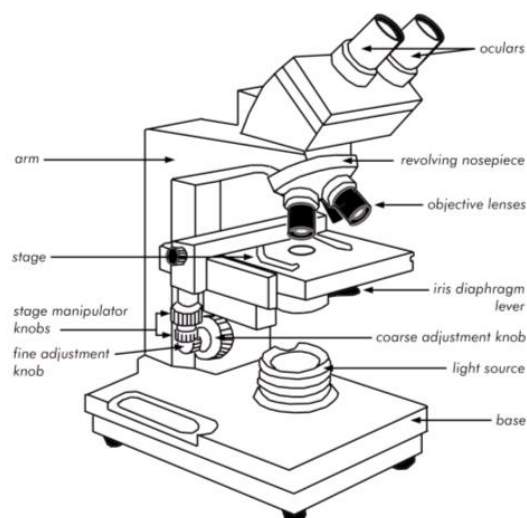
Pengujian makro ialah proses pengujian material yang menggunakan mata terbuka dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan material. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 hingga 50 kali.



Gambar 2.11 Pengambilan gambar makro dengan kamera digital

## 2. Pengujian mikro (*microscope test*)

Pengujian mikro ialah proses pengujian terhadap material logam yang bentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Sedemikian halusnya sehingga pengujiannya memerlukan kaca pembesar lensa mikroskop yang memiliki kualitas perbesaran antara 50 hingga 3000 kali.



Gambar 2.12 Skematis *microscope*