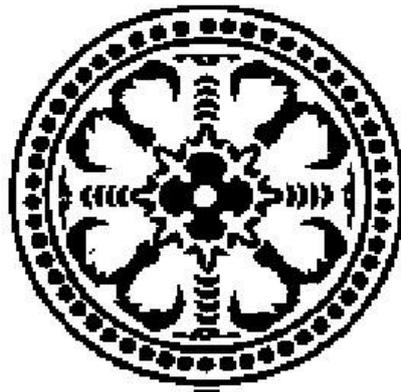


**DIKTAT**  
**PENGETAHUAN MATERIAL TEKNIK**



OLEH  
DR. IR. I KT. SUARSANA, MT

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS UDAYANA**  
**DENPASAR 2017**

# DAFTAR ISI

## **BAB I PENDAHULUAN**

- 1.1 Peranan Bahan dan Teknologi Dalam Kehidupan Manusia
- 1.2 Klasifikasi Bahan
- 1.3 Aspek Pemilihan Bahan dalam Desain

## **BAB II SIFAT MEKANIK BAHAN**

- 2.1 Klasifikasi sifat bahan Teknik
- 2.2 Sifat-sifat Mekanik Bahan Teknik
- 2.3 Pengujian Sifat mekanik Bahan

## **BAB III SIFAT BAJA**

- 3.1 Klasifikasi Baja
- 3.2 Kodifikasi
- 3.3 Pengaruh Unsur paduan
- 3.4 Pengaruh terhadap ferrit
- 3.5 Pengaruh terhadap diagram fase
- 3.6 Pengaruh terhadap diagram transformasi
- 3.7 Pengaruh pada tempering
- 3.8 Sifat dan pemakaian baja paduan

## **BAB IV LOGAM-LOGAM BUKAN BESI**

- 4.1 Tembaga (Cu)
- 4.2 Aluminium (AL)
- 4.3 Nikel
- 4.4 Magnesium

## **BAB V KOROSI DAN PENCEGAHANNYA**

- 5.1 Pengertian Korosi
- 5.2 Mekanisme dan macam-macam bentuk korosi
- 5.3 Sel Galvanik (Cell Galvanik )
- 5.4 Klasifikasi bentuk korosi

## **BAB VI BAHAN BUKAN LOGAM**

- 6.1 Klasifikasi Bahan non logam
- 6.2 Keramik
- 6.3 Plastik (Polimer)
- 6.4 Composite Material

## **DAFTAR PUSTAKA**



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Peranan Bahan dan Teknologi Dalam Kehidupan Manusia**

Bahan-bahan yang terdapat disekitar kita di alam dan bahan buatan telah menjadi bagian dari kehidupan manusia dan sering dianggap sebagai suatu hal yang wajar. Sumber daya yang mendasar bagi kehidupan manusia seperti bahan makanan, energi, perumahan dan informasi lainnya sangat dibutuhkan untuk kelangsungan hidup. Bahan-bahan yang telah terjalin dalam kehidupan manusia, tidak saja merupakan bagian dari kehidupan kita namun sangat penting bagi kesejahteraan manusia, masyarakat dalam kehidupan bernegara.

Berkembangnya ilmu dan teknologi, di satu pihak menuntut tersedianya berbagai bahan dengan persyaratan-persyaratan yang semakin tinggi, di lain pihak pemakai menuntut pula persyaratan-persyaratan perilaku dan pola kehidupan masyarakat manusia. Antara manusia dan teknologi ada interaksi yang kuat. Manusia menciptakan teknologi, tetapi manusia sendiri harus menyesuaikan diri dengan teknologi hasil ciptaannya. Sementara ini persediaan bahan-bahan yang diperlukan manusia untuk mengembangkan kehidupannya melalui teknologi hasil ciptaannya semakin terasa keterbatasannya. Ini akan menuntut pemakai bahan menjadi lebih efektif dan efisien. Untuk pemakaian bahan yang efektif dan efisien maka perlu dikenali dengan baik segala macam sifat bahan, disamping itu perlu memiliki wawasan yang lebih luas mengenai bahan yang tersedia, tidak hanya mengandalkan pemakaian salah satu jenis bahan saja tetapi perlu juga melihat kemungkinan digunakannya jenis bahan yang lain. Manusia dituntut tidak fanatic terhadap salah satu bahan dan juga tidak apriori terhadap suatu bahan, bahkan juga dituntut untuk lebih kreatif dalam memilih dan menggunakan bahan.

Bila kita ingin memusatkan perhatian dalam bidang ilmu bahan pada spectrum ini, maka kita harus mendalami mengenisifat bahan, menghasilkan teori dan pengertian mengenai hubungan antara struktur dan komposisi, sifat dan kelakuan suatu bahan. Teknologi merupakan bagian dari spectrum yang berkaitan dengan sintesa dan memanfaatkan pengetahuan dasar maupun empiris untuk

mengembangkan, mempersiapkan, mengubah dan menggunakan bahan untuk tujuan tertentu.

## 1.2 Klasifikasi Bahan

Bahan teknik adalah bahan-bahan yang memiliki sifat atau ciri-ciri khas yang dapat dimanfaatkan oleh para ahli teknik dalam memperlancar melaksanakan tugas dan rekayasa keteknikannya.

Pada garis besarnya bahan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Bahan Logam
  - a. Logam Besi (Ferrous)
  - b. Logam non besi (Non Ferrous)
2. Bahan Non Logam
  - a. Plastik (Polimer)
  - b. Keramik (Ceramic)
  - c. Komposit (Composite)

Pada perkembangan teknologi dewasa ini, teknik mesin pada umumnya lebih dominan memerlukan bahan yang terbuat dari logam dan paduannya terutama logam ferrous yang memegang peranan sangat penting, tetapi bahan-bahan lainya juga tidak bisa diabaikan. Bahan-bahan non logam sering kali juga digunakan karena bahan-bahan tersebut mempunyai ciri-ciri khas yang tidak dimiliki oleh bahan logam. Juga perkembangan teknologi menuntut adanya penggantian logam dengan bahan lain seperti plastik, yang sudah banyak digunakan dalam konstruksi mesin, bahan dari keramik misalnya digunakan mulai dari berbagai abrasive, pahat potong, batu tahan api, dan lainya.

Perkembangan bahan ferrous telah mencapai kemajuan yang sangat pesat, dengan terlihat banyaknya besi atau bajayang telah diproduksi dan dengan kualitas yang semakin tinggi. Tetapi perkembangan teknologi juga menuntut pula penggunaan berbagai jenis logam non ferrous seperti tembaga, aluminium, seng nikel dan lainnya. Penggunaan bahan dalam perkembangan teknologi maju misalnya memerlukan sifat kekuatan yang tinggi seperti tambahan serat grafit, serat glass dan beberapa serat logam lainnya.

Dengan adanya penemuan beberapa serat maka dapat mendorong timbulnya berbagai macam bahan-bahan komposit, erupkan kombinasi dari dua

atau lebih bahan-bahan dengan sifat yang berbeda dan menghasilkan bahan yang memiliki sifat lebih baik dari sifat bahan induknya. Komposit bisa didapat dari kombinasi dari logam dengan keramik, logam dengan plastik, keramik dengan plastik dan lainnya.

### **1.3 Aspek Pemilihan Bahan dalam Desain**

Pemilihan bahan untuk keperluan bukan suatu hal yang sulit, asalkan tidak disertai dengan berbagai persyaratan, seperti misalnya mudah diperoleh, mudah dikerjakan atau diproses sehingga menghasilkan mutu yang sesuai dengan spesifikasi dan harga yang murah.

Sebenarnya prinsip pemilihan bahan sederhana saja hanya perlu mempertimbangkan syarat-syarat sifat yang diminta oleh desain konstruksi dengan sifat-sifat kemampuan bahan yang dapat dipergunakan. Cuma saja dalam petentuan persyaratan masih ada kesulitan mungkin informasi tentang bahan yang tersedia tidak lengkap atau informasi tentang sifat bahan belum lengkap ada.

Walaupun informasi itu sudah lengkap mungkin saja akan dijumpai bahwa tidak ada bahan yang mampu memenuhi semua persyaratan. Dalam hal ini perlu diadakan suatu pemilihan ulang dengan mengurangi persyaratan lagi sehingga didapat suatu pilihan yang optimum.

Biasanya persyaratan yang diminta oleh suatu desain konstruksi meliputi sifat-sifat sebagai berikut :

1. Sifat mekanik meliputi: kekuatan, ketanguhan, kekerasan, keuletan kegetasan dan lainnya.
2. Sifat fisik seperti heat conductivity, electrical conductivity, heat expansion, dimensi dan struktur mikro.
3. Sifat Kimia seperti : tahan korosi, aktivitas terhadap bahan kimia.
4. Dan lain-lainya

Faktor-faktor lain yang juga harus dipertimbangkan dalam desain adalah

- a. Teknologi yang tersedia untuk pengolahan bahan tersebut sampai menjadi produk yang siap digunakan.
- b. Faktor ekonomis misal : harga bahan produk, ongkos produk, harga material, dll

- c. Availability dari bahan, seperti apakah bahan tersedia di pasaran, dimana dapat diperoleh seberapa banyak bahan yang tersedia.

Proses pemilihan bahan seringkali juga dapat disederhanakan misalnya dengan mempersempit daerah pemilihan, dengan memberi prioritas pada yang biasa digunakan untuk konstruksi yang sejenis. Seperti misalnya pada teknik permesinan baja karbon akan mendapat prioritas pertama untuk dipertimbangkan (karena dalam konstruksi biasanya orang banyak menggunakan baja karbon, mudah diperoleh, harga relatif murah), baru kemudian bila baja karbon tidak memenuhi syarat dicoba mempertimbangkan penggunaan bahan-bahan lain, seperti baja paduan, besi cor, paduan non besi.



## **BAB II**

# **SIFAT MEKANIK BAHAN**

### **2.1. Klasifikasi sifat bahan Teknik**

Untuk dapat menggunakan bahan teknik dengan tepat, maka harus dikenali dengan baik sifat-sifat bahan teknik yang mungkin akan dipilih untuk dipergunakan. Sifat-sifat ini tentunya sangat banyak macamnya, karena sifat ini dapat ditinjau dari berbagai segi/bidang keilmuan, misalnya ditinjau dari Ilmu Kimia akan diperoleh sekelompok sifat-sifat kimia, demikian juga bila ditinjau dari segi fisika dan sebagainya. Tentunya tidak semua sifat tersebut di atas perlu dipertimbangkan dalam pemilihan bahan untuk suatu keperluan. Dalam dunia Teknik Mesin biasanya sifat mekanik memegang peranan sangat penting, di samping beberapa sifat kimia (terutama sifat tahan korosi), sifat thermal dan sifat fisik. Korosi merupakan masalah yang sangat serius dalam dunia teknik, dan akan dibahas tersendiri. Dari kelompok sifat fisik, density (berat jenis) kadang-kadang perlu dipertimbangkan. Strukturmikro biasanya perlu dipelajari secara khusus, karena strukturmikro berkaitan erat dengan sifat-sifat lain, seperti kekuatan, keuletan, sifat tahan korosi dll. Untuk komponen yang nantinya akan terkena panas tentunya sifat thermal menjadi penting. Panas jenis (specific heat), thermal conductivity dan thermal expansion sering kali harus diperhitungkan.

### **2.2. Sifat-sifat Mekanik Bahan Teknik**

Sifat mekanik adalah salah satu sifat terpenting, karena sifat mekanik menyatakan kemampuan suatu bahan (tentunya juga komponen yang terbuat dari bahan tsb) untuk menerima beban/gaya/energi tanpa menimbulkan kerusakan pada bahan/komponen tsb. Seringkali bila suatu bahan mempunyai sifat mekanik yang baik tetapi kurang baik pada sifat yang lain maka diambil langkah untuk mengatasi kekurangan tersebut dengan berbagai cara. Misalnya saja baja, baja mempunyai sifat mekanik yang cukup baik (memenuhi syarat untuk suatu pemakaian) tetapi mempunyai sifat tahan korosi yang kurang baik, maka seringkali sifat tahan korosinya ini diperbaiki dengan pengecatan atau galvanising

dan lainnya, jadi tidak harus mencari bahan lain yang selain kuat juga tahan korosi. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

1. *Kekuatan (strength)* menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis beban yang bekerja, yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan kekuatan torsi dan kekuatan lengkung.
2. *Kekerasan (hardness)* dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*). Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
3. *Kekenyalan (elasticity)* menyatakan kemampuan bahan untuk menerima beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu benda mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi hanya bersifat sementara, perubahan bentuk itu akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan, tetapi bila tegangan yang bekerja telah melampaui batas tersebut maka sebagian dari perubahan bentuk itu tetap ada walaupun tegangan telah dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastis yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
4. *Kekakuan (stiffness)* menyatakan kemampuan bahan menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.
5. *Plastisitas (plasticity)* menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastik (yang permanen) tanpa mengakibatkan fatah. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembenlukan seperti forging, rolling, extruding dan lainnya. Sifat ini sering juga disebut sebagai keuletan (*ductility*). Bahan yang mampu

mengalami deformasi plastik cukup banyak dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan tinggi, bahan yang ulet (*ductile*). Sedang bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastik dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan rendah atau getas (*brittle*).

6. *Ketangguhan (toughness)* menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap energi tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit diukur.
7. *Kelelahan (fatigue)* merupakan kecenderungan pada logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekuatan elastiknya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.
8. *Merangkak (creep)* merupakan kecendrungan suatu logam untuk meng-alami deformasi plastik yang besarnya merupakan fungsi waktu, pada saat bahan tadi menerima beban yang besarnya relatif tetap.

Berbagai sifat mekanik di atas juga dapat dibedakan menurut cara pembebanannya, yaitu sifat mekanik *statis*, sifat terhadap beban statik, yang besarnya tetap atau berubah dengan lambat, dan sifat mekanik *dinamik*, sifat mekanik terhadap beban yang berubah-ubah atau mengejut. Ini perlu dibedakan karena tingkah laku bahan mungkin berbeda terhadap cara pembebanan yang berbeda.

### **2.3. Pengujian Sifat mekanik Bahan**

Untuk mengetahui sifat bahan/logam perlu dilakukan pengujian. Pengujian biasanya dilakukan terhadap sample uji bahan yang dipersiapkan menjadi spesimen atau batang uji (*test piece*) dengan bentuk dan ukuran yang standar. Demikian juga prosedur pengujian harus dilakukan dengan cara-cara yang standar (mengikuti suatu standar tertentu), baru kemudian dari hasil pengukuran pada pengujian diambil kesimpulan mengenai sifat mekanik yang diuji.

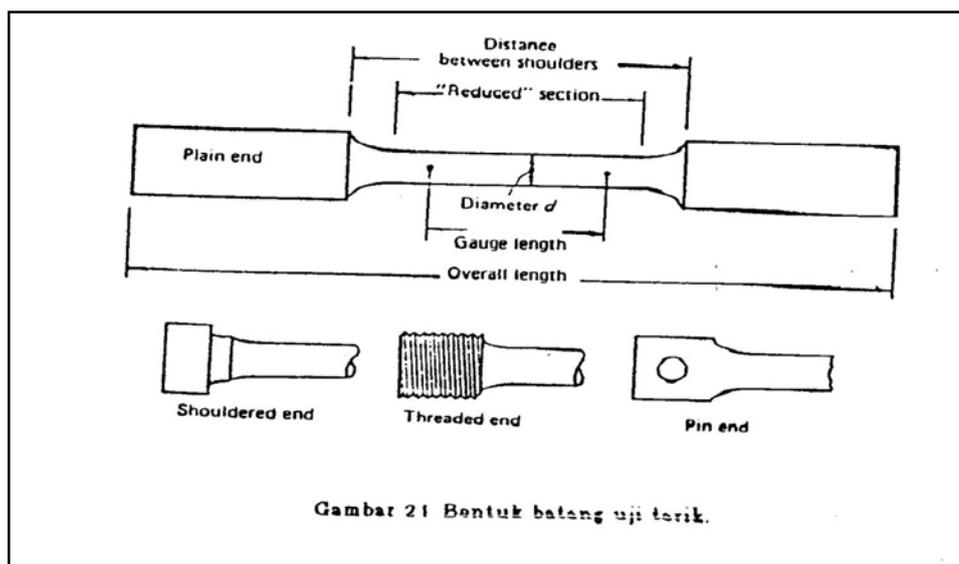
Sebenarnya hasil pengujian yang paling mendekati kenyataan akan dapat diperoleh bila pengujian dilakukan terhadap benda komponen atau keseluruhan

konstruksi dengan bentuk dan ukuran sebenarnya (*full-scale*) dan pengujian dilakukan dengan pembebanan yang mendekati keadaan yang sebenarnya. Tetapi cara ini terlalu mahal, tidak praktis dan bahkan kadang-kadang sulit dianalisis.

Beberapa pengujian mekanik yang banyak dilakukan adalah pengujian tarik (*tensile test*), pengujian kekerasan (*hardness test*), pengujian pukul-takik (*impact test*), kadang-kadang juga pengujian kelelahan (*fatigue test*), *creep test*, *bending test*, *compression test* dan beberapa *fabrication test*.

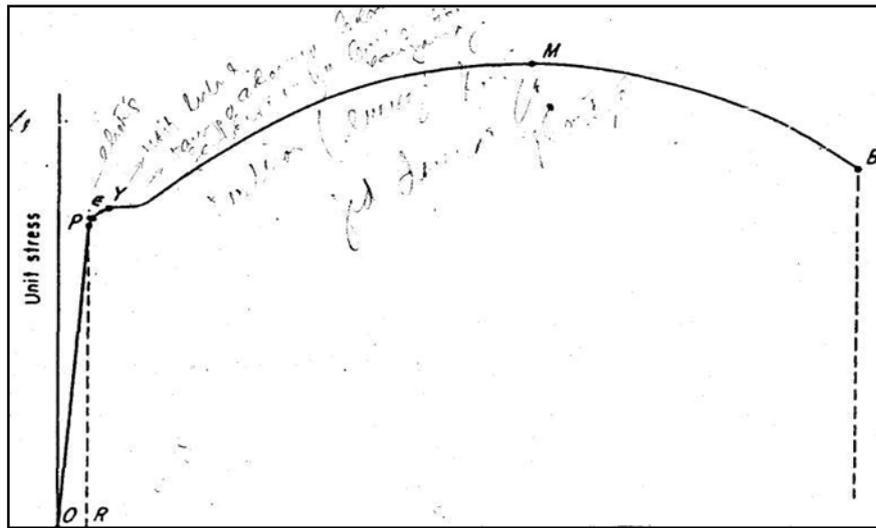
### **Pengujian Tarik (*Tensile test*)**

Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap spesimen/batang uji yang standar. Bahan yang akan diuji tarik, mawal dibuat menjadi batang uji dengan bentuk sesuai dengan suatu standar uji. Salah satu bentuk batang uji dapat dilihat pada gambar 2.1. Pada bagian tengah dari batang uji (pada bagian yang paralel) merupakan bagian yang menerima tegangan yang uniform, dan pada bagian ini disebut panjang ukur (*gauge length*), yaitu bagian yang dianggap menerima pembebanan, bagian ini yang selalu diukur panjangnya selama proses pengujian. Batang uji ini dipasang pada mesin tarik, dijepit dengan pencekam dan di tarik pada ujung-ujungnya ke arah memanjang secara perlahan, pada penarikan setiap saat dicatat/tercatat dengan grafik yang tersedia pada uji tarik, besarnya gaya tarik yang bekerja dan besarnya pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat dari gaya tarik tersebut. Penarikan berlangsung sampai batang uji putus.



