

III. KEGIATAN BELAJAR 3

SIFAT-SIFAT BAHAN TEKNIK

A. Sub Kompetensi

Sifat-sifat fisis dan mekanis bahan teknik dapat dijelaskan dengan benar

B. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

Setelah pembelajaran ini mahasiswa mampu menjelaskan sifat-sifat fisis dan mekanis bahan teknik

C. Uraian Materi.

1. Pendahuluan

Dalam pemakaiannya, semua partikel dan struktur logam akan terkena pengaruh gaya luar yang dapat menimbulkan tegangan- tegangan sehingga menimbulkan deformasi atau perubahan bentuk. Untuk menjaga terhadap akibat yang timbul dari adanya tegangan- tegangan tersebut serta mempertahankannya pada batas- batas yang diperbolehkan bagi suatu pembebanan, maka diperlukan pemahaman tentang bahan-bahan yang cocok untuk suatu keperluan dari berbagai perencanaan.

Pembuatan barang jadi atau setengah jadi, mestinya sudah didasarkan atas sifat-sifat yang khas dari bahan, baik kekerasannya, keuletannya, kekokohnya, dsb. Pengetahuan yang mendalam dari sifat- sifat yang khas tersebut didasarkan pada hasil percobaan yang diselenggarakan berbagai keadaan beban, arah beban, serta dalam waktu pembebanan.

Percobaan bahan untuk mengetahui sifat- sifat yang dimiliki itu dapat dilakukan dengan beban statis, dinamis, atau kedua-duanya. Percobaan dengan beban statis ialah apabila beban ditingkatkan secara teratur sedikit demi sedikit. Misalnya pada percobaan tarik, percobaan puntir, percobaan bengkok, dan kompresi. Percobaan dengan beban dinamis adalah apabila beban ditingkatkan secara cepat dan mendadak. Percobaan berulang- ulang atau fatigue (gabungan antara beban statis dan beban dinamis), ialah apabila bebannya diberikan secara berulang-ulang dan berubah- ubah arahnya maupun besarnya beban.

2. Sifat Mekanis

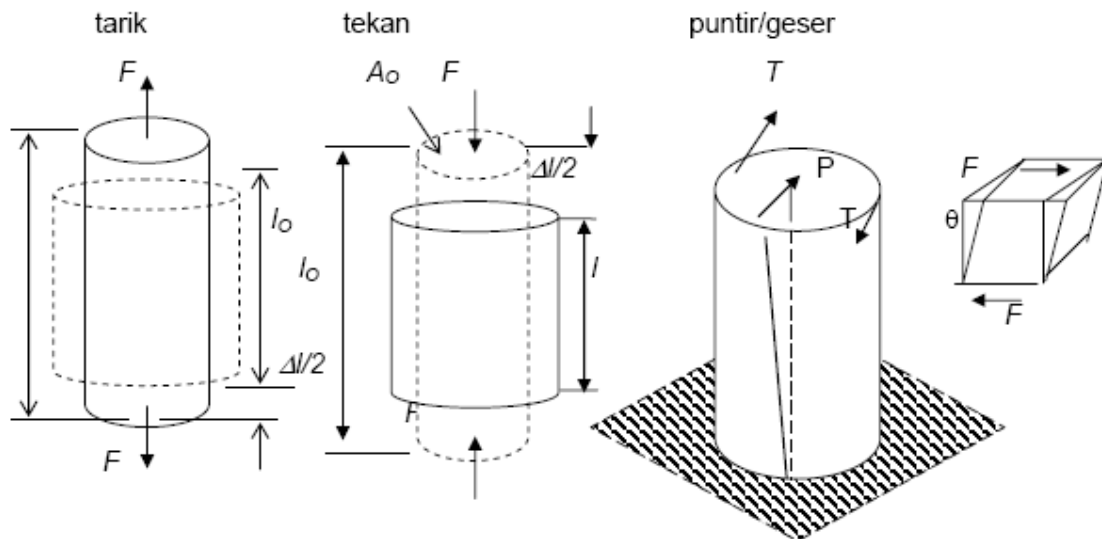
Sifat mekanik bahan adalah: hubungan antara respons atau deformasi bahan terhadap beban yang bekerja. Sifat mekanik : berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan.

a. Stress Dan Strain

Stress = tegangan .