Gambar 2.1 Bentuk batang uji tarik.

Gambar 2.1 Bentuk batang uji tarik



Gambar 2.2 grafik beban dan *pertambahan panjang* (grafik P-AL)

Data yang diperoleh dari mesin tarik biasanya dinyatakan dengan grafik beban dan *pertambahan panjang* (grafik P-AL). Grafik ini masih belum banyak digunakannya karena hanya menggambarkan kemampuan batang uji (bukan kemampuan tarik) untuk menerima beban/gaya. Untuk dapat digunakan menggambarkan sifat ini secara umum, maka grafik P - AL harus dijadikan grafik lain yaitu suatu diagram Tegangan - Regangan (*Stress - strain*), disebut juga suatu diagram  $\sigma - \epsilon$ , kadang-kadang juga disebut Diagram Tarik. Pada saat batang uji menerima beban sebesar P leg maka batang uji (yaitu mg uji) akan bertambah panjang sebesar AL mm, saat itu pada batang uji bekerja *tegangan* yang besarnya :

$$\sigma = P/A_0$$

dimana  $A_0$  = luas penampang batang uji mula-mula

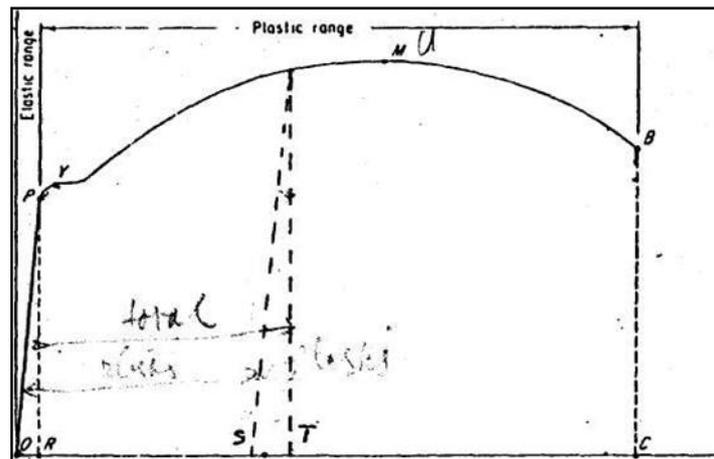
Juga pada saat itu pada batang uji terjadi *regangan* yang besarnya :

$$\epsilon = AL/L_0 = (L - L_j)/L_0$$

dimana  $L_0$  = panjang "panjang uji" mula-mula

$L$  = panjang "panjang uji" saat menerima beban

Tegangan dituliskan dengan satuan  $\text{kg/mm}^2$ ,  $\text{kg/cm}^2$ , psi (pound per square atau MPa (Mega Pascal =  $10^6 \text{ N/m}^2$ )). Regangan dapat dinyatakan dengan prosentase pertambahan panjang, satuannya adalah persen (%) atau mm/mm.



Gambar 2.3 Mekanisme tegangan plastik

Dari diagram di atas tampak bahwa pada tegangan yang kecil grafik berupa garis lurus, ini berarti bahwa besarnya regangan yang timbul sebagai akibat tegangan yang kecil tsb berbanding lurus dengan besarnya tegangan yang bekerja (*Hukum Hook*). Hal ini berlaku hingga titik P, yaitu *batas kesebandingan* atau *proportionality limit*.

Jadi bila pengujian tarik dilakukan dengan penambahan beban secara perlahan, mula-mula akan terjadi pertambahan panjang yang sebanding dengan pertambahan gaya yang bekerja. Kesebandingan ini berlangsung terus sampai beban mencapai titik P (*proportionality limit*), setelah itu pertambahan panjang yang terjadi sebagai akibat penambahan beban tidak lagi berbanding lurus, pertambahan beban yang sama akan menghasilkan pertambahan panjang yang lebih besar. Dan bahkan pada suatu saat dapat terjadi pertambahan panjang tanpa ada penambahan beban, batang uji bertambah panjang dengan sendirinya. Dikatakan batang uji mengalami luluh (*yield*). Keadaan ini berlangsung hanya beberapa saat dan sesudah itu beban akan naik lagi untuk dapat memperoleh pertambahan panjang (tidak lagi *proportional*).

Kenaikan beban ini akan berlangsung terus sampai maksimum, dan logam yang ulet (seperti halnya baja karbon rendah) sesudah itu beban tarik akan menurun lagi (tetapi pertambahan panjang terus berlangsung) dan akhirnya batang uji putus. Pada saat beban tercapai maksimum pada batang uji terjadi pengecilan penampang setempat (*local necking*), dan pertambahan panjang akan terjadi hanya di sekitar *necking* tsb. Peristiwa seperti ini yang terjadi pada logam

ulet, sedang pada logam-logam yang lebih getas tidak terjadi necking dan logam itu akan putus pada saat beban maksimum.

Bila pengujian dilakukan dengan cara yang sedikit berbeda yaitu beban ditambahkan perlahan-lahan sampai suatu harga tertentu lalu beban diturunkan sampai nol, dinaikkan lagi sampai di atas harga tertinggi yang sebelumnya, dan diturunkan lagi sampai nol, demikian terus berulang-ulang, maka akan terjadi bahwa pada beban yang kecil disamping berlaku Hukum Hook juga logam mengalami elastik, pada saat menerima beban akan bertambah panjang tetapi bila beban dihilangkan pertambahan panjang juga akan hilang, batang uji kembali ke bentuk ukuran semula. Keadaan ini berlangsung sampai *batas elastik (elastic limit, titik E)*. Jadi untuk beban rendah, pertambahan panjang mengikuti garis OP gambar 2.2.

Bila beban melebihi batas elastik, maka bila beban dihilangkan pertambahan panjang tidak seluruhnya hilang, masih ada terdapat pertambahan panjang yang tetap, atau pertambahan panjang yang plastik. Besarnya pertambahan panjang (%) plastik ini dapat dicari dengan menarik garis sejajar dengan garis pertambahan panjang elastik garis OP dari titik yang menunjukkan besarnya beban/tegangan yang bekerja.

Diagram tegangan - regangan dapat dibagi menjadi dua daerah yaitu *daerah elastik* dan *daerah plastik*. Yang menjadi batas antara kedua daerah tersebut seharusnya adalah batas elastik, titik E, tetapi ini tidak praktis karena mencari titik E cukup sulit, maka yang dianggap sebagai batas antara daerah elastik dan plastik adalah titik luluh (yield point), Y.

Diagram seperti contoh di atas, dimana yield tampak jelas dan patah terjadi tidak pada beban maksimum, sebenarnya jarang terjadi. Ini akan terjadi hanya pada beberapa logam yang cukup ulet, seperti baja karbon rendah yang ulet. Pada logam yang lebih getas yield kurang nampak, bahkan tidak terlihat sama sekali dan putus akan terjadi pada beban maksimum.

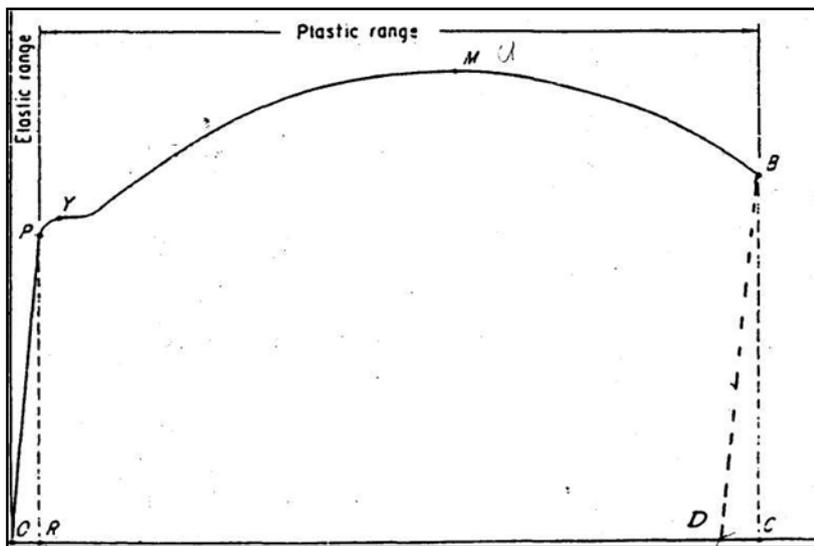
*Keuletan (ductility)* menggambarkan kemampuan untuk berdeformasi secara plastik tanpa menjadi patah dapat diukur dengan besarnya regangan plastik yang terjadi setelah batang uji putus. Keuletan biasanya dinyatakan dengan persentase perpanjangan (percentage elongation) :

$$\Delta L = (L_f - L_0)/L_0 \times 100 \%$$

$L_0$  = panjang awal

$L_f$  = panjang gage length setelah putus

Bila keuletan dinyatakan dengan persentase perpanjangan maka panjang gauge length mula-mula juga harus disebutkan. jadi misalnya dituliskan "persentase perpanjangan 25 % pada gauge length 50 mm". Secara grafik persentase perpanjangan dapat diukur pada diagram, yaitu dengan menarik garis dari titik patah B, sejajar dengan garis elastik hingga memotong absis D Panjang DC adalah regangan elastik, panjang OD adalah daerah plastik.



Gambar 2.4 Penentuan tegangan plastik setelah patah

Keuletan juga dapat dinyatakan dengan persentase pengurangan luas penampang (percentage reduction in area):

$$A = (A_0 - A_f)/A_0 \times 100 \%$$

$A_0$  = luas penampang batang uji mula-mula

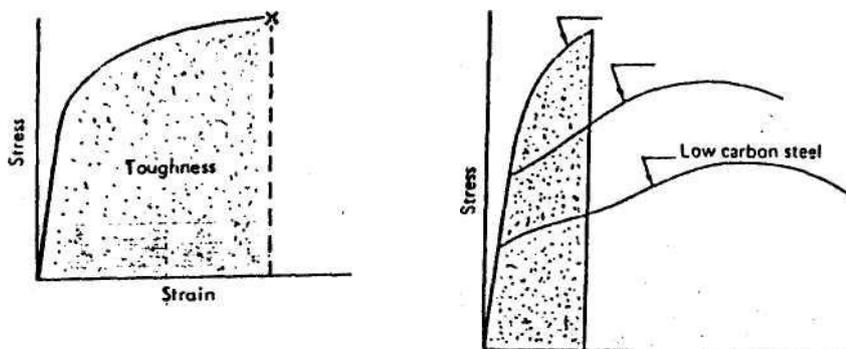
$A_f$  = luas penampang batang uji pada patahan.

Pada baja, juga pada logam-logam lain, keuletan banyak ditentukan oleh strukturmikro, ditentukan oleh komposisi kimia dan paduan, lakupanas dan tingkat deformasi dingin yang dialami. Pada baja, kenaikan kadar karbon akan menaikkan kekuatan dan kekerasan tetapi akan menurunkan keuletan. Demikian pula dengan tingkat deformasi dingin, makin tinggi tingkat deformasi dingin yang dialami makin



pointnya, untuk itu akan diperlukan bahan yang memiliki ketangguhan cukup tinggi.

Ketangguhan merupakan suatu konsep yang sangat penting dan banyak dipergunakan, tetapi sebenarnya sulit ditetapkan seberapa besar sebenarnya ketangguhan yang dibutuhkan untuk suatu keperluan, juga sulit untuk mengukur seberapa besar sebenarnya ketangguhan suatu barang jadi yang terbuat dari bahan tertentu, karena banyak hal yang mempengaruhi ketangguhan, antara lain adanya cacat, bentuk dan ukurannya, bentuk dan ukuran benda, kondisi pembebanan/strain rate, temperatur dan lain-lain yang banyak diantaranya sulit diukur. Dari uraian tentang sifat mekanik dapat dianalisis bahwa ketangguhan ditentukan oleh kekuatan dan keuletan, dimana kedua sifat ini biasanya berjalan bertentangan, artinya bila kekuatan naik maka keuletan menurun. Ini dapat dilihat dengan membandingkan baja karbon rendah (yang kekuatannya rendah tetapi keuletannya tinggi), baja karbon menengah (dengan kekuatan yang lebih tinggi tetapi keuletannya lebih rendah) dan baja karbon tinggi (yang kekuatannya sangat tinggi tetapi juga sangat getas). Dari Gambar 2.4. di belakang tampak bahwa ketangguhan paling tinggi akan diperoleh pada baja karbon menengah



Gambar 2.5 Daerah ketangguhan

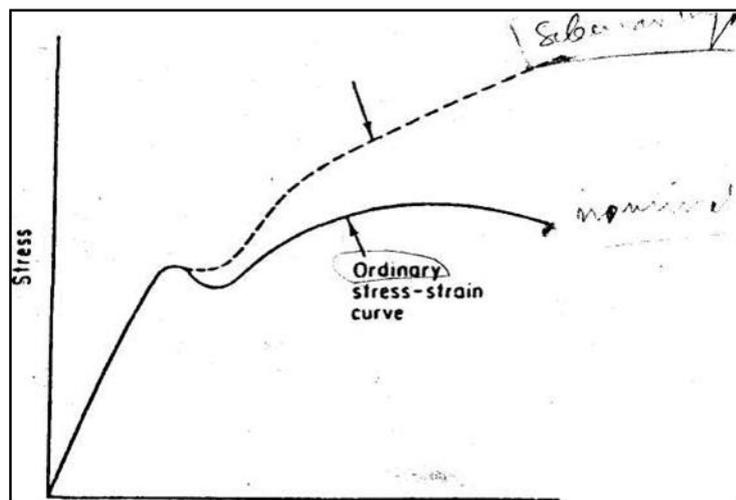
### **Diagram tegangan - regangan sebenarnya**

Diagram tegangan - regangan seperti yang dibicarakan di depan disebut diagram tegangan - regangan nomma karena perhitungan tegangan dan regangan tersebut berdasarkan panjang uji dan luas penampang mula-mula (nominal), pada hal setiap saat selalu terjadi perubahan sebagai akibat penarikan yang sedang berlangsung. Dengan demikian seharusnya tegangan dan regangan

dihitung berdasarkan luas penampang dan panjang uji pada sesaat itu (bukan yang mula-mula). Dari hal ini terlihat bahwa sebenarnya diagram tegangan - regangan nominal (kadang-kadang disebut juga diagram tegangan - regangan konvensional) kurang akurat, namun demikian untuk keperluan teknik (engineering) pada umumnya dianggap sudah memadai, karenanya dinamakan juga diagram tegangan - regangan teknik (engineering)

Tetapi untuk beberapa keperluan tertentu, seperti misalnya untuk perhitungan pada proses pembentukan (rolling, forging dll) serta untuk perhitungan yang lebih mendetail memerlukan ketelitian yang lebih tinggi maka diperlukan tegangan - regangan sebenarnya.

Kedua hubungan di atas hanya berlaku hingga saat terjadinya necking, di luar itu maka tegangan dan regangan sebenarnya harus dihitung berdasarkan pengukuran nyata pada batang uji, beban dan luas penampang setiap saat.



Gambar 2.6 diagram tegangan - regangan nominal dan sebenarnya

### ***Kekerasan dan pengujian kekerasan***

Kekerasan sebenarnya merupakan suatu istilah yang sulit didefinisikan secara tepat, karena setiap bidang ilmu dapat memberikan definisinya sendiri-sendiri yang sesuai dengan persepsi dan keperluannya. Karenanya juga cara pengujian kekerasan ada bermacam-macam tergantung konsep yang dianut. Dalam engineering, yang menyangkut logam, kekerasan sering dinyatakan sebagai kemampuan untuk menahan indentasi/penetrasi/abrasi. Ada beberapa cara pengujian kekerasan yang terstandar yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, pengujian Brinell, Rockwell, Vickers dll.

### **a. Pengujian Kekerasan Brinell**

Pengujian Brinell adalah salah satu cara pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan. Pada pengujian Brinell digunakan bola baja yang dikeraskan sebagai indentor. Indentor ini ditusukkan ke permukaan logam yang diuji dengan gaya tekan tertentu selama waktu tertentu pula (antara 10 sampai 30 detik). Karena penusukan (indentasi) itu maka pada permukaan logam tsb akan terjadi tapak tekan yang berbentuk tembereng bola. Kekerasan Brinell dihitung sebagai berikut :

$$\text{BHN} = \frac{\text{gaya tekan}}{\text{luas tapak tekan}}$$

$$\text{BHN} = \frac{P}{\pi D/2 \cdot \{D - \sqrt{D^2 - d^2}\}}$$

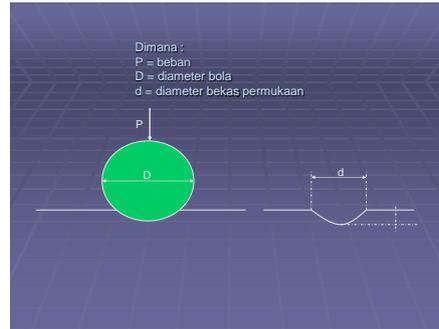
dimana :

P = gaya tekan (kg)

D = diameter bola indentor (mm)

d = diameter tapak tekan (mm)

Biasanya, pada pengujian kekerasan Brinell yang standar digunakan bola baja yang dikeraskan berdiameter (10  $\mu\text{m}$ , gaya tekan 3000 kg (untuk pengujian kekerasan baja), atau 1000 atau 500 kg (untuk logam non ferrous, yang lebih lunak dengan lama penekanan 10 - 15 detik. Tetapi mengingat kekerasan bahan uji dan juga tebal bahan (supaya tidak terjadi indentasi yang terlalu dalam atau terlalu dangkal) boleh digunakan gaya tekan dan indentor dengan diameter yang berbeda asalkan selalu dipenuhi persyaratan  $P/D^2 = \text{konstan}$ . Dengan memenuhi persyaratan tersebut maka hasil pengukuran tidak akan berbeda banyak bila diuji dengan gaya tekan/diameter bola indentor yang berbeda. Harga konstanta ini untuk baja adalah 30, untuk tembaga/paduan tembaga 10 dan aluminium/paduan aluminium 5.



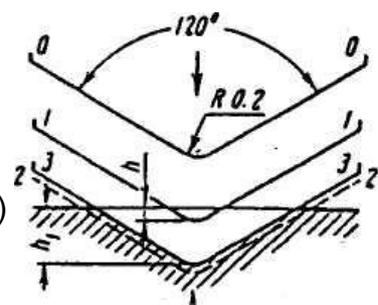
Gambar 2.7 kekerasan Brinell

Untuk pengujian logam yang sangat keras (di atas 500 BHN) bahan indentor dari bahan yang dikeraskan tidak cukup baik, karena indentor itu sendiri mungkin mulai terdeformasi, maka digunakan bola dari karbida tungsten, yang mampu mengukur sampai kekerasan sekitar 650 BHN.

**b. Pengujian kekerasan Rockwell**

Pada cara Rockwell pengukuran langsung dilakukan oleh mesin dan mesin langsung meminjukkan angka kekerasan dari yang diuji. Cara ini lebih cepat dan akurat. Pada cara Rockwell yang normal, mula-mula permukaan logam yang diuji ditekan oleh indentor dengan gaya tekan 10 kg, beban awal (minor load  $P_0$ ), sehingga ujung indentor menembus permukaan sedalam  $h$  (lihat gambar 2.15). Setelah itu penekanan diteruskan dengan memberikan beban utama (major load  $P$ ) selama beberapa saat, kemudian beban utama dilepas, hanya tinggal beban awal, saat ini kedalaman penetrasi ujung indentor adalah  $h_t$ .

- ✓ 0 – 0 posisi belum indentasi
- ✓ 1– 1 posisi pada saat baban awal  $P'$
- ✓ 2 – 2 penetrasi pada saat beban penuh ( $P'+P$ )
- ✓ 3 – 3 penetrasi setelah baban utama dilapas ( $P'$ )



Kekerasan diperhitungkan berdasarkan perbedaan kedalaman penetrasi ini. Karena yang diukur adalah kedalaman penetrasi, dan juga panjang langkah gerakan indentor, maka pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan dial indicator, dengan sedikit modifikasi yaitu piringan penunjuknya menunjukkan skala kekerasan Rockwell.

Dengan cara Rockwell dapat digunakan beberapa skala, tergantung pada kombinasi jenis indenter dan besar beban utama yang digunakan. Macam skala dan jenis indenter serta besar beban utama dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah. Untuk logam biasanya digunakan skala B atau skala C, dan angka kekerasannya dinyatakan dengan  $R_B$  dan  $R_C$ . Untuk skala B harus digunakan indenter berupa bola baja berdiameter 1/16" dan beban utama 100 kg. Kekerasan yang dapat diukur dengan Rockwell B ini sampai  $R_B$  100, bila pada suatu pengukuran diperoleh angka di atas 100 maka pengukuran harus diulangi dengan menggunakan skala lain. Kekerasan yang diukur dengan skala B ini relatif tidak begitu tinggi, untuk mengukur kekerasan logam yang keras digunakan Rockwell C (sampai angka kekerasan  $R_C$  70) atau Rockwell A (untuk yang sangat keras).

Di samping Rockwell yang normal ada pula yang disebut superficial Rockwell, yang menggunakan beban awal 3 kg, indenter kerucut intan (diamond cone, brale) dan beban utama 15, 30 atau 45 kg. Superficial Rockwell digunakan untuk specimen yang tipis.

Tabel 2.1 Beban dan indentasi dari test kekerasan Rocwell

Test	Load Kilograms	Indenter
A	60	Brale
B	100	1/16" ball
C	150	Brale
D	100	Brale
F	60	1/16" ball
G	150	1/16" ball

### c. Pengujian kekerasan Vickers

Prinsip dasar pengujian ini sama dengan pengujian Brinell, hanya saja disini digunakan indenter intan yang berbentuk piramid beratas bujur sangkar dan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan 136°. Tapak tekannya tentu akan berbentuk bujur sangkar, dan yang diukur adalah panjang kedua diagonalnya lalu diambil rata-ratanya.

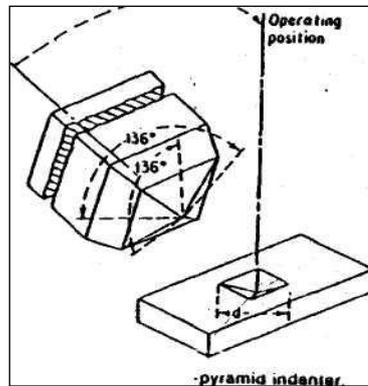
Angka kekerasan Vickers dihitung dengan :

$$HV = \{2P \sin (a/2)\}/d^2 = (1,854 \cdot P/d^2)$$

dimana : P = gaya tekan (kg)

d = diagonal tapak tekan rata-rata (mm)

a = sudut puncak indenter = 136°.



Gambar 2.8 Uji Vickers indenter piramid

Hasil pengujian kekerasan Vickers ini tidak tergantung pada besarnya gaya tekan (tidak seperti pada Brinell), dengan gaya tekan yang berbeda akan ditunjukkan hasil yang sama untuk bahan yang sama. Dengan demikian juga Vickers dapat mengukur kekerasan bahan mulai dari yang sangat lunak (5 HV) sampai yang amat keras (1500 HV) tanpa perlu mengganti gaya tekan. Besarnya gaya akan yang digunakan dapat dipilih antara 1 sampai dengan 120 kg, tergantung dari kekerasan/ketebalan bahan yang diuji agar diperoleh tapak tekan yang mudah diukur dan tidak ada *anvil effect* (pada benda yang tipis).

#### **d. Kekerasan Meyer**

Meyer mengukur kekerasan dengan cara yang hampir sama seperti Brinell, yang menggunakan indenter bola, hanya saja angka kekerasannya tidak dihitung dengan luas permukaan tapak tekan tetapi dihitung dengan luas proyeksi tapak tekan.

Angka kekerasan Mayer

$$P_m = 4P/(\pi d^2)$$

dimana :

P = gaya tekan (kg)

d = diameter tapak tekan (mm)

Dengan cara ini hasil pengukuran tidak lagi terpengaruh oleh besarnya juga tekan yang digunakan untuk menekan indenter (jadi tidak seperti Brinell).

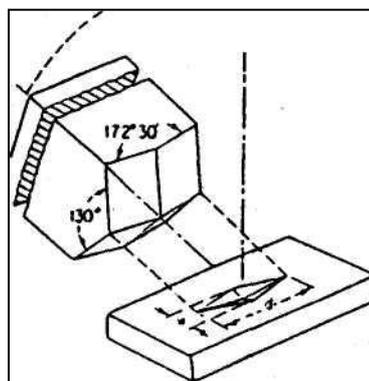
Biasanya akan sama walaupun pengukuran dilakukan dengan gaya tekan berbeda. Walaupun demikian ternyata pengujian Meyer tidak banyak digunakan.

**e. Microhardness test**

Untuk keperluan metalurgi seringkali diperlukan pengukuran kekerasan pada daerah yang sangat kecil, misalnya pada salah satu strukturmikro, atau pada lapisan yang sangat tipis misalnya pada lapisan elektroplating. Untuk itu pengujian dilakukan dengan gaya tekan yang sangat kecil, di bawah 1000 gram, menggunakan mesin yang dikombinasi dengan mikroskop. Cara yang biasa digunakan adalah Mikro Vickers atau Knoop.

Pada Mikro Vickers, indentor yang digunakan juga sama seperti pada Vickers biasa, juga cara perhitungan angka kekeragannya, hanya saja gaya tekan yang digunakan kecil sekali, 1 sampai 1000 gram, dan panjang diagonal indentasi diukur dalam mikron.

Pada Knoop microhardness test, digunakan indentor piramid intan dengan alas berbentuk belah ketupat yang perbandingan panjang diagonalnya 1 : 7



Gambar 2.9 Uji Knoop indentor piramid

Angka kekerasan Knoop dihitung sebagai berikut :

$$HK = 14,229 P/l^2$$

dimana : P = gaya tekan

l = panjang diagonal tapak tekan yang panjang (mikron)

Mengingat bentuk indentornya maka Knoop akan menghasilkan indentasi yang sangat dangkal (dibandingkan dengan Vickers), sehingga sangat cocok untuk pengujian kekerasan pada lapisan yang sangat tipis dan/atau getas.

### ***Konversi angka kekerasan***

Untuk suatu keperluan praktis kadang-kadang perlu mengadakan konversi atas hasil pengukuran kekerasan suatu cara ke cara lain. Ternyata hal ini tidak mudah karena adanya perbedaan pada prinsip kerja dari masing-masing cara pengukuran kekerasan. Karenanya hubungan konversi ini hanya sekedar suatu hubungan empirik. Dan hubungan konversi inipun hanya berlaku untuk satu jenis logam tertentu saja, sehingga masing-masing logam harus memiliki hubungan konversi sendiri-sendiri. Hubungan konversi yang sudah banyak dibuat adalah hubungan konversi antara Brinell (BHN), Rockwell ( $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_{C_i}$  superficial) dan Vickers HV atau VHN atau DPHN) untuk baja, seperti tertera pada Tabel 2.2 . Dari tabel tersebut tampak bahwa angka kekerasan Brinell hampir sama dengan angka kekerasan Vickers (Vickers sedikit lebih tinggi, 5-10 %], sedang terhadap Rockwell B, Brinell/Vickers kira-kira dua kali lebih besar Rockwell C, kira-kira 10 - 13 kali lebih besar.

Tabel 2.2 Konversi angka kekerasan

Tabel 2.6. APPROXIMATE HARDNESS CONVERSIONS  
DPH\* (VICKERS)

Diamond pyramid hardness number, Vickers, 50-kg load	Brinell hardness number 10-mm ball 3000-kg load			Rockwell hardness number				Rockwell superficial hardness number superficial Brale penetrator			Shore scleroscope hardness number	Diamond pyramid hardness number, Vickers, 50-kg load
	Standard ball	Hullgren ball	Tungsten carbide ball	A scale 60-kg load Brale penetrator	B scale 100-kg load 1/16-in. dia. ball	C scale 150-kg load Brale penetrator	D scale 100-kg load Brale penetrator	15-N scale 15-kg load	30-N scale 30-kg load	45-N scale 45-kg load		
940	.....	.....	.....	<b>85.6</b>	.....	<b>68.0</b>	<b>76.9</b>	<b>93.2</b>	<b>84.4</b>	<b>75.4</b>	<b>97</b>	<b>940</b>
920	.....	.....	.....	<b>85.3</b>	.....	<b>67.5</b>	<b>76.5</b>	<b>93.0</b>	<b>84.0</b>	<b>74.8</b>	<b>96</b>	<b>920</b>
900	.....	.....	.....	<b>85.0</b>	.....	<b>67.0</b>	<b>76.1</b>	<b>92.9</b>	<b>83.6</b>	<b>74.2</b>	<b>95</b>	<b>900</b>
880	.....	.....	<b>767</b>	<b>84.7</b>	.....	<b>66.4</b>	<b>75.7</b>	<b>92.7</b>	<b>83.1</b>	<b>73.6</b>	<b>93</b>	<b>880</b>
860	.....	.....	<b>757</b>	<b>84.4</b>	.....	<b>65.9</b>	<b>75.3</b>	<b>92.5</b>	<b>82.7</b>	<b>73.1</b>	<b>92</b>	<b>860</b>
840	.....	.....	<b>745</b>	<b>84.1</b>	.....	<b>65.3</b>	<b>74.8</b>	<b>92.3</b>	<b>82.2</b>	<b>72.2</b>	<b>91</b>	<b>840</b>
820	.....	.....	<b>733</b>	<b>83.8</b>	.....	<b>64.7</b>	<b>74.3</b>	<b>92.1</b>	<b>81.7</b>	<b>71.8</b>	<b>90</b>	<b>820</b>
800	.....	.....	<b>722</b>	<b>83.4</b>	.....	<b>64.0</b>	<b>73.8</b>	<b>91.8</b>	<b>81.1</b>	<b>71.0</b>	<b>88</b>	<b>800</b>
780	.....	.....	<b>710</b>	<b>83.0</b>	.....	<b>63.3</b>	<b>73.3</b>	<b>91.5</b>	<b>80.4</b>	<b>70.2</b>	<b>87</b>	<b>780</b>
760	.....	.....	<b>698</b>	<b>82.6</b>	.....	<b>62.5</b>	<b>72.6</b>	<b>91.2</b>	<b>79.7</b>	<b>69.4</b>	<b>86</b>	<b>760</b>
740	.....	.....	<b>684</b>	<b>82.2</b>	.....	<b>61.8</b>	<b>72.1</b>	<b>91.0</b>	<b>79.1</b>	<b>68.6</b>	<b>84</b>	<b>740</b>
720	.....	.....	<b>670</b>	<b>81.8</b>	.....	<b>61.0</b>	<b>71.5</b>	<b>90.7</b>	<b>78.4</b>	<b>67.7</b>	<b>83</b>	<b>720</b>
700	.....	<b>615</b>	<b>656</b>	<b>81.3</b>	.....	<b>60.1</b>	<b>70.8</b>	<b>90.3</b>	<b>77.6</b>	<b>66.7</b>	<b>81</b>	<b>700</b>
690	.....	<b>610</b>	<b>647</b>	<b>81.1</b>	.....	<b>59.7</b>	<b>70.5</b>	<b>90.1</b>	<b>77.2</b>	<b>66.2</b>	..	<b>690</b>
680	.....	<b>603</b>	<b>638</b>	<b>80.8</b>	.....	<b>59.2</b>	<b>70.1</b>	<b>89.8</b>	<b>76.8</b>	<b>65.7</b>	<b>80</b>	<b>680</b>
670	.....	<b>597</b>	<b>630</b>	<b>80.6</b>	.....	<b>58.8</b>	<b>69.8</b>	<b>89.7</b>	<b>76.4</b>	<b>65.3</b>	..	<b>670</b>
660	.....	<b>590</b>	<b>620</b>	<b>80.3</b>	.....	<b>58.3</b>	<b>69.4</b>	<b>89.5</b>	<b>75.9</b>	<b>64.7</b>	<b>79</b>	<b>660</b>
650	.....	<b>585</b>	<b>611</b>	<b>80.0</b>	.....	<b>57.8</b>	<b>69.0</b>	<b>89.2</b>	<b>75.5</b>	<b>64.1</b>	..	<b>650</b>
640	.....	<b>578</b>	<b>601</b>	<b>79.8</b>	.....	<b>57.3</b>	<b>68.7</b>	<b>89.0</b>	<b>75.1</b>	<b>63.5</b>	<b>77</b>	<b>640</b>
630	.....	<b>571</b>	<b>591</b>	<b>79.5</b>	.....	<b>56.8</b>	<b>68.3</b>	<b>88.8</b>	<b>74.6</b>	<b>63.0</b>	..	<b>630</b>
620	.....	<b>564</b>	<b>582</b>	<b>79.2</b>	.....	<b>56.3</b>	<b>67.9</b>	<b>88.5</b>	<b>74.2</b>	<b>62.4</b>	<b>75</b>	<b>620</b>
610	.....	<b>557</b>	<b>573</b>	<b>78.9</b>	.....	<b>55.7</b>	<b>67.5</b>	<b>88.2</b>	<b>73.6</b>	<b>61.7</b>	..	<b>610</b>
600	.....	<b>550</b>	<b>564</b>	<b>78.6</b>	.....	<b>55.2</b>	<b>67.0</b>	<b>88.0</b>	<b>73.2</b>	<b>61.2</b>	<b>74</b>	<b>600</b>
590	.....	<b>542</b>	<b>554</b>	<b>78.4</b>	.....	<b>54.7</b>	<b>66.7</b>	<b>87.8</b>	<b>72.7</b>	<b>60.5</b>	..	<b>590</b>
580	.....	<b>535</b>	<b>545</b>	<b>78.0</b>	.....	<b>54.1</b>	<b>66.2</b>	<b>87.5</b>	<b>72.1</b>	<b>59.9</b>	<b>72</b>	<b>580</b>
570	.....	<b>527</b>	<b>535</b>	<b>77.8</b>	.....	<b>53.6</b>	<b>65.8</b>	<b>87.2</b>	<b>71.7</b>	<b>59.3</b>	..	<b>570</b>
560	.....	<b>519</b>	<b>525</b>	<b>77.4</b>	.....	<b>53.0</b>	<b>65.4</b>	<b>86.9</b>	<b>71.2</b>	<b>58.6</b>	<b>71</b>	<b>560</b>
550	.....	<b>508</b>	<b>512</b>	<b>77.0</b>	.....	<b>52.3</b>	<b>64.8</b>	<b>86.6</b>	<b>70.5</b>	<b>57.8</b>	..	<b>550</b>
540	<b>496</b>	<b>503</b>	<b>507</b>	<b>76.7</b>	.....	<b>51.7</b>	<b>64.4</b>	<b>86.3</b>	<b>70.0</b>	<b>57.0</b>	<b>69</b>	<b>540</b>
530	<b>488</b>	<b>495</b>	<b>497</b>	<b>76.4</b>	.....	<b>51.1</b>	<b>63.9</b>	<b>86.0</b>	<b>69.5</b>	<b>56.2</b>	..	<b>530</b>
520	<b>480</b>	<b>487</b>	<b>488</b>	<b>76.1</b>	.....	<b>50.5</b>	<b>63.5</b>	<b>85.7</b>	<b>69.0</b>	<b>55.6</b>	<b>67</b>	<b>520</b>
510	<b>473</b>	<b>479</b>	<b>479</b>	<b>75.7</b>	.....	<b>49.8</b>	<b>62.9</b>	<b>85.4</b>	<b>68.3</b>	<b>54.7</b>	..	<b>510</b>
500	<b>465</b>	<b>471</b>	<b>471</b>	<b>75.3</b>	.....	<b>49.1</b>	<b>62.2</b>	<b>85.0</b>	<b>67.7</b>	<b>53.9</b>	<b>66</b>	<b>500</b>
490	<b>456</b>	<b>460</b>	<b>460</b>	<b>74.9</b>	.....	<b>48.4</b>	<b>61.6</b>	<b>84.7</b>	<b>67.1</b>	<b>53.1</b>	..	<b>490</b>
480	<b>448</b>	<b>452</b>	<b>452</b>	<b>74.5</b>	.....	<b>47.7</b>	<b>61.3</b>	<b>84.3</b>	<b>66.4</b>	<b>52.2</b>	<b>64</b>	<b>480</b>
470	<b>441</b>	<b>442</b>	<b>442</b>	<b>74.1</b>	.....	<b>46.9</b>	<b>60.7</b>	<b>83.9</b>	<b>65.7</b>	<b>51.3</b>	..	<b>470</b>
460	<b>433</b>	<b>433</b>	<b>433</b>	<b>73.6</b>	.....	<b>46.1</b>	<b>60.1</b>	<b>83.6</b>	<b>64.9</b>	<b>50.4</b>	<b>62</b>	<b>460</b>
450	<b>425</b>	<b>425</b>	<b>425</b>	<b>73.3</b>	.....	<b>45.3</b>	<b>59.4</b>	<b>83.2</b>	<b>64.3</b>	<b>49.4</b>	..	<b>450</b>
440	<b>415</b>	<b>415</b>	<b>415</b>	<b>72.8</b>	.....	<b>44.5</b>	<b>58.8</b>	<b>82.8</b>	<b>63.5</b>	<b>48.4</b>	<b>59</b>	<b>440</b>
430	<b>405</b>	<b>405</b>	<b>405</b>	<b>72.3</b>	.....	<b>43.6</b>	<b>58.2</b>	<b>82.3</b>	<b>62.7</b>	<b>47.4</b>	..	<b>430</b>
420	<b>397</b>	<b>397</b>	<b>397</b>	<b>71.8</b>	.....	<b>42.7</b>	<b>57.5</b>	<b>81.8</b>	<b>61.9</b>	<b>46.4</b>	<b>57</b>	<b>420</b>

Note. The values in this table shown in bold-faced type correspond to the values shown in the corresponding joint SAE-ASM-ASTM Committee on Hardness Conversions as printed in ASTM Spec.