Strain = regangan .

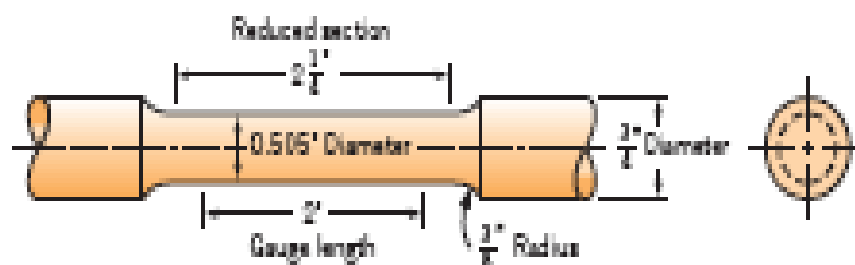
Bahan dapat dibebani dengan 3 cara : tarik, tekan, geser (gunting).



Gambar 3.1. Tipe pembebanan pada bahan

b. Uji Tarik

Adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Dalam pengujiannya, bahan uji ditarik sampai putus.



Gambar3.2. Spesimen uji tarik

Regangan Teknik

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

l_0 = panjang mula – mula
 l_i = panjang akhir
 Δl = pertambahan panjang
 ε = %

Tegangan Teknik

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

F = beban yang diberikan
(lb atau N)

A_0 = luas penampang bahan
sebelum dibebani
(in² atau m²)

σ = psi, MPa.

C. Uji tekan

Bahan uji diberikan gaya tekan. Rumus tegangan dan regangan sama dengan yang dipakai pada uji tarik, hanya tanda beban negative (tekan). Hasil uji akan memberikan harga negative.

tegangan geser di rumuskan

$$\tau = \frac{F}{A_0}$$

F = gaya yang diberikan
 A_0 = luas bidang permukaan.

d. Regangan Geser

Regangan geser dilambangkan γ merupakan tangen θ .

e. Torsi

Torsi adalah variasi dari gaya geser murni. Bahan uji diberikan gaya puntir yang akan menimbulkan gerak putar pada sumbu penggerak atau mesin bor

f. Deformasi Elastis

Besarnya bahan mengalami deformasi atau regangan bergantung kepada besarnya tegangan. Pada sebagian besar metal, tegangan dan regangan adalah proporsional dengan hubungan :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

E = modulus elastistas atau modulus young
(Psi, MPa).

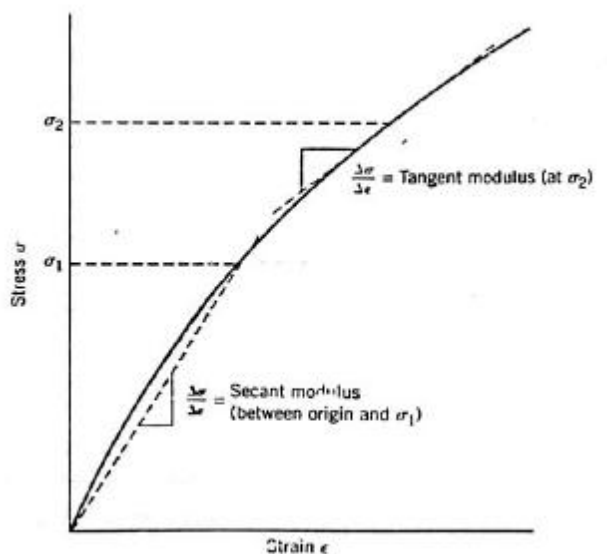
Dikenal dengan **HUKUM HOOKE**

Untuk logam harga E : $4,5 \times 10^4$ mpa S/D $40,7 \times 10^4$ Mpa.

Bahan disebut mengalami DEFORMASI ELASTIS Jika tegangan dan regangan besarnya proporsional. Deformasi elastis adalah tidak permanent, artinya jika beban dilepaskan maka bahan kembali ke bentuk semula.