Lanjutan .....

APPROXIMATE HARDNESS CONVERSION NUMBERS FOR STEEL, BASED ON DPH.\* (VICKERS)—(Continued)

Diamond pyramid hardness number, Vickers, 50-kg load	Brinell hardness number 10-mm ball 3000-kg load			Rockwell hardness number				Rockwell superficial hardness number superficial Brale penetrator			Stereoscope hardness number	Diamond pyramid hardness number, Vickers, 50-kg load
	Standard ball	Multgren ball	Tungsten carbide ball	A scale 60-kg load 1/16-in. dia. ball	B scale 100-kg load 1/16-in. dia. ball	C scale 150-kg load 1/16-in. dia. ball	D scale 100-kg load 1/16-in. dia. ball	15-N scale 15-kg load	30-N scale 30-kg load	45-N scale 45-kg load		
410	388	388	388	71.4	.....	41.8	56.8	81.4	61.1	45.3	..	410
400	379	379	379	70.8	.....	40.8	56.0	81.0	60.2	44.1	53	400
390	369	369	369	70.1	.....	39.8	55.2	80.3	59.3	42.9	..	390
380	360	360	360	69.8	(110.0)	38.8	54.4	79.8	58.4	41.7	52	380
370	350	350	350	69.2	.....	37.7	53.6	79.2	57.4	40.4	..	370
360	341	341	341	68.7	(109.0)	36.6	52.8	78.6	56.4	39.1	50	360
350	331	331	331	68.1	.....	35.5	51.9	78.0	55.4	37.8	..	350
340	322	322	322	67.6	(108.0)	34.4	51.1	77.4	54.4	36.5	47	340
330	313	313	313	67.0	.....	33.3	50.2	76.8	53.6	35.2	..	330
320	303	303	303	66.4	(107.0)	32.2	49.4	76.2	52.3	33.9	45	320
310	294	294	294	65.8	.....	31.0	48.4	75.6	51.3	32.5	..	310
300	284	284	284	65.2	(105.5)	29.8	47.5	74.9	50.2	31.1	42	300
295	280	280	280	64.8	.....	29.2	47.1	74.6	49.7	30.4	..	295
290	275	275	275	64.5	(104.5)	28.5	46.5	74.2	49.0	29.5	41	290
285	270	270	270	64.2	.....	27.8	46.0	73.8	48.4	28.7	..	285
280	265	265	265	63.8	(103.5)	27.1	45.3	73.4	47.8	27.9	40	280
275	261	261	261	63.5	.....	26.4	44.9	73.0	47.1	27.1	..	275
270	256	256	256	63.1	(102.0)	25.6	44.3	72.6	46.4	26.1	33	270
265	252	252	252	62.7	.....	24.8	43.7	72.1	45.7	25.1	..	265
260	247	247	247	62.4	(101.0)	24.0	43.1	71.6	45.0	24.3	37	260
255	243	243	243	62.0	.....	23.1	42.3	71.1	44.2	23.2	..	255
250	238	238	238	61.6	99.5	22.2	41.7	70.6	43.4	22.2	36	250
245	233	233	233	61.2	.....	21.3	41.1	70.1	42.5	21.1	..	245
240	228	228	228	60.7	98.1	20.3	40.3	69.6	41.7	19.9	34	240
230	219	219	219	.....	96.7	(13.0)	.....	.....	.....	.....	33	230
220	209	209	209	.....	95.0	(15.7)	.....	.....	.....	.....	32	220
210	200	200	200	.....	93.4	(13.4)	.....	.....	.....	.....	30	210
200	190	190	190	.....	91.5	(11.0)	.....	.....	.....	.....	29	200
190	181	181	181	.....	89.5	( 8.5)	.....	.....	.....	.....	23	190
180	171	171	171	.....	87.1	( 6.0)	.....	.....	.....	.....	26	180
170	162	162	162	.....	85.0	( 3.0)	.....	.....	.....	.....	25	170
160	152	152	152	.....	81.7	( 0.0)	.....	.....	.....	.....	24	160
150	143	143	143	.....	78.7	.....	.....	.....	.....	.....	22	150
140	133	133	133	.....	75.0	.....	.....	.....	.....	.....	21	140
130	124	124	124	.....	71.2	.....	.....	.....	.....	.....	20	130
120	114	114	114	.....	68.7	.....	.....	.....	.....	.....	..	120
110	105	105	105	.....	62.3	.....	.....	.....	.....	.....	..	110
100	95	95	95	.....	56.2	.....	.....	.....	.....	.....	..	100
95	90	90	90	.....	52.0	.....	.....	.....	.....	.....	..	95
90	86	86	86	.....	48.0	.....	.....	.....	.....	.....	..	90
85	81	81	81	.....	41.0	.....	.....	.....	.....	.....	..	85

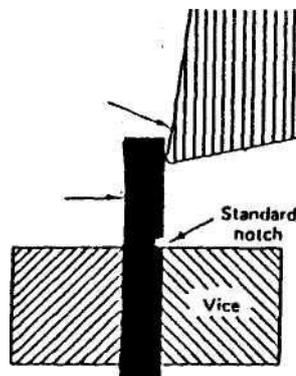
Note. The values in this table shown in bold-faced type correspond to the values shown in the corresponding joint SAE-ASM-ASTM Committee on Hardness Conversions as printed in ASTM Spec. E48-43T.

Values in ( ) are beyond normal range; given for information only.

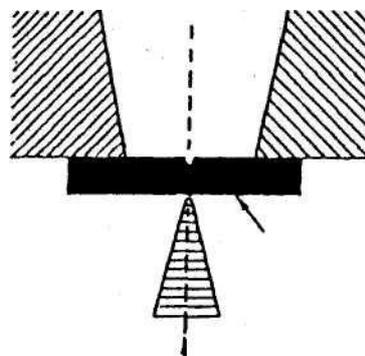
### ***Pengujian pukul-takik (impact test)***

Selama Perang Dunia banyak dijumpai kerusakan pada konstruksi (kapal, jembatan, tanki, pipa dan lain-lain) yang menampakkan pola patah getas, padahal konstruksi tersebut terbuat dari logam yang biasanya dikenal cukup ulet, seperti misalnya baja lunak. Ternyata ada tiga faktor utama yang menyebabkan kecenderungan terjadinya patah getas yaitu (1) tegangan yang triaxial (2) temperatur rendah dan (3) laju peregangan (strain rate) yang tinggi (kecepatan pembebanan tinggi). Tegangan yang triaxial dapat terjadi pada takikan.

Ada beberapa cara menguji kecenderungan terjadinya patahan getas yang dilakukan para peneliti, salah satu yang sering digunakan adalah impact test (pengujian pukul takik). Pada pengujian ini digunakan batang uji yang bertakik (notch) yang dipukul dengan sebuah bandul. Ada dua cara pengujian yang dapat digunakan yaitu metode Charpy (dipakai di Amerika dan negara-ne-gara lain) dan metode izod yang digunakan di Inggris. Pada metode Izod, batang uji dijepit pada satu ujung sehingga takikan berada didekat penjepitnya. Bandul /pemukul yang diayunkan dari ketinggian tertentu akan memukul ujung yang lain dari arah takikan.



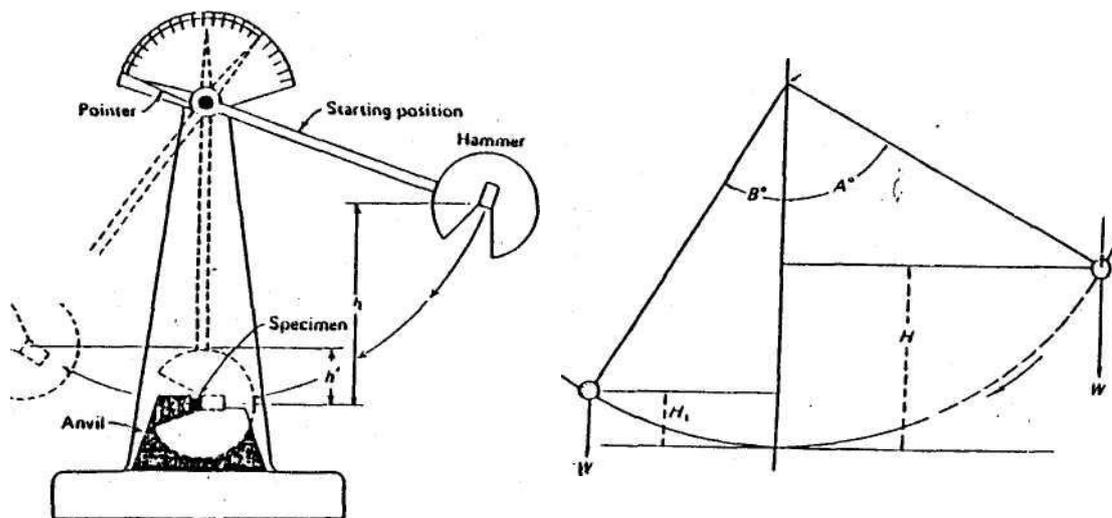
Gambar 2.10 (a). Izod



Gambar 2.10 (b) Izod Charpy

Pada metode Charpy, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan ke arah mendatar oleh penahan yang berjarak 40 mm. Bandul berayun akan memukul batang uji tepat di belakang takikan. Untuk pengujian ini digunakan sebuah mesin dimana suatu batang dapat berayun dengan bebas. Pada ujung batang dipasang pemukul yang diberi pemberat. Batang uji diletakkan di bagian bawah mesin dan batang takikan tepat berada pada bidang lintasan pemukul.

Pada pengujian ini bandul pemukul dinaikkan sampai ketinggian tertentu  $H$ . Pada posisi ini pemukul memiliki energi potensial sebesar  $WH$  ( $W$  = berat pemukul) . Dari posisi ini pemukul dilepaskan dan berayun bebas, memukul batang uji hingga patah, dan pemukul masih terus berayun sampai ketinggian  $H$ . Pada ini posisi sisa energi potensial adalah  $WH'$ . Selisih antara energi awal dengan energi akhir adalah energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji.



Gambar 2.11 Sematik mesin uji impact

Impact strength, ketahanan batang uji terhadap pukulan (impact) dinyatakan dengan banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan batang uji, dengan notasi IS atau  $C_T$  satuannya  $kg\ m$  atau  $ft\ lb$  atau joule. Jadi impact strength sebenarnya adalah ketangguhan, juga ketangguhan terhadap beban kejut dan pada batang uji yang bertakik, notch toughness. Logam yang getas akan memperlihatkan impact strength yang rendah.

Hasil pengukuran dengan impact test ini masih tidak dapat digunakan untuk keperluan perhitungan suatu desain, ia hanya dapat digunakan untuk membandingkan sifat suatu bahan dengan bahan lain, apakah suatu bahan mempunyai sifat ketangguhan yang lebih baik daripada bahan lain. Hal ini disebabkan karena banyak sekali faktor yang mempengaruhi impact strength yang tidak dapat dicari korelasinya antara kondisi pengujian dengan kondisi pemakaian. Misalnya saja pada pengujian kecepatan pembebanan sudah tertentu sedang pada pemakaian kecepatan pembebanan dapat bervariasi. Demikian juga halnya dengan traxial state of stress yang dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran

takikan, bentuk dan ukuran benda kerja, tentunya semua ini akan menyebabkan impact strength yang berbeda, bila faktor tersebut berbeda. Karena itu untuk pengujian pukul takik ini bentuk dan ukuran batang uji serta bentuk dan ukuran takikan harus benar-benar sama.

Bentuk penampang batang uji biasanya bujur sangkar 10x10 mm dengan bentuk takikan V (V-notched) atau U (U-notched, atau key hole). V-notched biasanya digunakan untuk logam yang dianggap ulet sedang U-notched biasanya digunakan untuk logam yang getas.

### ***Kelelahan (fatigue)***

Logam yang menerima tegangan secara berulang-ulang akan dapat rusak/patah pada tingkat tegangan yang jauh lebih rendah daripada tegangan yang diperlukan untuk mematahkannya dengan sekali pembebanan siatik, bahkan dapat patah pada tegangan di bawah kekuatan elastiknya (di bawah yield point/strength). Kerusakan semacam itu dikatakan rusak karena kelelahan (fatigue). Sebagian besar kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan, atau setidaknya faktor kelelahan ikut menyebabkan kerusakan itu.

Kerusakan karena kelelahan (fatigue failure) dapat terjadi karena merambatnya retak/cacat secara perlahan/bertahap. Retak ini dapat dimulai dari retak/cacat yang sangat kecil dan retak ini menjalar setiap kali ujung retak itu menerima tegangan. Tegangan yang bekerja ini secara rata-rata untuk seluruh penampang yang menerima beban mungkin masih jauh dibawah batas kekuatan bahan, tetapi pada daerah di sekitar ujung retak/cacat tegangan mungkin sudah melampaui batas kekuatannya, sehingga retak dapat merambat. Setiap kali terjadi tegangan maka retak akan merambat, sehingga akhirnya sisa penampang tidak lagi mampu menerima gaya yang bekerja dan akan jadi patah. Patah ini tampaknya seperti tanpa ada tanda-tanda, karena itu fatigue failure seringkali berbahaya.

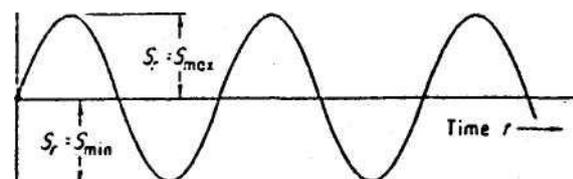
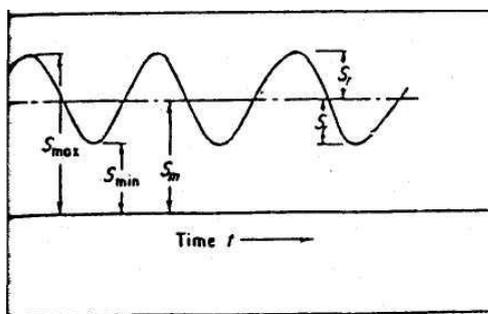
Permukaan patahan akibat kelelahan biasanya dapat dibedakan dari patahan akibat overloaded. Pada permukaan patahan akibat kelelahan biasanya terdiri dari dua daerah, daerah yang menampakkan adanya garis-garis halus yang menunjukkan tahapan perambatan retak (biasanya daerah ini lebih halus, karena di

sini dah terjadi retak dan permukaan ini selalu bergesekan satu sama lain), dan lerah lain yang tampak lebih kasar (sisa penampang yang patah pada saat tera-it karena tidak lagi mampu menahan beban). Bentuk permukaan patahan akibat lelahan banyak tergantung pada cara pembebanan yang bekerja dan bentuk kon-trasi tegangan yang ada pada suatu benda kerja.

Type of fatigue stress Stress category	No stress concentration		Low stress concentration		High stress concentration	
	Light over-loading	Heavy over-loading	Light over-loading	Heavy over-loading	Light over-loading	Heavy over-loading
1 Pulsating flexural stress						
2 Alternating flexural stress						
3 Rotating bending stress						

Gambar 2.12 Bentuk permukaan patah lelah

Jenis pembebanan yang mengakibatkan kelelahan secara teoritik dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu siklus tegangan bolak-balik (reversed ess cycle) dan sikius tegangan berfluktuasi (fluctuating stress cycle). Pada Gambar 2.13 (a) dan (b) dilukiskan kurva tegangan-waktu yang sangat teratur dalam kenyataan biasanya kurva tersebut tidak beraturan). Reversed stress cycle lebih mudah menimbulkan kelelahan.

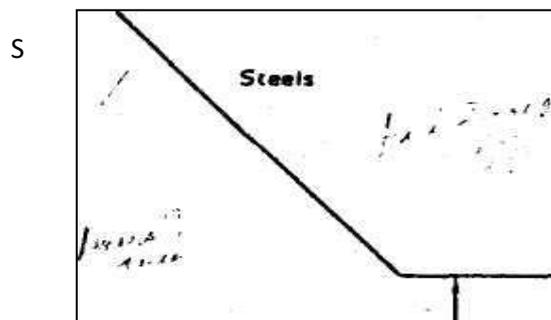


Gambar 2.13 (a) fluctuating stress cycle.

(b) Reversed stress cycle

Ada beberapa cara untuk menguji tingkah laku bahan terhadap beban yang berulang-ulang (cyclic load) ini, ada yang dengan alternating tensile, reversing flexural bending, rotating bending dan lain-lain. Sebenarnya pengujian yang hasilnya akan menunjukkan sifat yang paling mendekati kenyataan adalah pengujian kelelahan pada benda/komponen bahkan konstruksi sebenarnya dan pembebanan diberikan dengan cara yang paling mendekati keadaan kerja dari benda/komponen/konstruksi sebenarnya. Seperti pengujian kelelahan terhadap rangka pesawat terbang dan beberapa konstruksi lain. Tetapi sangat mahal dan tidak praktis. Pengujian kelelahan yang banyak dilakukan adalah pengujian kelelahan dengan rotating bending.

Karena menerima beban lengkung maka satu sisi dari batang uji akan menerima tegangan tarik dan sisi lain menerima tegangan tekan. Dan karena juga diputar maka tentu juga pada setiap tempat dari batang uji akan mengaiami perubahan tegangan dari tegangan tarik ke tegangan tekan dan sebaliknya, secara berulang-ulang. Untuk pengujian kelelahan ini digunakan sejumlah batang uji yang mempunyai bentuk, ukuran, cara pengerjaan dan surface finish yang sama dan terbuat dari bahan yang sama. Masing-masing batang uji akan diuji dengan cyclic load yang besarnya berbeda-beda. Batang uji pertama diberi beban hingga mencapai tegangan cukup tinggi, dan setelah mengaiami sejumlah siklus pembebanan batang uji itu patah. Diambil batang uji berikutnya, diberi beban yang lebih rendah, demikian selanjutnya sampai semua batang uji selesai teruji. Dari setiap batang uji dicatat besarnya tegangan yang bekerja, dan jumlah siklus yang dialami sampai saat patah. Dari data yang terkumpul dibuat sebuah grafik.



Gambar 2.14 Tegangan - jumlah siklus, atau stress-number of cycle (S - N curve).

Ternyata bahwa pada tingkat tegangan yang lebih rendah fatigue failure terjadi sesudah batang uji mengalami cyclic load dengan jumlah siklus yang lebih besar. Besarnya tegangan yang mengakibatkan terjadinya fatigue failure pada suatu jumlah siklus tertentu dinamakan *fatigue strength*. Jadi setiap titik pada S-N curve menunjukkan fatigue strength pada jumlah siklus tertentu. Karena itu bila menunjukkan harga suatu fatigue strength harus pula dinyatakan jumlah siklusnya, misalnya 30.000 psi pada  $N = 10^6$  (biasanya yang sering digunakan pada perhitungan desain adalah fatigue strength pada  $N = 10^8$  sampai  $f = 5 \times 10^8$ , pada logam non-ferrous).

Pada baja akan dijumpai suatu batas minimum tegangan yang masih dapat mengakibatkan terjadinya kelelahan, pada tegangan di bawah batas ini kelelahan fatigue failure tidak akan terjadi atau dapat dikatakan kelelahan akan terjadi pada jumlah siklus tak terhingga. Batas itu dinamakan *fatigue limit*, yang menyatakan besarnya tegangan minimum yang akan mengakibatkan kelelahan atau dapat juga dikatakan sebagai fatigue strength pada  $N =$  tak terhingga. Pada logam non-ferrous tidak dijumpai fatigue limit.

Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap sifat kelelahan, yaitu :

### **1. Konsentrasi tegangan**

Bila pada suatu penampang terdapat distribusi tegangan yang tidak merata, dikatakan disitu terjadi konsentrasi tegangan, maka fatigue limit/strength cenderung akan menurun. Hal ini dapat dimengerti karena sebenarnya pada sebagian dari penampang itu akan menerima tegangan yang lebih besar dari harga rata-rata yang seharusnya terjadi, karena itu fatigue limit/strength akan turun. Konsentrasi tegangan dapat terjadi pada komponen mesin dimana terdapat alur pasak ulir, lubang, fillet, press fit dsb.

### **2. Ukuran/dimensi**

Ukuran benda kerja yang besar cenderung menurunkan fatigue limit/strength.

### **3. Kondisi permukaan**

#### **a. Kekasaran permukaan**

Benda kerja yang kasar akan lebih mudah mengalami kelelahan, ini dapat dimengerti karena permukaan yang kasar dapat digambarkan sebagai permukaan yang penuh goresan, dan setiap goresan ini dapat merupakan kon-

sentralisasi tegangan dan potensial sekali untuk menjadi awal keretakan yang akan merambat karena pembebanan berulang. Jadi untuk memperbaiki ketahanan terhadap kelelahan dapat dilakukan antara lain dengan memperhalus permukaan.

b. Kekuatan permukaan

Pada suatu benda yang menerima beban, maka tegangan yang paling tinggi akan terjadi di permukaan. Karena itu juga retak sering mulai merambat dari permukaan. Benda kerja yang mempunyai kekuatan di permukaan yang lebih tinggi akan memiliki fatigue limit/strength yang lebih tinggi. Karena kekuatan di permukaan tinggi maka terjadinya retak akan terhambat, sehingga pada tingkat tegangan yang sama umurnya akan jadi lebih panjang. Penguatan permukaan dapat dilakukan dengan proses laku panas, misalnya carburising, cyaniding, nitriding dan lain-lain.

c. Residual compressive stress

Dengan membiarkan terjadinya tegangan sisa di permukaan (berupa tegangan tekan) akan menyebabkan naiknya fatigue limit/strength. Fatigue failure biasanya dimulai dari permukaan, ditimbulkan oleh tegangan tarik yang bekerja. Bila pada permukaan terdapat tegangan tekan maka tegangan tekan itu akan menyebabkan tegangan tarik yang bekerja harus menghilangkan dulu tegangan tekan tersebut sehingga tegangan tarik yang efektif bekerja akan lebih kecil, dan kemungkinan terjadinya keretakan akan lebih kecil. Untuk memberikan tegangan tekan sisa pada permukaan dapat dilakukan dengan shot peening atau dengan surface rolling.

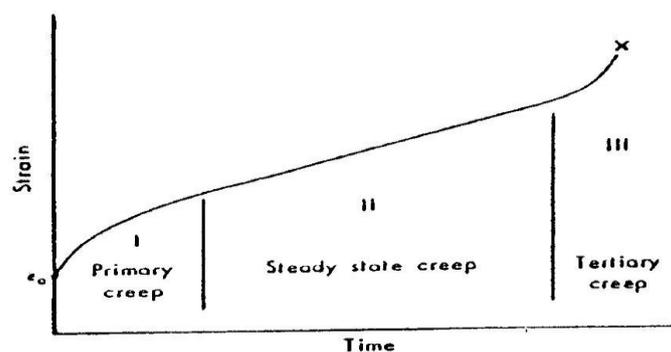
d. Korosi

Adanya media yang korosif pada bagian yang menerima cyclic stress akan menurunkan ketahanan terhadap kelelahan. Terjadinya korosi di permukaan merupakan crack initiation, yang tentunya akan mempermudah terjadinya kelelahan. Di samping itu perlu diketahui bahwa adanya tegangan akan mempercepat terjadinya korosi, adanya korosi akan mempercepat terjadinya kelelahan. Ini dinamakan corrosion fatigue.

### **Creep (merangkak)**

Pada pembahasan mengenai tensile, test telah diketahui bahwa regangan akan bertambah dengan bertambahnya tegangan, dan regangan plastik akan terjadi bila tegangan yang bekerja sudah melebihi yield. Pada temperatur tinggi (temperatur yang lebih tinggi dari setengah titik cair dalam °K), bahan-bahan seperti logam, keramik, plastik (polimer) akan memperlihatkan plastisitas yang tergantung pada waktu (time dependant plasticity), pada temperatur tsb regangan akan dapat bertambah dengan bertambahnya waktu (tidak perlu ada penambahan tegangan) bahkan tidak tergantung apakah tegangan itu lebih besar atau lebih kecil dari yield strengthnya. Peristiwa bertambahnya regangan (plastik) dengan berubahnya waktu ini dinamakan creep (merangkak). Creep seringkali harus diperhitungkan dalam proses pemilihan bahan, terutama yang bekerja pada temperatur relatif tinggi dan tegangan tinggi.

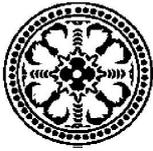
Ada tiga tahapan dalam peristiwa creep, yaitu (primary creep) yang terjadi sesaat setelah pembebanan, pada tahap ini kenaikan regangan mula-mula cepat, lalu menurun, dan pada tahap kedua kenaikan regangan (laju creep/creep rate) akan konstan, dinamakan steady state creep. Pada tahap ketiga laju kenaikan regangan berjalan dengan cepat dan akhirnya bahan tadi akan putus. Dalam peristiwa di atas tegangan konstan.



Gambar 2.15 Grafik hubungan tegangan dengan waktu

Sebagian besar dari "masa kerja" atau "umur hidup" suatu benda kerja ;mengalami creep berada pada daerah steady state creep, dan karenanya besarnya creep rate pada daerah steady state creep sangat menentukan. Creep adalah juga suatu proses yang stress dependent dan thermally activated, karenanya creep rate akan naik dengan naiknya tegangan dan/atau temperatur.

Pada kondisi creep, patah akan terjadi bila creep strain telah mengakibatkan regangan mencapai  $\epsilon_f$  (strain pada saat putus). Karena creep rate akan meningkat dengan naiknya tegangan dan/atau temperatur. maka umur hidup sampai patah akan menurun bila, tegangan dan/atau temperatur dinaikkan.



### **3.1 Klasifikasi Baja**

Baja adalah paduan yang paling banyak digunakan manusia, jenis dan bentuknya sangat banyak. Karena penggunaannya yang sangat luas maka berbagai pihak sering membuat klasifikasi menurut keperluan masing-masing. Ada beberapa cara mengklasifikasikan baja, antara lain:

- a. menurut cara pembuatannya; baja Bessemer, baja Siemens-Martin (Open hearth), baja Listrik, dan lainnya.
- b. menurut penggunaannya; baja konstruksi, baja mesin, baja pegas, baja ketel, baja. perkakas, dan lainnya.
- c. menurut kekuatannya ; baja kekuatan lunak, baja kekuatan tinggi
- d. menurut strukturmikronya; baja eutektoid, baja hypoeutektoid, baja hypereutektoid, baja austenitik, baja ferritik, baja martensitik dan lainnya.
- e. menurut komposisi kimianya; baja karbon, baja paduan rendah, baja paduan tinggi, dan lainnya.
- f. dan lain-lain.

Biasanya klasifikasi baja yang sering digunakan tidak hanya berpegang pada salah satu cara saja tetapi merupakan gabungan dari beberapa cara di atas. Untuk mempelajari baja sebagai objek pembahasan pada Ilmu Logam akan lebih mudah bila baja diklasifikasikan menurut komposisi kimianya dan/atau strukturmikrohya.

Menurut komposisi kimianya baja dapat dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu baja karbon (baja tanpa paduan, plain carbon steel) dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain selain besi dan karbon. Baja karbon masih mengandung sejumlah unsur lain, tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak banyak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikutan yang berasal dari proses pembuatan besi/baja, seperti mangan dan silikon, dan beberapa unsur

pengotoran, seperti belerang, phosphor, oksigen, nitrogen dan lainnya yang biasanya ditekan sampai kadar sangat kecil.

Baja dengan kadar mangan kurang dari 0,8 %, silikon' kurang dari 0,5 % dan unsur lain sangat sedikit, dapat dianggap sebagai baja karbon. Mangan dan silikon sengaja ditambahkan dalam proses pembuatan baja sebagai deoxidiser, untuk mengurangi pengaruh buruk dari beberapa unsur pengotoran. Baja paduan mengandung unsur-unsur paduan yang sengaja ditambahkan untuk memperoleh sifat-sifat tertentu.

Low carbon steel kadar karbon sampai 0,2 %, sangat luas penggunaannya, sebagai baja konstruksi umum, untuk baja profil rangka bangunan, baja tulangan beton, rangka kendaraan, mur baut, pelat, pipa dan lain-lain. Baja ini kekuatannya relatif rendah, lunak, tetapi keuletannya liuggi, mudah dibentuk dan dimachining. Baja ini tidak dapat dikeraskan.

Medium carbon steel kadar karbon 0,25-0,55 %, lebih kuat dan keras, dan dapat dikeraskan. Penggunaannya hampir sama dengan low carbon steel, digunakan untuk yang memerlukan kekuatan dan ketangguhan yang lebih tinggi. Juga banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin, untuk poros, roda gigi, dan lainnya.

High carbon steel, kadar karbon lebih dari 0,55 %, lebih kuat dan lebih keras lagi, tetapi keuletan dan ketangguhannya rendah. Baja ini terutama digunakan untuk perkakas, yang biasanya memerlukan sifat tahan aus, misalnya untuk mata bor, hamer, tap dan perkakas tangan yang lain.

Low alloy steel, baja paduan dengan kadar unsur paduan rendah (kurang dari 10 %), mempunyai kekuatan dan ketangguhan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kadar karbon yang sama atau mempunyai keuletan lebih tinggi daripada baja karbon dengan kekuatan yang sama. Hardenability dan sifat tahan korosi pada umumnya lebih baik. Banyak digunakan sebagai baja konstruksi mesin.

High alloy steel baja paduan dengan kadar unsur paduan tinggi, mempunyai sifat khusus tertentu, baja tahan karat (stainless steel), baja perkakas (tool steel, misalnya High Speed Steel, HSS), baja tahan panas (heat resisting steel) dan lain-lain.

### 3.2 Kodifikasi

Setiap jenis baja perlu diberi suatu "nama" agar mudah dikenali. Nama ini berupa kode yang ditetapkan dalam suatu standar, lengkap dengan spesifikasi utamanya. Cara penamaan ini bermacam-macam, ada yang berdasarkan kekuatannya, atau penggunaannya, atau komposisi kimianya. Hampir semua standar, terutama di negara-negara maju, membuat penamaan baja dan spesifikasinya.

Baja konstruksi umum, dimana biasanya kekuatan merupakan faktor yang paling penting, penamaan didasarkan atas kekuatan tariknya. Dalam standar Jerman baja konstruksi dinyatakan dengan huruf St yang diikuti oleh bilangan yang menunjukkan kekuata tarik minimum dari baja itu dalam  $\text{kg/mm}^2$ . Misalnya baja konstrukai dengan kekuatan tarik tidak kurang dari  $37 \text{ kg/mm}^2$  dinyatakan sebagai St 37, baja St 60 adalah baja konstruksi dengan kekuatan tarik tidak kurang dari  $60 \text{ kg/mm}^2$ . Pada staadar Jepang (JIS), uutuk baja konstruksi umum, dinyatakau dengan huruf SS yang diikuti dengau angka kekuatan tariknya dalam  $\text{kg/mm}^2$ .

Untuk beberapa keperluan, terutama untuk konstruksi mesin, diperlukan baja dengan komposisi kimia yang terjamin. Dalam hal ini penggolongan baja didasarkan atas komposisi kimianya. DIN menetapkan nama baja karbon dengan huruf St C yang diikuti oleh angka yang menunjukkan per seratus persen karbonnya. Misalnya baja dengan kadar karbon sekitar 0,35 % dinyatakan sebagai St C 35. St C 45 adalah baja karbon dengan kadar C 0,45%. Sedangkan JIS menggunakan S diikuti bilangan yang menunjukkan per seratus persen kadar karbonnya dan huruf C, yaitu misalnya S 35C, S 45C, S 10C dan lainnya.

Untuk baja paduan rendah (low alloy steel) DIN menyatakan suatu jenis baja dengan kode berupa angka dan huruf, didahului dengan dua (atau tiga) angka yang menunjukkan kadar karbon dalam per seratus persen, diikuti dengan beberapa huruf yang menunjukkan nama kimia unsur paduan utamanya dan diikuti lagi oleh beberapa angka yang menunjukkan besarnya kandungan unsur-unsur paduan itu. Angka-angka itu menunjukkan per empat persen untuk unsur-unsur paduan yang sering dipergunakan dalam jumlah besar, yaitu Cr, Co, Mn, Ni, Si, dan W; menunjukkan besarnya kandungan unsur-unsur paduan yang penggunaanya biasanya dalam jumlah kecil, yaitu AL, Br, Pb, Cu, Mo, Nb, Ta, Ti,

V dan Zr, dalam per sepuluh persen; dan menyatakan per seratus persen bagi unsur-unsur P, S, N dan Ce. Misalnya :

15Cr3 = baja dengan 0,15 % C dan 3/4 % Cr.

13CrMo44 = baja dengan 0,13 % C, 4/4 % Cr dan 4/10 % Mo.

10S20 = baja dengan 0,10 % C dan 0,20 % S.

Untuk baja paduan tinggi (high alloy steel) sebelum angka pertama (yang menunjukkan per seratus persen karbon) diberi huruf X, dan angka-angka di belakang nama unsur paduan langsung menunjukkan persentase unsur paduan tersebut. Misalnya :

X-15CrSi9 = baja dengan 0,45 % C, 0 % Cr dan sedikit Si.

X12CrNi88 = baja dengan 0,12 % C, 18 % Cr dan 8 % Ni.

AISI (American Iron and Steel Institute) dan SAE (Society of Automotive Engineers) menyatakan spesifikasi baja dengan empat (atau lima) angka, angka pertama menunjukkan jenis bajanya, angka 1 untuk baja karbon, angka 2 untuk baja nickel, angka 3 untuk baja nickel chromium dan sebagainya.

Angka kedua, pada baja paduan sederhana menunjukkan kadar unsur paduannya, misalnya baja 25xx berarti baja nickel dengan sekitar 5 % Nickel. Pada baja paduan yang lebih kompleks angka kedua menunjukkan modifikasi jenis baja paduan, misalnya baja 40xx adalah baja molybden, 41xx baja chrom-molybden, 43xx baja nickel-chrom-molybden, dan lain-lain. Dua (atau tiga, bila terdiri dari lima angka) angka terakhir menunjukkan kadar karbon dalam per seratus persen. Jadi baja 4340 adalah baja nickel-chrom-molybden dengan 0,40 %C. Tabel 5.1 menunjukkan daftar nama jenis baja dengan nomor penamaannya.

JIS memberi symbol untuk baja paduan dengan huruf S diikuti dengan nama unsur paduan atau huruf depan dari nama unsur paduan dan nomor modifikasi paduannya. Misalnya baja mangan SMn 1, baja Mangan Chrom SMnC 3, baja Chrome Molybden SCM 21, baja Nickel Chrom SNC 3, baja Nickel Chrom Molybden SNCM 9, baja Chrom SCr 2, dan lain-Lain.

Tabel 3.1. AISI-SAE Designation Numbers for Wrought Steel

SAE Designation	Type	SAE Designation	Type
10XX	Plain carbon (non-sulfurized and nonphosphorized)	48XX	Nickel 3.50%, molybdenum 0.25%
11XX	Free cutting (resulfurized, e.g., screw stock)	51XX	Chromium 0.80%
12XX	Free cutting (resulfurized and rephosphorized)	514XX	Corrosion and heat resisting steels
13XX	Manganese 1.60-1.90%	515XX	Corrosion and heat resisting steels
23XX	Nickel 3.50%	52XX	Chromium 1.50%
25XX	Nickel 5.00%	61XX	Chromium 0.78%, vanadium 0.13%
31XX	Nickel 1.25%, chromium 0.60%	86XX	Nickel 0.55%, chromium 0.50%, molybdenum 0.20%
32XX	Nickel 1.75%, chromium 1.00%	87XX	Nickel 0.55%, chromium 0.50%, molybdenum 0.25%
33XX	Nickel 3.50%, chromium 1.50%	88XX	Nickel 0.55%, chromium 0.50%, molybdenum 0.35%
34XX	Nickel 3.00%, chromium 0.80%	92XX	Manganese 0.80%, silicon 2.00%
303XX	Corrosion and heat resisting steels	93XX	Nickel 3.25%, chromium 1.20%, molybdenum 0.12%
40XX	Molybdenum 0.25%	94XX	Manganese 0.95%-1.25%, nickel 0.45%, chromium 0.40%, molybdenum 0.12%
41XX	Chromium 1.00%, molybdenum 0.20%	97XX	Nickel 0.55%, chromium 0.17%, molybdenum 0.20%
43XX	Nickel 1.53%, chromium 0.80%, molybdenum 0.25%	98XX	Nickel 1.00%, chromium 0.80%, molybdenum 0.25%
46XX	Nickel 1.75%, molybdenum 0.25%		

### 3.3. Pengaruh Unsur paduan

Baja karbon biasanya sudah cukup memuaskan untuk digunakan bila persyaratan kekuatan, keuletan dan lain-lain tidak terlalu tinggi, baja karbon juga cukup baik untuk digunakan pada temperatur kamar dan pada kondisi lingkungan yang tidak terlalu korosif. Harganya pun relatif murah. Tetapi dalam beberapa hal baja karbon tidak memenuhi syarat untuk dipergunakan.