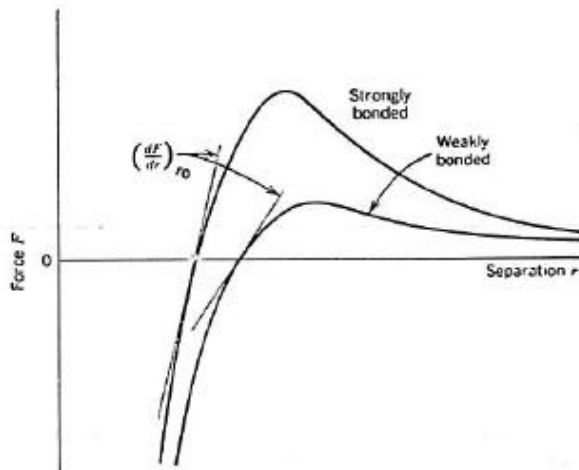
g. Deformasi Elastis Non Linear

Modulus elastisitas dicari dengan modulus tangen atau modulus secant



Gambar 3.3. Menghitung modulus elastisitas yang berubahnya tidak linier

Dalam skala atom, deformasi elastis adalah perubahan jarak antar atom. Jadi besar modulus elastisitas adalah besarnya tahanan atom-atom yang berikatan



Gambar 3.4. Hubungan gaya dengan jarak atom

Pada beban geser, tegangan dan regangan bisa dihubungkan dengan persamaan:

$$\tau = G \cdot \gamma$$

τ = Tegangan

γ = Regangan

G = Modulus Geser

Contoh :

Sebuah potongan tembaga yang panjang awalnya 12 inchi (305 mm) ditarik dengan tegangan 40.000 psi (276 mpa). Jika deformasi elastis, berapakah pertambahan panjang? ($E = 16 \times 10^6$ psi (11×10^4 mpa)).

Jawab :

$$\sigma = \epsilon E = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot E$$

$$\Delta l = \frac{\sigma l_0}{E}$$

$$\sigma = 40.000 \text{ PSi}$$

$$\Delta l = \frac{40.000 \times 12}{16 \times 10^6}$$

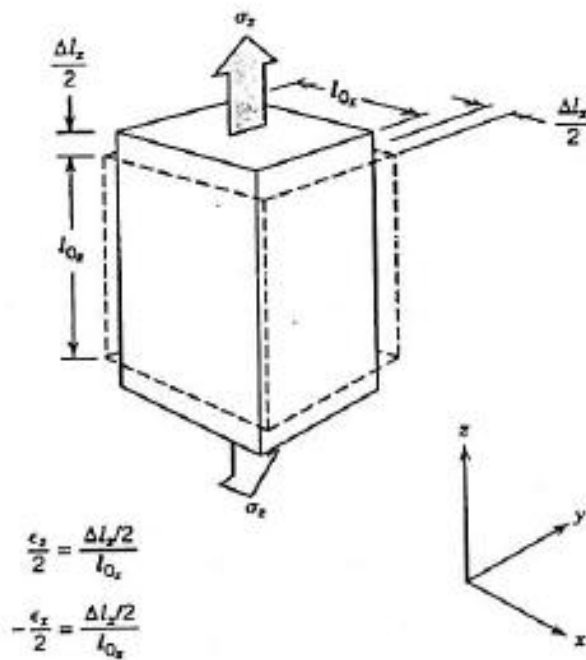
$$l_0 = 12 \text{ Inchi}$$

$$16 \times 10^6$$

$$E = 16 \times 10^6$$

$$= 0.30 \text{ inchi (0.76 mm)}$$

h. Sifat Elastis Bahan



Jika tegangan pada sumbu z

- arah sb z perpanjangan
- arah sb x perpendekan
- arah sb y perpendekan

Perbandingan antara regangan tegak lurus terhadap regangan aksial disebut **rasio poisson**, ν .

$$\nu = \frac{-\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z}$$

Bahan isotropik , ν biasanya = 1/4.
Metal dan campurannya, ν = 0.25 s/d 0.35

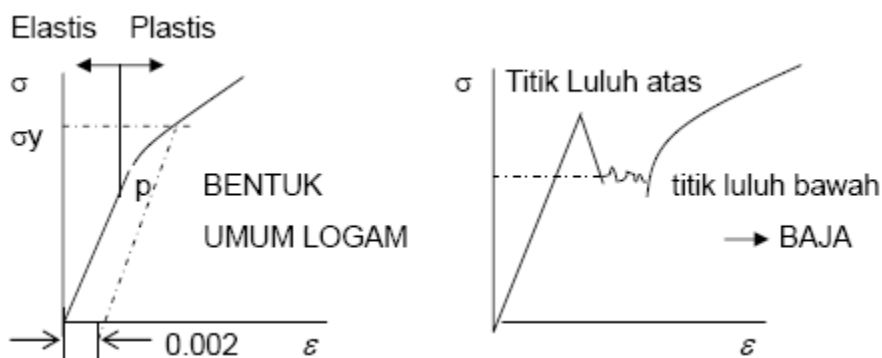
Gambar 3.5. Batang yang mengalami tarikan