Baja karbon dapat mencapai kekuatan yang tinggi, dengan menaikkan kadar karbonnya, tetapi ini sangat menurunkan keuletan dan ketangguhannya. Kekuatannya akan banyak berkurang bila bekerja pada temperatur yang agak tinggi. Pada temperatur rendah ketangguhannya menurun cukup drastis. Baja karbon mempunyai hardenability yang umumnya agak rendah, dan setelah pengerasan mudah menjadi lunak kembali bila mengalami pemanasan. Hal-hal ini sering merupakan hambatan/kesulitan dalam penggunaan baja karbon.

Dengan menambahkan satu atau beberapa unsur paduan tertentu maka banyak di antara kesulitan tersebut dapat teratasi. Baja dengan tambahan beberapa unsur paduan dinamakan baja paduan.

Unsur paduan sengaja ditambahkan ke dalam baja dengan tujuan untuk mencapai salah satu atau beberapa dari tujuan berikut :

1. menaikkan hardenability
2. memperbaiki kekuatan pada temperatur biasa
3. memperbaiki sifat mekanik pada temperatur rendah atau tinggi
4. memperbaiki ketangguhan pada tingkat kekuatan atau kekerasan tertentu
5. menaikkan sifat tahan aus
6. menaikkan sifat tahan korosi
7. menaikkan sifat kemagnetan

Pengaruh unsur paduan terhadap baja banyak dipengaruhi oleh cara penyebarannya di dalam konstituen baja itu. Pada dasarnya semua unsur paduan, sedikit atau banyak, dapat larut di dalam ferrit, dan austenit pada umumnya dapat melarutkan unsur paduan dalam kadar yang lebih banyak tinggi. Sebagian dari unsur-unsur paduan di dalam baja cenderung akan membentuk karbida, ada yang kecenderungannya tinggi ada pula yang rendah, bahkan ada yang tidak pernah dijumpai membentuk karbida. Unsur paduan yang mempunyai kecenderungan kuat untuk larut dalam ferrit biasanya tidak membentuk karbida.

Sebaliknya yang mempunyai kecenderungan kuat untuk membentuk karbida kelarutannya di dalam ferrit lebih terbatas. Tabel 3.2 memperlihatkan pengelompokan unsur paduan menurut kecenderungannya untuk larut dalam ferrit atau membentuk karbida.

Tabel 3.2 memperlihatkan pengelompokan unsur paduan.

ALLOYING ELEMENT	GROUP 1 DISSOLVED IN FERRITE	GROUP 2 COMBINED IN CARBIDE
Nickel	Ni	
Silicon	Si	
Aluminium	Al	
Copper	Cu	
Manganese	Mn	←→ Mn
Chromium	Cr	←→ Cr
Tungsten	W	←→ W
Molybdenum	Mo	←→ Mo
Vanadium	V	←→ V
Titanium	Ti	←→ Ti

Unsur paduan selain mungkin dapat larut didalam ferrit dan austenit, dan membentuk karbida juga ada yang dapat membentuk nitrida. Dan ternyata juga selain dapat membentuk suatu fase, unsur paduan juga dapat menstabilkan suatu fase (walaupun ia sendiri tidak ikut membentuk fase tersebut). Dari sini unsur paduan dapat dikelompokkan menurut fungsinya, membentuk suatu fase atau menstabilkan suatu fase tertentu. Kelompok unsur paduan menurut fungsinya:

1. Ferrite stabilizer, yaitu unsur paduan yang membuat ferrit menjadi lebih stabil sampai ke temperatur yang lebih tinggi. Biasanya ferrit akan bertransformasi menjadi austenit pada suatu temperatur tertentu, dengan adanya unsur paduan ferrite stabilizer maka temperatur transformasi ini akan naik, bahkan bila jumlah unsur itu cukup banyak ferrit tetap stabil sampai mulai terjadinya pencairan.

Sebenarnya hampir semua unsur paduan mempunyai sifat ini, kecuali Nickel dan Mangan. Yang terpenting pada kelompok ini adalah Cr, Si, Mo, W dan Al.

2. Austenite stabilizer, yaitu unsur paduan yang membuat austenit menjadi lebih stabil pada temperatur yang lebih rendah. Biasanya austenit akan

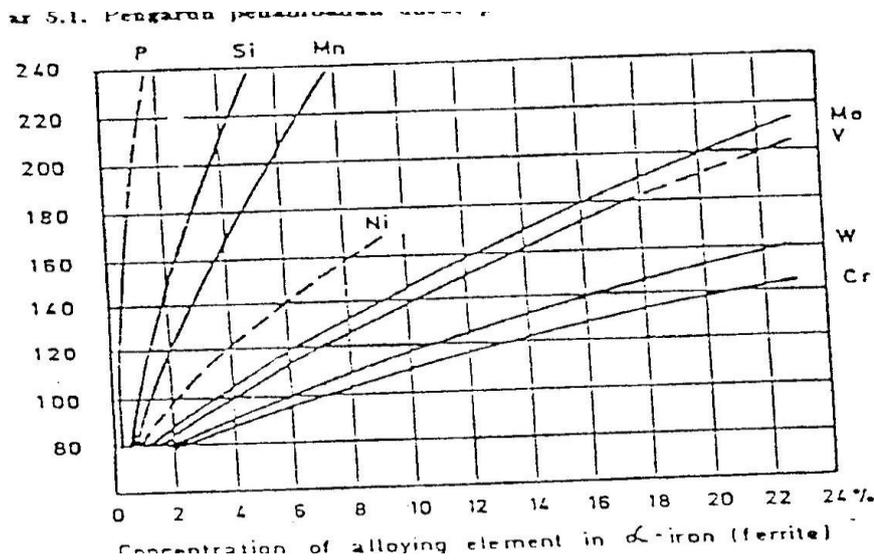
mulai bertransformasi bila didinginkan sampai ke temperatur tertentu, dengan adanya unsur paduan ini temperatur transformasi ini menjadi lebih rendah, bahkan dapat mencapai temperatur kamar. Unsur yang terpenting pada kelompok ini adalah Ni dan Mn.

3. Carbide forming elements, yaitu unsur paduan yang di dalam baja dapat membentuk karbida. Yang terpenting dalam kelompok ini (diurut mulai dari yang mempunyai affinitas terhadap karbon rendah) yaitu Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta dan Zr. Bila di dalam baja terdapat lebih dari satu unsur pembentuk karbida belum tentu semuanya akan membentuk karbida, unsur yang mempunyai affinitas lebih rendah mungkin tidak dapat membentuk karbida bila hampir semua karbon sudah terikat oleh unsur dengan affinitas yang lebih tinggi. Karbida yang terbentuk ini dapat berupa karbida sederhana atau karbida kompleks. Adanya karbida akan menaikkan sifat tahan aus, biasanya alloy tool steel mengandung unsur pembentuk karbida dengan kadar yang cukup tinggi.
4. Carbide stabilizer, yaitu unsur paduan yang membuat karbida menjadi lebih stabil, tidak mudah terurai dan larut ke dalam suatu fase. Unsur-unsur dalam kelompok ini (diurut dari yang lemah ke kuat): Co, Ni, W, Mo, Mn, Cr, V, Ti, Nb dan Ta. Di sini tampak bahwa tidak selalu carbide former yang kuat adalah juga carbide stabilizer yang kuat, misalnya Mn, ia adalah carbide former yang sangat lemah tetapi ia dapat berfungsi sebagai carbide stabilizer yang cukup kuat, bahkan lebih kuat dari Mo.
5. Nitride forming elements, yaitu unsur yang dapat membentuk nitrida. Pada dasarnya semua unsur pembentuk karbida adalah juga pembentuk nitrida (yang dapat membentuk nitrida bila dilakukan nitriding). Gambar di atas memperlihatkan pengaruh unsur paduan terhadap kekerasan sesudah proses nitriding. Tampak bahwa Al dan Ti mempunyai pengaruh paling kuat untuk menaikkan kekerasan setelah nitriding.

### **3.4. Pengaruh terhadap ferrit**

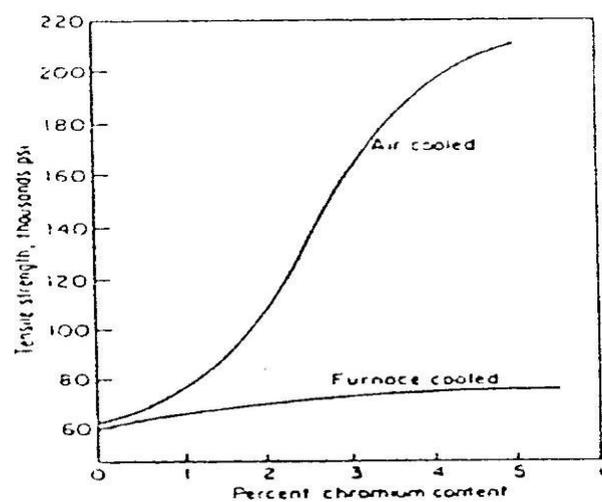
Semua unsur paduan yang membentuk larutan padat akan menaikkan kekerasan dan kekuatan. Demikian pula halnya dengan unsur paduan yang larut ke dalam ferrit, akan menaikkan kekerasan dan kekuatan ferrit. Memang

pengaruh dari masing-masing unsur tidak sama, hal ini digambarkan pada grafik Gambar 3.1. Dari grafik itu ternyata Si dan Mn, unsur paduan yang paling sering dijumpai, mempunyai pengaruh yang paling besar, sedangkan Cr mempunyai pengaruh yang paling kecil.



Gambar 3.1 Pengaruh unsur paduan terhadap ferit

Namun demikian pengaruh unsur paduan terhadap kekuatan dan kekerasan baja secara keseluruhan hampir tidak berarti bila tidak terjadi perubahan struktur. Gambar 3.2 memperlihatkan hal ini. Pada struktur yang furnace cooled hampir tidak terjadi kenaikan kekuatan tetapi pada struktur yang air cooled terjadi kenaikan kekuatan yang cukup tinggi.



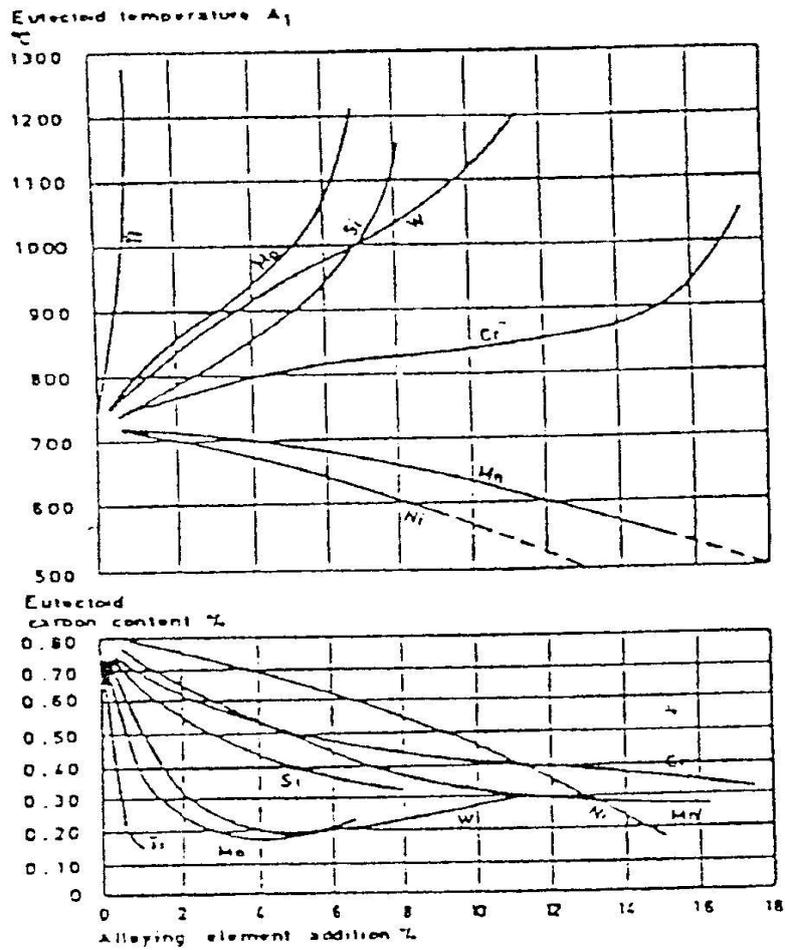
Gambar 3.2 Pengaruh unsur chrom terhadap kenaikan kekuatan baja

Karena pengaruh chrom yang kecil inilah ia banyak digunakan sebagai unsur paduan pada baja yang akan banyak mengalami cold working.

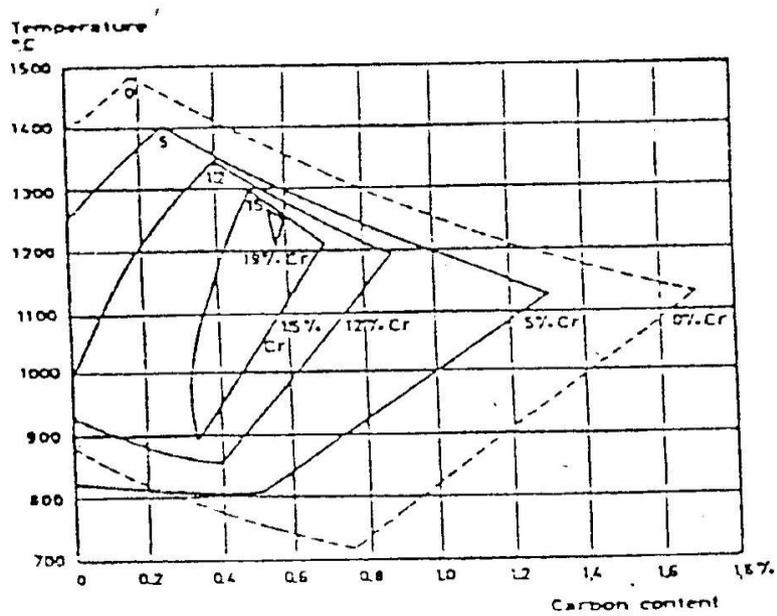
### **3.5. Pengaruh terhadap diagram fase**

Dengan adanya unsur paduan di dalam baja akan merubah diagram fase baja, pada umumnya titik eutektoid akan tergeser ke kiri, sehingga kadar karbon di dalam perlit akan kurang dari 0,8 %. Unsur paduan yang berfungsi sebagai austenite stabilizer, yaitu Ni dan Mn, cenderung menurunkan temperatur eutektoid, sedang unsur paduan yang berfungsi sebagai ferrit stabilizer, yaitu hampir semua unsur paduan kecuali Ni dan K akan menaikkan temperatur eutektoid. Jadi dapat dikatakan bahwa semua unsur paduan, kecuali Ni dan Mn akan menggeser titik eutektoid ke kiri atas, sedang Ni dan Mn menggeser titik eutektoid itu ke kiri bawah. Ini dapat dilihat pada gambar 3.3.

Selain itu unsur paduan penstabil ferrit akan memperluas daerah ferrit dan memperkecil daerah austenit, ini digambarkan dengan makin sempitnya daerah austenit dari baja dengan kadar Chrom yang makin tinggi gambar 3.5. Unsur paduan penstabil austenit akan memperluas daerah austenit, digambarkan dengan makin luasnya daerah austenit dari baja dengan kadar Mangan yang makin besar, apakah temperatur pemanasan harus lebih tinggi atau lebih rendah, dan sebagainya.



Gambar 3.4 Pengaruh unsur paduan terhadap temperatur eutektik



Gambar 3.5 Pengaruh unsur chrom terhadap daerah austenit

### 3.6 Pengaruh terhadap diagram transformasi

Juga terhadap diagram transformasi unsur paduan ikut berpengaruh. Semua unsur paduan, kecuali Cobalt, akan menghambat perabentukan ferrit dan sementit pada pendinginan, jadi akan menggeser kurva transformasi ke kanan. Juga telah dipaparkan di depan bahwa semua unsur paduan, kecuali Cobalt, menurunkan temperatur pembentukan martensit  $M_3$ , juga  $M_f$  nya. Ini semua menyebabkan martensit lebih mudah terbentuk, jadi dapat dikatakan bahwa unsur paduan akan menaikkan hardenability baja.

Hanya saja perlu diingat bahwa dengan makin rendahnya  $M_3$  dan  $M_f$ , seringkali menyebabkan timbulnya banyak retained austenit, karena mungkin  $M_f$  sudah sedemikian rendahnya, lebih rendah daripada temperatur kamar, sehingga pada temperatur kamar masih banyak terdapat austenit, sehingga kekerasan tidak mencapai yang diharapkan.

Beberapa unsur paduan dapat membentuk karbida atau nitrida berupa partikel halus yang terdispersi secara merata. Adanya partikel halus ini akan mencegah terjadinya pertumbuhan butir. Dalam banyak hal ini akan memberi pengaruh baik terhadap sifat mekanik, kekuatan dan ketangguhan yang tinggi. Unsur paduan yang mencegah terjadinya pertumbuhan butir ini antara lain vanadium, Titanium, Niobium dan juga aluminium. Ini banyak digunakan untuk membuat fine-grained steel untuk case hardening.

Untuk melarutkan karbida atau nitrida tersebut diperlukan temperatur yang lebih tinggi dan/atau holding time yang lebih panjang. Dalam melakukan pengerasan seringkali diharapkan untuk melarutkan seluruh karbon ke dalam austenit, agar nanti dapat diperoleh kekerasan yang lebih tinggi. Bila sebagian karbon yang ada dalam baja berupa karbida dari unsur di atas, maka pada temperatur pemanasan yang biasa, karbida itu masih tetap belum larut ke dalam austenit, sehingga ini semua (butir kristal austenit yang halus dan kadar karbon/paduan dalam austenit rendah) mengakibatkan turunnya hardenability. Untuk melarutkan semua karbida diperlukan temperatur, yang lebih tinggi, tetapi bila temperatur dinaikkan lebih tinggi lagi sehingga semua karbon akhirnya larut, akan ada resiko terjadinya pertumbuhan butir yang sangat hebat. Ini juga dapat berakibat kurang baik.

Karbida kompleks juga sangat sukar dilarutkan pada pemanasan. Karena itu unsur-unsur paduan ini, yang menghambat pertumbuhan butir dan/atau yang membentuk karbida kompleks, baru akan menaikkan hardenability bila pada pemanasan dapat larut dalam austenit. Tetapi mengingat ini menyangkut temperatur pemanasan yang terlalu tinggi dengan resiko terjadi pertumbuhan butir yang berlebihan maka biasanya tidak perlu dipanaskan sampai seluruhnya larut dalam austenit.