Modulus geser dan modulus elastik dihubungkan dengan memakai rasio poisson sbb:

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

i. Deformasi Plastis

Pada kebanyakan logam, deformasi elastis hanya terjadi sampai regangan 0.002. Jika bahan berdeformasi melewati batas elastis, tegangan tidak lagi proporsional terhadap regangan. Daerah ini disebut daerah plastis.



Gambar 3.6. Kurva regangan - tegangan

Pada daerah plastis, bahan tidak bisa kembali ke bentuk semula jika beban dilepaskan. Pada tinjauan mikro deformasi plastis mengakibatkan putusya ikatan atom dengan atom

tetangganya dan membentuk ikatan yang baru dengan atom yanglainnya. Jika beban di lepaskan, atom ini tidak kembali keikatan awalnya.

j. Sifat Sifat Tarik

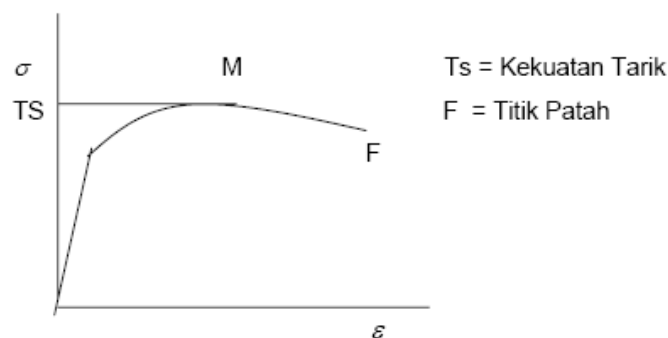
1) Luluh dan Kekuatan Luluh

Titik luluh terjadi pada daerah dimana deformasi plastis mudah terjadi pada logam grafik σ - ϵ berbelok secara bertahap sehingga titik luluh ditentukan dari awal perubahan kurva σ - ϵ dari linier ke lengkung. Titik ini di sebut batas proporsional (titik p pada gambar). Pada kenyataannya titik p ini tidak bisa ditentukan secara pasti. Kesepakatan di buat dimana di tarik garis lurus paralel, dengan kurva σ - ϵ dengan harga $\epsilon = 0.002$. Perpotongan garis ini dengan kurva σ - ϵ didefinisikan sebagai kekuatan luluh σ_y .

2) Kekuatan Tarik

Setelah titik luluh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah.

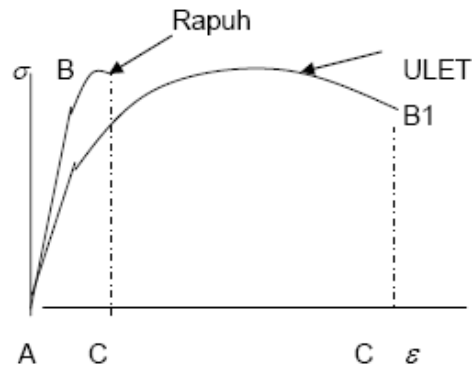
Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum pada kurva σ - ϵ . Hal ini berhubungan dengan tegangan maksimum yang bisa di tahan struktur pada kondisi tarik



Gambar 3.7. Tegangan tarik maksimum

3) Keuletan

Memgukur derajat deformasi plastis pada saat patah. Bahan yang mengalami sedikit atau tidak sama sekali deformasi plastis di sebut rapuh



Gambar 3.8. Kurva regangan – tegangan untuk material ulet dan rapuh.

Keuletan bisa di rumuskan sebagai persen perpanjangan atau persen pengurangan luas.

$$\% EL = \frac{(l_F - l_0)}{l_0} \times 100$$

$$\% AR = \left[\frac{A - A_F}{A_0} \right] \times 100$$

l_F = panjang patah

l_0 = panjang awal

% AR = % perubahan penampang

% EL = % perpanjangan

A_0 = luas penampang mula-mula

A_F = luas penampang pada saat patah

Bahan dianggap rapuh jika regangan pada saat patah kira-kira 5%.