### **3.7 Pengaruh pada tempering**

Telah dijelaskan di depan bahwa baja yang dikeraskan akan melunak dengan pemanasan kembali (tempering). Makin tinggi temperatur tempering makin banyak penurunan kekerasan yang terjadi. Secara umum dapat dikatakan bahwa semua unsur paduan menghambat laju penurunan kekerasan karena tempering. Jadi adanya unsur paduan akan menaikkan temperatur tempering untuk mencapai suatu kekerasan tertentu. Unsur-unsur yang mudah larut dalam ferrit, unsur yang tidak membentuk karbida, seperti Ni, Si dan juga Mn pengaruhnya kecil sekali.

Unsur pembentuk karbida mempunyai pengaruh yang lebih kuat, apalagi unsur pembentuk karbida kompleks, seperti Cr, W, Mo, V dan lain-lain, pengaruhnya kuat sekali. Bukan saja akan menghambat laju penurunan kekerasan, bahkan bila terdapat dalam jumlah cukup besar dapat memberi kenaikan kekerasan dengan tempering pada temperatur tertentu, dikenal sebagai secondary hardness.

### **3.8 Sifat dan pemakaian baja paduan**

Karena begitu banyaknya macam baja paduan tentunya tidak mungkin untuk membahas satu persatu. Di sini akan diuraikan secara singkat sifat beberapa senyawa baja paduan AISI.

1. Baja nickel (seri 2xxx). Nickel merupakan unsur paduan yang paling tua. Kelarutannya di dalam austenit dan ferrit tinggi sekali, memberikan kekuatan dan ketangguhan yang tinggi. Nickel juga menurunkan kadar karbon di dalam perlit, sehingga baja mengandung lebih banyak perlit dari pada baja karbon. Dan perlit terbentuk pada temperatur yang lebih rendah (nickel adalah unsur penstabil austenit) menyebabkan perlitnya lebih halus, lebih tangguh.

Baja nickel cocok digunakan sebagai baja konstruksi kekuatan tinggi yang dipakai pada kondisi as-rolled, atau benda tempa yang besar yang tidak dikeraskan. Baja nickel dengan 3,5 % Ni dan karbon rendah banyak digunakan sebagai baja untuk carburising, dipakai untuk roda gigi, baut piston rod, dan lain-lain. Dengan 5 % Ni, baja lebih kuat dan tangguh, digunakan untuk beban yang lebih besar. Keberatan dalam pemakaian nickel adalah harganya yang mahal, sehingga sekarang penggunaannya makin berkurang.

2. Baja chrom (seri 5xxx). Chrom juga larut di dalam ferrit dan austenit, terutama pada baja dengan kadar karbon rendah. Ini akan menaikkan kekuatan dan ketangguhan. Baja dengan kadar karbon dan chrom rendah biasanya digunakan untuk dikarburising. Dengan chrom lebih dari 5 % sifat pada temperatur tinggi dan sifat tahan korosi menjadi lebih baik. Dengan chrom lebih dari 10 % sifat tahan korosi sangat baik (stainless steel).

Chrom dapat membentuk karbida bila, terdapat cukup karbon, akan menaikkan sifat tahan aus. Dengan kadar karbon medium hardenability cukup tinggi, oil hardenable, banyak digunakan untuk pegas, baut mesin, poros dan lain-lain. Dengan kadar karbon tinggi baja menjadi keras sangat tahan aus, digunakan untuk ball/roller bearing dan mesin-mesin crusher.

3. Baja nickel chrom (seri 3xxx). Dalam baja ini ada perbandingan antara nickel dengan chrom 2,5 : 1, yang memberikan sifat baik dari kedua unsur paduan itu. Nickel memperbaiki keuletan dan ketangguhan dikombinasi dengan naiknya hardenability dan sifat tahan aus yang diberikan oleh chrom. Dengan kadar karbon rendah baja ini banyak digunakan untuk dikarburising. Chrom memberikan sifat tahan aus pada permukaan sedang nickel memberikan ketangguhan pada bagian dalam. Seri 31xx, 1,5 % Ni dan 0,6 % Cr, banyak digunakan untuk worm gear, piston pin dan lain-lain. Untuk beban berat seperti aircraft gear, poros dan cam, digunakan seri 33xx, 3,5 % Ni dan 1,5 % Cr. Dengan medium carbon, baja ini digunakan untuk automotive connecting rod, drive shaft dan lain-lain. Sekarang baja ini kurang banyak dipakai, digantikan oleh seri 87xx dan 88xx, nickel chrom moly steel, yang lebih murah.
4. Baja mangan (seri 13xx). Mangan salah satu unsur paduan yang paling murah, selalu ada dalam baja, sebagai deoksidiser. Mangan mengurangi kecenderungan terjadinya hot shortness yang ditimbulkan oleh belerang. Mn mencegah

- terjadinya FeS yang membentuk eutektik dengan besi yang menjadikan baja mengalami hot shortness. Dengan membentuk MnS, yang titik leburnya lebih tinggi, kemungkinan terjadinya retak pada saat pengerjaan temperatur tinggi.
5. Baja tungsten. Tungsten (wolfram) salah satu carbide former yang kuat, mempunyai pengaruh menaikkan hardenability sangat kuat dan menghambat pelunakan martensit pada saat tempering. Secara umum sifat/pengaruh tungsten sama dengan molybden, hanya saja molybden sedikit lebih kuat pengaruhnya, sehingga untuk mencapai efek yang sama akan diperlukan tungsten lebih banyak, kira-kira 1 % Mo sama pengaruhnya dengan 2-3 % W. Karena harganya cukup mahal dan harus digunakan dalam jumlah yang lebih banyak, maka tungsten biasanya tidak digunakan pada baja konstruksi, biasanya digunakan pada baja perkakas.
  6. Baja vanadium. Vanadium, unsur paduan yang paling mahal, deoxidizer dan carbide former yang sangat kuat, menghambat pertumbuhan butir. Dengan 0,05 % V dapat dihasilkan suatu bendatanganan yang baik, uniform dan fine grained. Vanadium juga menaikkan hardenability. Baja chrom vanadium (seri 61xx) dengan karbon rendah digunakan untuk peralatan yang dicase hardening. Dengan medium carbon ketangguhan dan kekuatannya tinggi sekali, dipakai untuk poros dan pegas. Dengan karbon tinggi kekerasan dan sifat tahan ausnya tinggi, digunakan untuk bearing dan baja perkakas.
  8. Baja silikon. Seperti mangan, silikon juga deoxidizer yang murah selalu terdapat dalam baja, baja dianggap sebagai baja paduan bila mengandung silikon lebih dari 0,6 %, yaitu baja silikon. Seperti nikel, silikon juga bukan carbide former, larut dalam ferrit dan menaikkan kekuatan serta ketangguhan. Baja dengan 1 - 2 % Si, dikenali sebagai navy steel digunakan sebagai baja untuk konstruksi yang memerlukan yield point tinggi. Dengan 3 % Si dan 0,01 % C, dikenal sebagai Hadfield silicon steel mempunyai sifat kemagnetan yang baik, dipakai pada alat listrik. Baja silikon mangan (AISI 9260) mempunyai kekuatan, keuletan dan ketangguhan tinggi, banyak digunakan untuk pegas daun maupun spiral, juga untuk chisel dan punch.



## BAB IV LOGAM-LOGAM BUKAN BESI

### 4.1 Tembaga ( Cu )

Tembaga berwarna coklat keabu-abuan dan mempunyai struktur kristal Fcc, sifatnya sangat baik untuk pengantar listrik, mampu panas, ductile dan dapat berbentuk plat-plat atau kawat.

Bijih tembaga ada 3 jenis :

- Bijih Sulfida
- Bijih Oksida
- Bijih Murni ( native )

Tabel 4.1 Jenis-jenis bijih tembaga

Mineral	Rumus Kimia	Kandungan Tembaga
Chalcopyrite	$Cu Fe S_2$	34,6 %
Bornite	$Cu S Fe_2 S_3$	55,6 %
Chalcocite	$Cu_2 S$	68,5 %
Melactite	$Cu CO_3 Cu(OH)_2$	57,4 %
Native Copper	Cu	99,99 %
Herogenite	$Cu_2O_3 CuO_n H_2O$	---

### 2. Sifat-sifat Tembaga

- Rapat massa relative :  $8,9 \text{ gr / cm}^3$
- Titik lebur :  $1070 - 1095 \text{ }^\circ\text{C}$
- Sifat-sifat khas
  - lunak
  - kuat
  - konduktivitas panas dan listriknya sangat tinggi
- Kekuatan tarik :  $200 \div 300 \text{ N/mm}^2$

Penggunaan Tembaga :

- untuk konduktor listrik
- untuk alat solder
- untuk pipa spiral pendingin
- untuk kerajinan tangan
- untuk bahan dasar pembuatan kuningan
- untuk bahan dasar pembuatan perunggu

Paduan dari tembaga :

1. Kuningan ( Brass )  
Cu + Zn ( Tembaga - Seng )
2. Perunggu ( Bronze )  
Cu + Sn ( tembaga + Timah putih )
3. Dan paduan lainnya seperti
  - Perunggu + aluminium
  - Perunggu + posfor
  - Paduan perunggu yang dikeraskan

#### **4.2 Aluminium ( AL )**

Sifat yang paling menonjol dari Al adalah berat jenis yang rendah dan hantar listrik / panas yang cukup baik.

Logam aluminium mempunyai struktur kristal FCC, Logam ini tahan terhadap korosi pada media yang berubah-ubah dan mempunyai ductilitas yang tinggi. Bijih aluminium dapat digolongkan dalam beberapa golongan yaitu :

- Bijih Bauksit , bijih ini didapat dari bebatuan yang berwarna merah atau coklat, Bauksit setelah dipisahkan dari kotoran-kotoran pengotor didapat koalin, Nepheline, Alumite dan Cynite.

Metode proses pemurnian aluminium dapat diklsifikasikan menjadi 3 golongan yaitu:

##### **1. Proses Elektrothermis**

Pada proses ini bijih-bijih dicairkan dalam dapur listrik sehingga diperoleh cairan aluminium . Proses ini jarang dipergunkan karena diperlukan energi listrik yang sangat besar.

##### **2. Proses Asam**

Pada proses ini bijih-bijih aluminium dilarutkan dengan larutan asam sehingga unsur-unsur pengantar dapat dipisahkan. Setelah garam dari pengantarnya baru kemudian dipisahkan logam dari pengantar tersebut. Proses ini dalam industri digunakan dalam batas-batas tertentu karena dibutuhkan peralatan-peralatan tahan asam yang sangat mahal.

### 3. Proses Alkaline

Proses ini adalah efek dari reaksi bauksit dengan NaOH dengan bahan tambahan kapur. Proses ini unsur-unsur oksida besi, titanium dan kalsium dapat dipisahkan dan silisium yang terdapat dalam bijih-bijih akan dapat bereaksi dengan alkali yang mengakibatkan sebagian dari alkali dan aluminium yang bereaksi akan mengotori aluminium yang dihasilkan. Oleh karenanya maka metode alkali sering digunakan pada bijih-bijih dengan kandungan silika yang rendah.

#### Sifat-sifat Aluminium

- a. Rapat jenis :  $2,7 \text{ gr/cm}^3$
- b. Titik lebur :  $660 \text{ }^\circ\text{C}$
- c. Kekuatan tarik
  - Dituang :  $90 - 120 \text{ N/mm}^2$
  - Di Anelling :  $70 \text{ N/mm}^2$
  - Di Roll :  $130 - 200 \text{ N/mm}^2$
- d. Sifat-sifat khas
  - paling ringan
  - penghantar panas / listrik tinggi
  - lunak
  - Ulet
  - Kekuatan tarik rendah
  - Tahan tahap korosi

#### Penggunaan Aluminium :

- Karena sifat ringan banyak digunakan dalam
  - pembuatan kapal terbang
  - rangka khusus untuk kapal laut
  - kendaraan – kendaraan dan bangunan industri

- Untuk keperluan alat masak
- Untuk kabel-kabel listrik, karena relative lebih murah dari tembaga
- Aluminium tuang, jika dikehendaki untuk konstruksi yang ringan dengan kekuatan yang tidak terlalu besar.

### 4.3 Nikel

Nikel mempunyai sifat yang keras, bentuk struktur kristal Fcc, dan juga bersifat magnetic, Nikel cocok dibuat paduan binary dan ternary untuk memperbaiki sifat tahan korosi dan tahan panas.

Bijih-bijih Nikel dapat diklasifikasikan menjadi :

- bijih sulfida
- bijih silikat

Proses bisa dilakukan dengan :

- Proses Pyrometalurgy
- Proses Hydrometalurgy

Sifat-sifat nikel

- Rapat massa relative :  $8,9 \text{ Gr / cm}^3$
- Titik lebur :  $1458 \text{ }^\circ\text{C}$
- Kekuatan tarik
  - Dianil  $400 - 500 \text{ N / mm}^2$
  - Diroll :  $700 - 800 \text{ N / mm}^2$
- Sifat khas
  - kuat
  - liat
  - tahan korosi
  - sebagai bahan paduan

Penggunaan Nikel

- Digunakan untuk pelapisan logam
- Digunakan sebagai unsur paduan untuk menguatkan sifat-sifat mekanik logam.

### 4.4 Magnesium

Magnesium tergolong logam ringan, tahan terhadap korosi berkat lapisan oksida magnesium. Magnesium alloy dapat dituang dalam cetakan psir dan

juga dapat dilas dan di mesin. Biji magnesium yang banyak kita kenal adalah magnesit, magnesium karbonat, dolomite dan carolite.

Proses pemurnian magnesium dapat dilakukan dengan metode thermal atau electrolytic.

Sifat magnesium :

Rapat massa relatif :  $1,74 \text{ gr/cm}^3$

Titik lebur :  $637^\circ\text{C}$

Sifat-sifat :

- Lunak dan kekuatan tarinya rendah
- Tahan terhadap korosi

Penggunaannya :

Magnesium umumnya dipadu dengan unsur-unsur lain untuk memperoleh bahan-bahan struktural terutama digunakan untuk roda pesawat terbang , panel-panel pesawat, dan lainnya.



## **BAB V**

# **KOROSI DAN PENCEGAHANNYA**

### **5.1 Pengertian Korosi**

Korosi dapat didefinisikan adalah sebagai perusakan suatu material (terutama logam) yang disebabkan oleh reaksi kimia atau elektro kimia dengan lingkungannya. Karena bereaksi dengan lingkungannya maka logam menjadi oksidasi, sulfida atau reaksi lain yang disebabkan oleh lingkungan. Dengan bereaksi ini sebagian logam akan hilang menjadi suatu senyawa yang lebih stabil. Dalam logam pada umumnya berupa suatu senyawa karena itu peristiwa korosi juga dapat dianggap sebagai peristiwa kembalinya logam menuju ke bentuk sebagai mana ia terdapat di alam. Hilangnya sebagian logam ini mengakibatkan kerugian-kerugian yang lebih besar antara lain. Kerugian-kerugian yang disebabkan oleh korosi:

1. Penampilan kurang bagus (akibat penempelan reaksi kimia)
2. Biasanya menimbulkan kebocoran karena lubangnya disebabkan oleh sebagian logam korosi
3. Menurunkan kekuatan / ketangguhan pada konstruksi
4. Kerusakan sebagian dari peralatan bisa menghentikan jalannya seluruh proses untuk perbaikan.
5. Biaya perawatan akibat korosi cukup mahal
6. Hasil reaksi korosi juga mengakibatkan pencemaran pada suatu produk, misalnya : makanan, minuman, dll

### **5.2 Mekanisme dan macam-macam bentuk korosi**

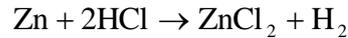
Menurut terjadinya reaksi kimia

#### **A. Korosi secara kimia (Chemical Corrosion)**

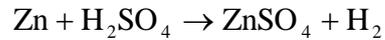
Yaitu korosi yang terjadi dengan reaksi kimia secara murni, yang terjadi tanpa ikut sertanya elektrolit. Umumnya terjadi pada katup motor bakar  
Contoh-contoh reaksi secara kimia

- a. Korosi logam dalam larutan asam

- Seng dalam larutan klorida



- Seng dalam larutan asam sulfat

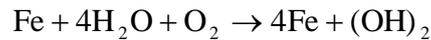


- Besi dalam larutan klorida

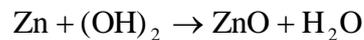
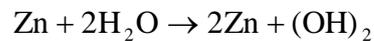


b. Korosi logam larutan netral dan basa

- Besi dalam udara lembab



- Seng berada dalam udara lembab



*B. Korosi secara elektro kimia (elektro chemical corrosion)*

Korosi ini terjadi dengan adanya suatu elektrolit, cairan mengandung ion-ion dan menyebabkan perpindahan electron yang meliputi oksidasi dan reduksi.

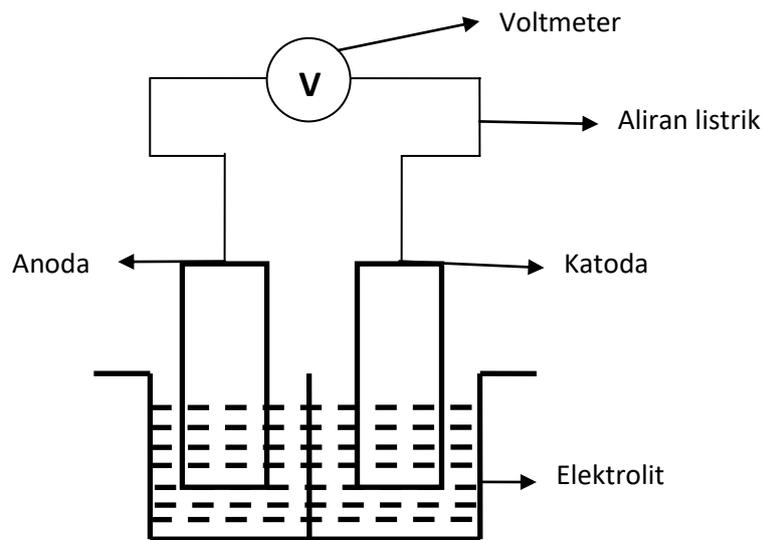
Contoh :

Bila sepotong logam dicelupkan kedalam larutan elektrolit maka beberapa atom logam akan larut kedalam elektrolit dengan melepaskan sejumlah electron



Reaksi oksidasi ini segera mencapai keseimbangan bila laju pembentukan ion logam + electron sama dengan laju pembentukan logam dari larutan.