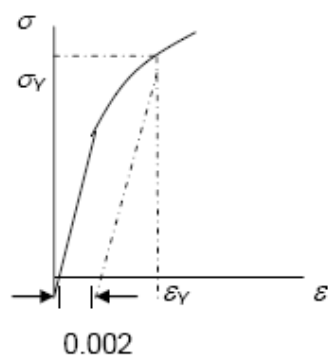
Tabel 3.1. Sifat mekanik beberapa logam

LOGAM	KEKUATAN LULUH (PSi (MPa))	KEKUATAN TARIK (PSi (MPa))	KEULETAN. % EL (in : 2 INCHI)
EMAS	-	19.000 (130)	45
ALUMINIUM	400 (28)	10.000 (69)	45
TEMBAGA	10.000 (69)	29.000(200)	45
BESI	19.000 (130)	38.000 (262)	45
NIKEL	20.000 (138)	70.000 (480)	40
TITANIUM	35.000 (240)	48.000 (330)	30
MOLIB DENUM	82.000 (565)	95.000 (655)	35

4) Resilience

Adalah kapasitas material untuk menyerap energi ketika mengalami deformasi elastis dan ketika beban dilepaskan, energi ini juga dilepaskan.

5) **Modulus resilience**, U_r : adalah energi regang persatuan volume yang diperlukan sehingga material mendapat tegangan dari kondisi tidak berbeban ketitik luluh.



$$U_r = \int_0^{\epsilon_Y} \sigma d\epsilon$$

Daerah elastis linier :

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_Y \epsilon_Y \text{ (J/m}^3\text{)}$$

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_Y \epsilon_Y = \frac{1}{2} \sigma_Y \left(\frac{\sigma_Y}{E} \right) = \frac{\sigma_Y^2}{2E}$$

Gambar 3.9. Modulus resilience

Material yang mempunyai sifat resilience adalah material yang mempunyai tegangan luluh tinggi (σ_y) dan modulus elastisitas rendah. Contoh : alloy untuk pegas.

6) Ketangguhan (Toughness).

Adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi sampai patah.

Satuan ketangguhan = satuan resilience

bahan ulet \rightarrow . bahan tangguh

bahan getas \rightarrow . bahan tidak tangguh

k. Tegangan dan Regangan Sebenarnya

Tegangan dan regangan sebenarnya diukur berdasarkan luas penampang sebenarnya pada saat diberikan beban

$$\sigma_T = \frac{F}{A_i}$$

σ_T = tegangan sebenarnya (true stress)

A_i = luas penampang pada saat dibebani

$$\epsilon_T = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

ϵ_T = regangan sebenarnya

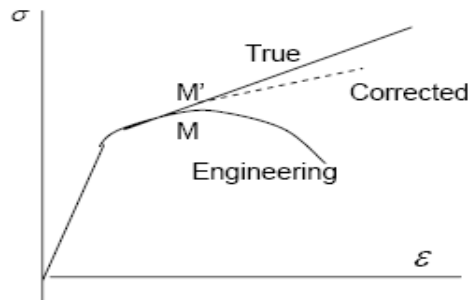
l_i = panjang bahan yang pada saat diberi beban

Jika tidak ada perubahan volume :

$$A_i l_i = A_o l_o$$

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

$$\epsilon_T = \ln (1 + \epsilon)$$



Gambar 3.10. Regangan dan teangan sebenarnya

Untuk beberapa logam dan paduan, tegangan sebenarnya pada kurva σ - ϵ pada daerah mulai terjadinya deformasi plastis ke kondisi terjadinya necking (pengecilan penampang) dirumuskan :

$$\sigma_T = K \epsilon_T^n$$

$$K, n = \text{KONSTAN}$$

$$n < 1$$

Tabel 3.2. Harga n dan K untuk beberapa logam

Harga n Dan K Untuk berbagai paduan

BAHAN	n	K	
		Psi	Mpa
• Baja karbon rendah (Dianil)	0,26	77.000	530
• Baja campuran (Tipe 4340, Dianil)	0,15	93.000	640
• Stainless steel (Tipe 304, Dianil)	0,45	185.000	1275
• Alumunium (Dianil)	0,20	26.000	180
• Alumunium paduan (Tipe 2024, Perluasan Panas)	0,16	100.000	690
• Tembaga (Dianil)	0,54	46.000	315
• Perunggu (70-Cu-30 Zn Dianil)	0,49	130.000	895

I. Kekerasan (hardness)

Kekerasan adalah mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi (lengkungan kecil atau goresan).

Macam- macam uji kekerasan :

- Uji kekerasan rockwell
- Uji kekerasan brinell
- Uji kekerasan vicker
- Uji kekerasan knoop

1) Uji kekerasan rockwell

Metode yang paling umum digunakan karena simple dan tidak menghendaki keahlian khusus. Digunakan kombinasi variasi indenter dan beban untuk bahan metal dan campuran mulai dari bahan lunak sampai keras.

Indenter : - bola baja keras ,ukuran 1/16 , 1/8 , 1/4 , 1/2 inci

- kerucut intan `

Hardness number (nomor kekerasan) ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetriksi indenter, dengan cara memberi beban minor diikuti beban major yang lebih besar.

Berdasarkan besar beban minor dan major, uji kekerasan rockwell dibedakan atas 2 :

- rockwell

- rockwell superficial bahan tipis

Uji kekerasan rockwell : - beban minor : 10 kg

- beban major : 60, 100, 150 kg

Uji kekerasan rockwell superficial : - beban minor : 3 kg

- beban major : 15, 30, 45, kg

Tabel 3.3. Skala kekerasan : - Rockwell

SIMBOL	INDENTER	BEBAN MAJOR (KG)
A	INTAN	60
B	BOLA $\frac{1}{16}$ INCHI	100
C	INTAN	150
D	INTAN	100
E	BOLA $\frac{1}{8}$ INCHI	100
F	BOLA $\frac{1}{16}$ INCHI	60
G	BOLA $\frac{1}{16}$ INCHI	150
H	BOLA $\frac{1}{8}$ INCHI	60
K	BOLA $\frac{1}{8}$ INCHI	150

- rockwell Superficial

SIMBOL	INDENTER	BEBAN MAJOR (KG)
15 N	INTAN	15
30 N	INTAN	30
45 N	INTAN	45
15 T	BOLA $\frac{1}{16}$ INCHI	15
30 T	BOLA $\frac{1}{16}$ INCHI	30
45 T	BOLA $\frac{1}{16}$ INCHI	45
15 W	BOLA $\frac{1}{8}$ INCHI	15
30 W	BOLA $\frac{1}{8}$ INCHI	30
45 W	BOLA $\frac{1}{8}$ INCHI	45

Contoh : - skala 80 hrb : kekerasan rockwell 80 skala B.
 - skala 60 hr 30 w : kekerasan superficial 60 pada skala 30 W.
 maksimum skala : 130

jika skala kekerasan < 20 atau > 100 hasil kurang teliti
 gunakan skala dibawahnya atau diatasnya.

2) Uji Kekerasan Brinell

Indenter : - bola baja keras ; diameter 2,5, 5, 10 mm
 - Tungsten carbide ; diameter 2,5, 5, 10 mm

Beban : 500 - 3000 kg, step 500 kg

Angka kekerasan brinell adalah fungsi beban dan diameter lobang hasil penekanan.

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

P = BEBAN

D = diameter indenter

d = diameter bekas penekanan

t = kedalaman penekanan

3) Uji kekerasan Mikro Knoop dan Vickers

Indeter : intan piramid dengan diagonal sama panjangnya.

Beban : 1 - 1000 gr

Hasil test berupa lekukan diperiksa dengan mikroskop

HV = hardness number vickers (VHN)

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin(\theta/2)}{L^2} = \frac{1.854P}{L^2}$$

Dimana :

P = Beban

L = panjang diagonal rata-rata

Θ = Sudut indentor 136 °

4) Uji kekerasan Mikro Knoop

Knoop digunakan untuk uji kekerasan mikro daerah kecil dari spesimen

Indentor : intan pyramid dengan diagonal yang berbeda panjangnya

Beban : 1 - 1000 gr

Hasil test berupa lekukan diperiksa dengan mikroskop

HK = hardness numberknoop (KHN)

$$\text{KHN} = \frac{P}{A_p} = \frac{P}{L^2 C}$$

Dimana :

P = Beban

L = panjang diagonal rata-rata

A_p = proyeksi luasan bekas penekanan

C = Konstanta, tergantung indentor keluaran pabrik yang bersangkutan

Safety Factor (Factor Keamanan).