Mekanisme korosi secara elektro kimia :



Gambar 5.1 *Korosi secara elektro kimia*

### 5.3 Sel Galvanik (Cell Galvanik )

Suatu reaksi korosi dapat berlangsung bila ada bagian yang berfungsi sebagai anoda (yang terkorosi) dan bagian lain sebagai katoda, yang berhubungan satu sama lain (disebut sel galvanik). Sel galvanic terjadi apabila ada perbedaan potensial antara kedua bagian tersebut

Ada 3 jenis sel galvanik :

1. Composition cell
2. Cosentration cell
3. Stress cell

1. *Composition cell*, dapat terjadi antara dua logam yang berbeda karena setiap logam mempunyai elektroda potensial yang berbeda :

- Logam dengan elektroda potensial yang lebih positif akan menjadi katoda dan sebaliknya anoda.
- Lebih besar perbedaanya lebih besar juga laju korosinya yang terjadi

Perbedaan potensial juga dapat terjadi pada suatu logam :

- Adanya Impurity struktur mikro yang terkumpul pada batas butir Kristal
- Adaanya perbedaan orientasi butir Kristal
- Adanya perbedaan komposisi

- Adanya lebih dari satu fase

## 2. Concentration cell

Yaitu sel galvanik yang terjadi karena salah satu bagian logam berada dalam suatu elektrolit dengan konsentrasi yang berbeda. Misalnya:

- Laut elkasralit tidak homogen
- Adanya konsentrasi oksigen terlarut
- Adanya kotoran di permukaan

## 3. Stress cell

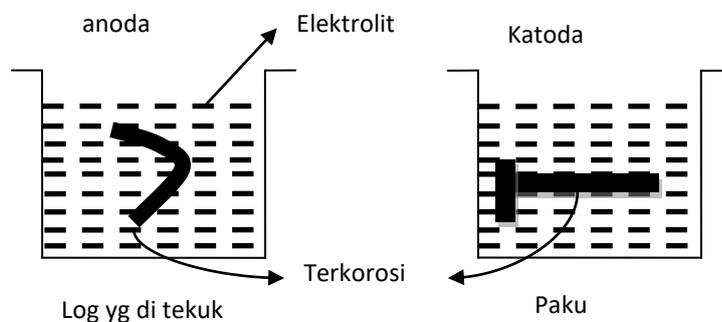
Terjadi adanya bagian yang mengalami tegangan dengan bagian lain.

Misalnya:

- Deformasi dingin
- Perlakuan panas

Bagian yang mengalami tegangan lebih besar akan menjadi anoda dan akan terkorosi lebih hebat.

Contoh



Gambar 5.2 Reaksi Korosi

## 5.4 Kalsifikasi bentuk korosi

### 1. Uniform corrosion

Yaitu korosi terjadi pada seluruh permukaan logam/paduan yang bersentuhan dengan elektrolit dengan intensitas sama.

### 2. Galvanic corrosion

Yaitu terjadi apabila dua logam yang berbeda berada dalam satu elektrolit. Dalam hal ini logam yang kurang mulia (lebih anodic) akan terkorrosi, sedangkan logam lebih mulia (lebih katoda) malah akan terlindungi dari korosi.

3. Crevice corrosion

Yaitu terjadi pada celah-celah yang sempit. Pada celah terjadi Concentration cell, sehingga terjadi korosi.

4. Pitting

Yaitu merupakan korosi yang terlahaksir pada satu atau beberapa titik dan mengakibatkan terjadinya lubang kecil yang dalam.

5. Intergranuler corrosion

Yaitu korosi yang terjadi pada batas butir. Batas butir sering sekali merupakan tempat pengumpulan Impurity atau suatu Presipitat, juga merupakan daerah yang lebih tegang

6. Selective leaching

Yaitu larutnya salah satu komponen saja dari suatu paduan dan ini mengakibatkan paduan yang tersisa akan menjadi berpori dan tentunya kekuatannya akan berkurang

7. Erosion corrosion

Yaitu korosi yang dipercepat dengan adanya erosi, yang ditimbulkan oleh gesekan cairan. Contoh: Pada sudu pompa, pipa yang ada belokan dan turbulen

8. Stress corrosion

Yaitu korosi yang timbul sebagai akibat bekerjanya tegangan dan media yang korosip.

- Termasuk jenis korosi :
  - Suasion Craching pada kuningan
  - Corrosion Fatigue
  -

***Faktor-faktor yang mempengaruhi korosi***

1. Jenis dan konsentrasi elektrolit, makin tinggi akan lebih korosip
2. Adanya oksigen yang telarut dalam elektrolit, umumnya akan menaikkan laju korosi

3. Temperatur yang makin tinggi
4. Kecepatan aliran elektrolit
5. Jenis logam/paduan
6. Adanya galvanic cell (antara dua logam/logam itu sendiri)
7. Adanya tegangan, tegangan tarik, tegangan sisa.

### ***Pencegahan korosi***

1. Pemilihan bahan yang tepat, karena suatu bahan tertentu akan tahan korosi pada elektrolit tertentu.
2. Merubah kondisi lingkungan
  - a. Menurunkan temperatur (laju korosi turun)
  - b. Menurunkan kecepatan aliran elektrolit (bergerak/diam)
  - c. Menghilangkan oksigen terlarut
  - d. Menurunkan konsentrasi (tidak tentu)
3. Rancangan (Desain) yang tepat
  - a. Untuk konstruksi hindari adanya celah-celah kecil
  - b. Harus dirancang lubang pembuangan, hindari adanya sisa cairan
  - c. Bagian-bagian yang mudah rusak harus gampang pengantiannya
  - d. Hindari adanya bagian yang mengalami tegangan besar
  - e. Pada konstruksi pipa hindari terjadinya belokan yang terlalu tajam dan aliran terlalu tinggi
  - f. Hindari adanya kantong-kantong udara
  - g. Usahakan semua bagian mudah di bersihkan dan Inspeksi
4. Katodik protection

Yaitu mengalirkan electron ke logam yang akan dilindungi. Pada reaksi korosi di anoda akan terjadi reaksi menghasilkan electron dan bila electron ini di alirkan keluar dari anoda ke katoda (ada arus listrik mengalir dari katoda ke anoda lewat konduktor) maka reaksi berlanjut terus.

#### 5. Anodic protection

Arus listrik hasil reaksi korosi bukan di lawan justru diperbesar, sehingga kekuatan arus itu mencapai daerah positif, reaksi korosi terhenti (logam→baja)

#### 6. Surface coating

Yaitu memberikan lapisan pelindung pada permukaan logam dengan logam. Oksida atau dengan senyawa organik

- Metallic Coating dengan logam yang kurang mulia dibanding dengan logam yang dilindungi akan memberikan perlindungan sebagai mana halnya Katodik protection logam. Pelindungnya habis (hindari kebocoran)

- Oxide Coating

Yaitu pelapisan dengan oksida secara alamiah terjadi pada aluminium. Pelapisan ini dapat dibuat dengan pencelupan logam yang akan dilindungi kedalam Oxidizing Agent yang kuat atau dengan Anodizing

- Organic Coating

Yaitu pelapisan dengan senyawa organik. Misalnya:

- Pengecatan sebagai pelindung dan memberikan penampilan yang cukup menarik
- Pelapisan dengan karet
- Pelapisan dengan plastik, dll



## **BAB VI**

# **BAHAN BUKAN LOGAM**

### **6.1 Klasifikasi Bahan non logam**

Bahan non logam ini terdiri dari :

- a. Keramik ( Ceramic )
- b. Plastik ( Polimer )
- c. Composite

### **6.2 Keramik**

Keramik tidak hanya meliputi bahan-bahan yang terbuat dari tanah liat atau sebangsanya. Keramik sebagai bahan teknik terdiri dari berbagai fase yang masing-masing merupakan senyawa dari logam dan non logam.

Kebanyakan keramik adalah kristalin sebagai mana halnya logam, hanya saja ikatan antar atom pada keramik adalah ikatan ionik atau kovalen sehingga dapat stabil. Biasanya keramik terdiri dari berbagai oksida, karbida silika dll.

Beberapa keramik yang mempunyai arti penting dalam bahan teknik :

- Refractory ( batu tanah api )
- Glass ( kaca )
- Abrasives
- Semen ( semen )

#### ***REFRACTORY ( batu tanah api )***

Batu tahan api ini sangat diperlukan pada industri-industri yang bekerja pada temperatur tinggi.

Sifat batu tahan api :

- tahan tahap temperatur tinggi
- tetap stabil
- mempunyai konduktifitas panas rendah
- kuat
- keras tetapi getas

Dari sifat kimianya batu tahan api dapat dibagi :

1. *Batu tahan api asam ( acid refractories )*

Terbuat dari quartz, quartzite, mangand. Banyak silica (  $\text{SiO}_2$  ).

Titik cair antara ( 1690 – 1730 °C )

Mulai melunak pada suhu 1550 °C

Digunakan pada : Dapur pencair logam dan converter bassemer.

2. *Batu tahan api biasa ( basic refractories )*

Banyak mengandung Magnesia (  $\text{MgO}$  ).

Dibuat dari : Solomit atau Magnesit

- Dolomit dapat tahan ( 1800 – 1950 °C )
- Magnesit dapat tahan ( sampai 2000 °C )

3. *Batu tahan api Netral ( neutral refract )*

Banyak mengandung alumina (  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ) dan silica (  $\text{SiO}_2$  ) terbuat dari koolinit dapat tahan ( 1600 – 1670 °C )

Nama batu tahan api ini biasanya menurut kandungan senyawa yang paling dominan.

## **GLASS ( KACA )**

Sifat-sifat kaca yang cukup baik antara lain :

- Transparan
- Non toxic
- Inert ( tidak bereaksi dengan berbagai bahan kimia)
- Tidak mengakibatkan kontaminasi
- Cukup kuat / keras

Umumnya kaca adalah dibuat dari berbagai campuran oksida, dan non kristalin/amorph, atom/molekulnya tidak tersusun menurut suatu pola tertentu seperti halnya logam, tetapi berupa suatu network tiga dimensi yang acak ( seperti berikut )

*Fungsi dari oksida*

- glass former yaitu yang membentuk network dari kaca;
- sebagian sebagai modifier biasanya akan memperlemah ikatan pada network sehingga menurunkan titik leburnya.
- Dan ada berfungsi sebagai intermediates.

### *Bahan dari oksida*

- glass former :  $\text{SiO}_2$  yang paling umum  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  dan  $\text{BiO}_2$ .
- Sebagai modifier : oksida alkali, alkali tanah oksida timbale.
- Sebagai intermediates : oksida aluminium (alumina), beryllia, titania, zirconia.

### *Sodalime glass*

Merupakan kaca yang paling banyak di produksi karena harga murah, tanah tahap divitrifikasi (partikel pada kaca yang menyebabkan gelas).

Relative tahan air

Kegunaannya :

Kaca candela, botol, bola lampu dan table ware yang tidak perlu tahan tempat tinggi & tahan tahap bahan-bahan kimia.

### *Lead glass ( flint glass )*

Kegunaannya :

High quality table ware, keperluan optic, tabung lampi ikan, dan untuk pembuatan benda seni. Kaca dapat timbale tinggi (sd 80%) digunakan untuk kaca optic yang gelap, untuk jendela pelindung tahap X-ray.

Sifat lead glass

- titik lebur rendah
- mudah di hot-work
- indeks bias tinggi

### *Borosilicate glass ( pyrex )*

Sangat stabil tahap bahan kimia, tahan tahap thermal shock, tahanan listrik tinggi.

Kegunaannya :

- Di industri untuk pipa
- Gelas ukur
- Alat laboratorium
- Isolator listrik
- Beberapa keperluan rumah tangga

### *High Silica glass*

Tahan thermal shock, tempat tinggi (sampai 900°C), harga cukup mahal.

Campuran oksida dipanaskan sampai lebur lalu kaca yang masih kental dibentuk dengan penuangan pada cetakan (moulding) atau dengan meniup (blowing). Gambar :

Kaca dapat dibuat dengan berbagai cara, misalnya dengan menarik filamen kaca yang masih kental (continuous filament) dikenal dengan Fiber Glass atau dengan memasukkan kaca cair ke dalam piringan berpori yang berputar cepat akan didapat serat gelas yang pendek-pendek, disebut glass wool.

### *Fiberglass*

Kekuatan s/d 700 Mpa, dapat digunakan bahan komposit dipakai sebagai bahan isolator panas.

### *Abrasives*

Definisi dari bahan yang digunakan untuk menghaluskan permukaan bahan lain (cara menggosok)

Dapat digunakan :

- membuat grind
- kertas gosok
- serbuk / pasta pakshing

Bahan-bahan abrasive:

Dari berbagai oksida dan karbida yang sangat keras

Seperti :

- Alumina
- Silica carbide
- Tungsten carbide, dll

Bahan-bahan ini juga dapat dibentuk dengan cara sintering : pahat potong (pahat carbida)

### *Cement ( Semen )*

Semen adalah semacam bahan perekat, berupa serbuk, yang bila dicampur dengan air menjadi pasta, dan dibiarkan menjadi keras.

Berupa serbuk + dengan air → disebut : Portland Cement

- Tanpa air → kapur bubuk (  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  )

→ gips (  $\text{CaSO}_4$  )

### 6.3 Plastik ( Polimer )

Plastik merupakan senyawa organik, terdiri dari karbon, hydrogen, oksigen dan nitrogen.

Sifat-sifat khas dari plastik :

- Ringan : berat jenis ( 1,1 – 1,6  $\text{gr/cm}^3$  )
- Penyekat panas arus listrik yang baik
- Surface finish yang baik dapat langsung dari cetakan
- Dapat diperoleh berbagai warna / transparan
- Kekuatan ( lebih rendah dari logam )
- Tidak cocok temperatur tinggi
- Stabilitas kurang baik, pada kondisi basah.

Dari sifat-sifat yang dimiliki oleh plastic maka cocok digunakan untuk:

- Untuk menerima beban yang rendah / menengah
- Untuk konduktivitas panas yang rendah
- Untuk kotak / wadah yang cukup ringan
- Berwarna menarik dan mudah diproduksi
- dll

Plastik mempunyai ikatan polimer yang cukup kuat, tidak mudah terurai.

- Thermosetting
- Thermo plastics

#### *Thermo setting*

Yaitu plastic yang segera mengeras setelah mencapai temperature pembentukannya dan selanjutnya tidak akan menjadi lunak bila dipanaskan kembali.

#### *Thermo plastics*

Ikatan antara rantai-rantai molekul plastic tidak begitu erat, sehingga terjadi pemanasan bisa menjadi lunak dan temperature diturunkan bisa menjadi keras ( mudah dibentuk ).

Jenis-jenis plastik dan karakteristiknya

*Phenolic*, termasuk thermosetting plastik

- cukup kuat
- keras
- tidak transparan
- mudah diberi warna
- harga cukup murah
- mudah dibentuk

*Melamine – thermosetting*

- tahan panas
- tahan air
- tidak beraksi dengan bahan kimia
- isolator listrik
- table ware, alat-alat listrik, dll

*Epoxy*

- ulet / tangguh
  - elastis
  - tidak bereaksi dengan bahan kimia
  - kestabilan dimensi cukup baik
  - pembuatannya tidak memerlukan temperature dan tekanan tinggi
- digunakan untuk : coating dan alat listrik.

*Acrylie – thermoplastics*

- transparan
- cukup kuat
- tahan impact
- isolator listrik baik
- mudah diberi warna
- tahan tahap berbagai bahan kimia

acrylie yang paling transparan tapi mudah tergores ( Lucite dan plaxi glass)

*Nylon – thermoplastic*

- tahan abrasi
- ulet
- kestabilan dimensi baik
- harga cukup mahal

- bentuk filament : tali, senar, benang, dll.
- Koefisien gesek rendah

#### *Polystyrene – thermoplastic*

- stabil
- dimensi baik
- menyerap air hanya sedikit
- isolator listrik baik
- mudah terbakar
- mudah bereaksi dengan asam-asam.

#### *Vinil*

- dapat dibuat tipis seperti karet s/d yang kaku
- ulet . flexible
- cukup kuat
- tidak mudah lapuk
- stabilitas baik
- sedikit menyerap air

#### *Polythylene*

- ulet / tangguh
- tahanan listrik yang besar
- isolasi kabel listrik
- alat-alat dapur

#### *Silicone*

- tahan panas
- sifat dielektrik yang tinggi
- menyerap kelembaban sangat rendah

Untuk memperbaiki sifat dari plastik maka perlu ditambahkan beberapa bahan lain diantaranya :

- sebagai fiber
- plasticuzer

- coloring agent / hibricant

*Plasticizer* ditambahkan untuk mempermudah pencetakan

#### 6.4 Composite Material

Sebagai suatu kombinasi dari bahan/lebih yang sifatnya sangat berbeda dengan sifat masing-masing bahan asalnya.

Dari kombinasi ini yang diambil adalah sifat-sifat baiknya saja.

Komposit yang terjadi secara alamiah :

- Kayu, yang terdiri dari serat selulose yang berada dalam matrik lignin.
- Logam, lamel-lamel ferrite dan cementet ( pearlite )
- Paduan Al-Cu, terjadi Cy Al yang tersebar dalam matrik alpa.

Komposit material dari kombinasi berbagai bahan

1. logam dengan logam
2. logam dengan plastic
3. logam dengan keramik
4. keramik dengan plastik

Tujuan pembentukan komposit :

Untuk menghilangkan sifat-sifat buruk dari masing-masing material yang berkombinasi sehingga mendapatkan bahan lain dengan sifat-sifat yang lebih baik.

Komposit dapat digolongkan

1. Agglomerated materials
2. Laminates
3. Surface coated materials
4. Reinforced materials

*Agglomerated* material adalah bahan yang berbentuk butiran dari berbagai ukuran dengan suatu bahan perekat.

Contoh :

- Beton : pasir, batu, semen
- Aspal : untuk permukaan jalan

- Batu grindg, dll

*Lamimates* : bahan saling melapisi

Contoh :

- kayu lapis
- Alclad : lapisan permukaan AL
- Lapisan karbon pembungkus

*Surface coated materials*

Sebagai pelindung dari bahan yang dilapisi, sedang kekuatan akan didapat dari bahan yang dilapisi.

Misalnya :

- Baja lapis seng
- Tin plated sheet
- Chrome pleted sheet

*Rein forced material*

Ada komponen yang tersusun kearah tertentu dalam matrik, dengan demikian akan memperbaiki kekuatan kearah tertentu.

Contoh :

- Benton bertulang
- Glass fiber reinforced plastic
- Asbestos reinforced plastic

Akhir-akhir ini dikembangkan komposit dengan berbagai serat ( fibre ) dan whisker sebagai reinforced.

Seperti :

- Fibre glass
- Grafhite
- Boron
- Kelter



## DAFTAR PUSTAKA

1. Pengetahuan Material Teknik  
OLEH : Prof. Ir. TATA SURDIA MS. Met. E  
Prof. DR. SHINROKU SAITO
2. Ilmu dan Teknologi Bahan  
(Ilmu Logam dan Buka Logam)  
Oleh : LAWRENCE H. VAN VLACK  
Ir. Sriati Djaprie, M. E.M.Met
3. The Principle of Engineering Materials  
oleh : Craig R. Barrett
4. METALURGI FISIK MODERN  
OLEH : R. E. Smallman BSc, PhD, DSc, PIM
5. BUKU-BUKU PENUNJANG LAINNYA