Pada kenyataannya bahan teknik mempunyai sifat mekanik yang variabel, disamping itu pada aplikasi sering beban pada bahan tidak pasti, sehingga perhitungan tegangan hanya pendekatan. karena itu kelonggaran disain harus dibuat untuk mencegah kegagalan yang tidak diharapkan untuk itu digunakan istilah “tegangan aman” atau “tegangan kerja”.

$$\sigma_w = \frac{\sigma_y}{N}$$

σ_w = tegangan kerja

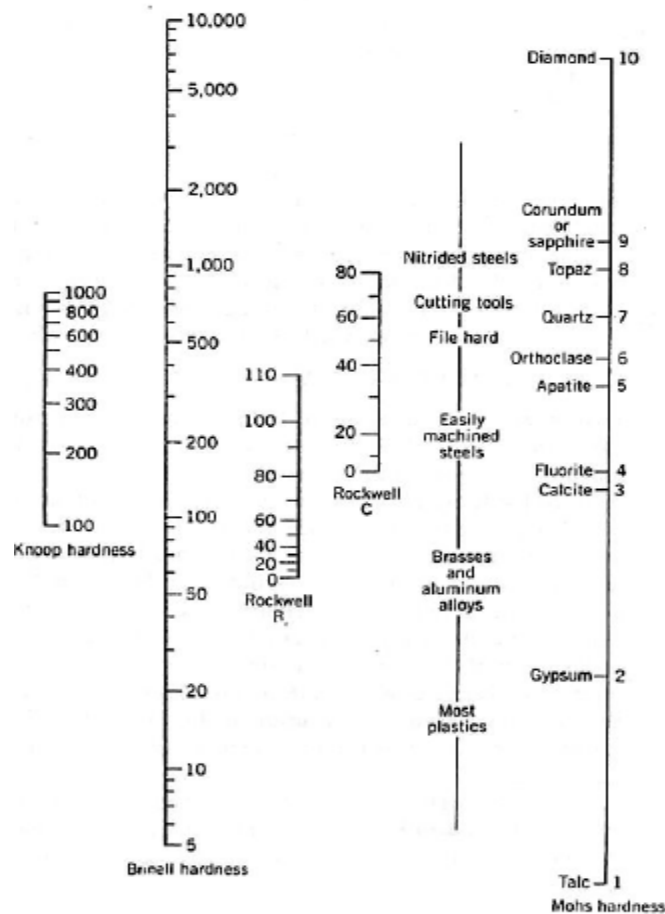
σ_y = tegangan luluh

N = faktor keamanan , N biasanya 1,2 S/D 4,0

Tabel 3.4. Teknik pengujian kekerasan

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number*
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854 P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2 P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone 1/8, 1/16, 1/32 in. diameter steel spheres			60 kg } 100 kg } Rockwell 150 kg } 15 kg } 30 kg } Superficial Rockwell 45 kg }	

* For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D, d, d₁, and l are all in mm.
 Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.



Gambar 3.11. Skala perbandingan nilai kekerasan

3. Sifat Fisis

Sifat fisis suatu logam adalah bagaimana keadaan logam itu apabila mengalami peristiwa fisika. Misalnya keadaan saat terkena pengaruh panas dan pengaruh listrik. Karena pengaruh panas yang diterimanya pada suhu tertentu, bahan akan mencair atau hanya mengalami perubahan bentuk dan ukurannya. Dari sifat fisis ini, dapat ditentukan titik cair suatu bahan dan titik didihnya, sifat menghantarkan panas, keadaan pemuaian pada waktu menerima panas, perubahan bentuknya karena panas, dsb. Pengaruh panas yang diterima oleh suatu bahan dapat merubah sifat dapat berhubungan dengan sifat mekanis suatu bahan tersebut, bahkan karena panas yang diterima oleh suatu bahan dapat merubah sifat mekanis bahan tersebut. Misalnya dalam proses penyepuhan, bahan yang dipanaskan pada suhu tertentu akan kemudian didinginkan dengan mendadak, bahan tersebut akan menjadi keras atau apabila bahan dipanaskan kemudian didinginkan dengan perlahan-lahan bahan tersebut menjadi lunak.

Sifat fisis juga dapat diartikan suatu sifat yang dimiliki oleh suatu bahan yang tidak terpengaruh oleh keadaan luar, misalnya warnanya dll.

4. Sifat kimia

Sifat kimia atau sifat kimia adalah bagaimana kondisi bahan tersebut mampu menahan adanya zat kimia yang dikenakan pada bahan tersebut. Misalnya apakah bahan itu larut atau terjadi reaksi apabila terkena larutan asam, basa, dan garam. Apakah terjadi oksidasi bila terkena larutan atau bahan lain.

Kelarutan bahan tersebut terhadap zat kimia berhubungan erat dengan ketahanan bahan terhadap pencernaan logam oleh keadaan sekitar. Apabila logam berkorosi, logam akan berubah kedalam garamnya, oksida, atau hidroksidanya. Karena peristiwa korosi disebabkan oleh reaksi kimia langsung dan elektro kimia, maka sifat-sifat kimia dari suatu logam sangat perlu diketahui dalam hal pemilihan bahan untuk suatu konstruksi.

5. Sifat Teknologis

Sifat teknologis merupakan kemampuan suatu bahan dalam proses pengerjaannya secara teknis. Sifat-sifat itu meliputi: kemampuan bahan itu untuk dilas, kemampuan untuk dikerjakan dengan mesin, kemampuan untuk bahan tuangan, dan kemampuan untuk penempaan. Sifat-sifat teknologis dari suatu bahan itu perlu diketahui sebelum pengolahan bahan dilakukan, misalnya: mampukah bahan itu dikerjakan dengan mesin

bubut dengan hasil yang baik, dapatkah bahan itu dituang atau dicor tanpa penyusutan ukuran yang berarti dsb

E. Latihan

Suatu bahan memiliki sifat fisis dan mekanis. Jelaskan apakah yang dimaksud dengan sifat fisis dan sifat mekanis?

1. Sifat-sifat mekanis meliputi sifat apa saja?
2. Berikan contoh sifat fisis pada logam aluminium
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan stress dan strain.
4. Gambarkan dan jelaskan kurva regangan dan tegangan uji tarik untuk logam yang ulet
5. Data-data apa saja yang bias diungkap dari kurva regangan tegangan hasil uji tarik?
6. Apa yang dimaksud dengan regangan dan tegangan yang sebenarnya?
7. Apakah yang dimaksud dengan hukum hooke?
8. Bagaimana cara menentukan tegangan luluh pada kurva uji tarik?
9. Apakah yang dimaksud dengan sifat kekerasan pada suatu bahan?
10. Ada berapa macam cara menguji kekerasan dengan penekanan? Sebutkan.
11. Bagaimana cara menentukan kekerasan dengan metode Brinell?
12. Bagaimana cara menentukan kekerasan dengan metode Vickers?

F. Rangkuman

Percobaan bahan untuk mengetahui sifat-sifat yang dimiliki itu dapat dilakukan dengan beban statis, dinamis, atau kedua-duanya. Percobaan dengan beban statis ialah apabila beban ditingkatkan secara teratur sedikit demi sedikit. Percobaan dengan beban dinamis adalah apabila beban ditingkatkan secara cepat dan mendadak. Percobaan berulang-ulang atau fatigue (gabungan antara beban statis dan beban dinamis), ialah apabila bebannya diberikan secara berulang-ulang dan berubah-ubah arahnya maupun besarnya beban.

Sifat mekanik bahan adalah: hubungan antara respons atau deformasi bahan terhadap beban yang bekerja. Sifat mekanik : berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan.

Uji tarik adalah salah satu uji stress-strain mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan bahan terhadap gaya tarik. Data-data yang diperoleh dari uji tarik meliputi; Kekutan luluh, kekutan tarik maksimal, Modulus elastisitas, reganga dan rasio perubahan penampang.

Kekerasan adalah mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisasi (lengkungan kecil atau goresan). Macam- macam uji kekerasan dengan penekanan indenter meliputi : Uji kekerasan Rockwell, Brinell, Vickers, Knoop .