

BAB IV

SIFAT MEKANIK LOGAM

Sifat mekanik bahan adalah : hubungan antara respons atau deformasi bahan terhadap beban yang bekerja.

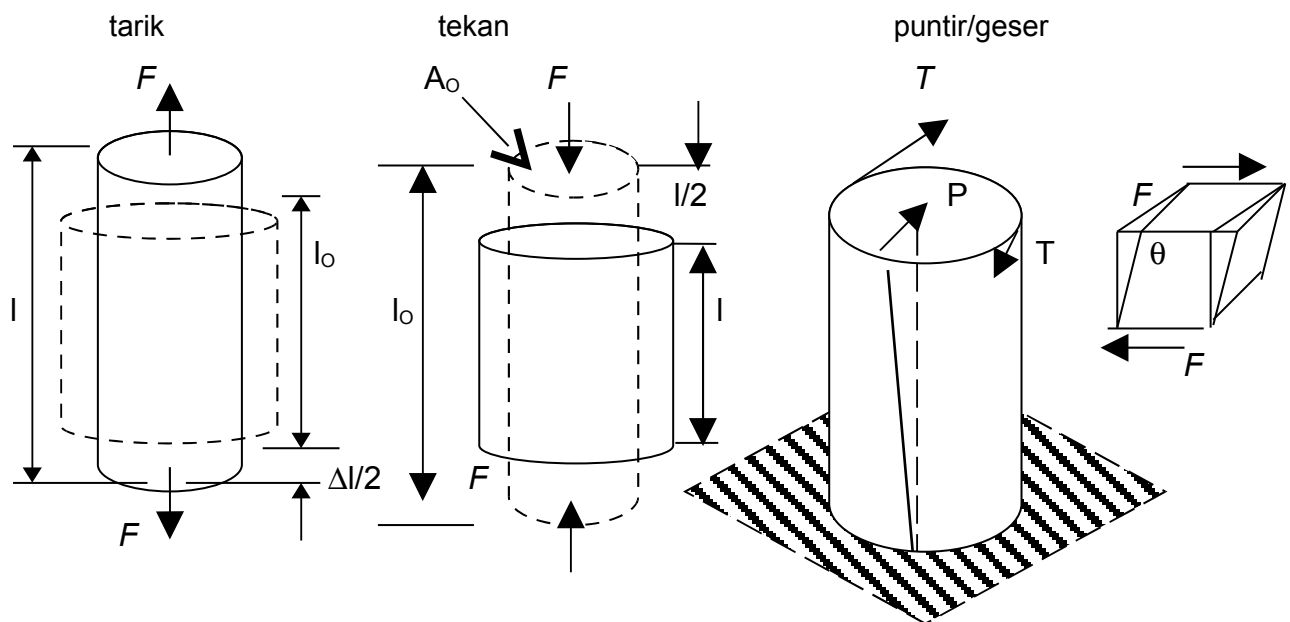
Sifat mekanik : berkaitan dengan kekuatan, kekerasan, keuletan, dan kekakuan.

Stress Dan Strain

Stress = tegangan .

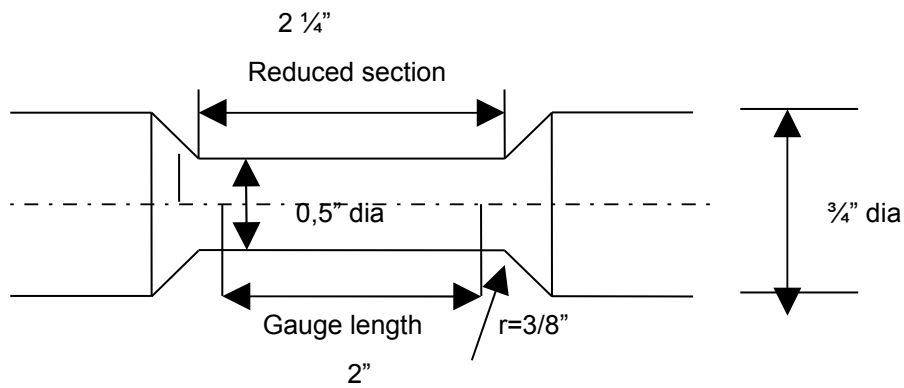
Strain = regangan .

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



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.



Engineering Strain :
(Regangan).

$$\epsilon = \frac{l_i - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o}$$

- l_o = panjang mula – mula
- l_i = panjang akhir
- Δl = pertambahan panjang
- ϵ = %

Engineering Stress :
(Tegangan teknik)

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

- F = beban yang diberikan
(lb atau N)
- A_o = luas penampang bahan
sebelum dibebani
(in^2 atau m^2)
- σ = psi, MPa.

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 :

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

- F = gaya yang diberikan
- A_o = luas bidang permukaan.

Regangan Geser

Regangan geser dilambangkan γ merupakan tangen θ .

Torsi

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

Deformasi Elastis

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

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

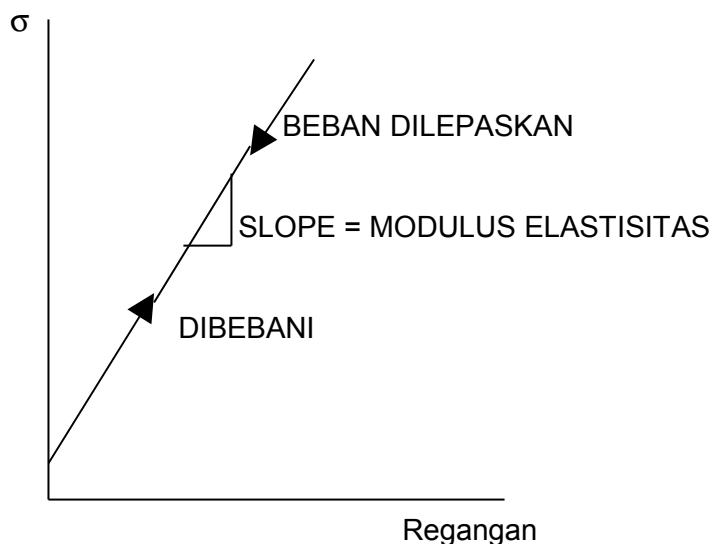
E = modulus elastitas atau modulus Young
(Psi, MPa).

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.

TEGANGAN



Deformasi elastis adalah tidak permanent, artinya jika beban dilepaskan maka bahan kembali ke bentuk semula.

Deformasi Elastis Non Linear

Modulus elastisitas dicari dengan modulus tangen atau modulus secant

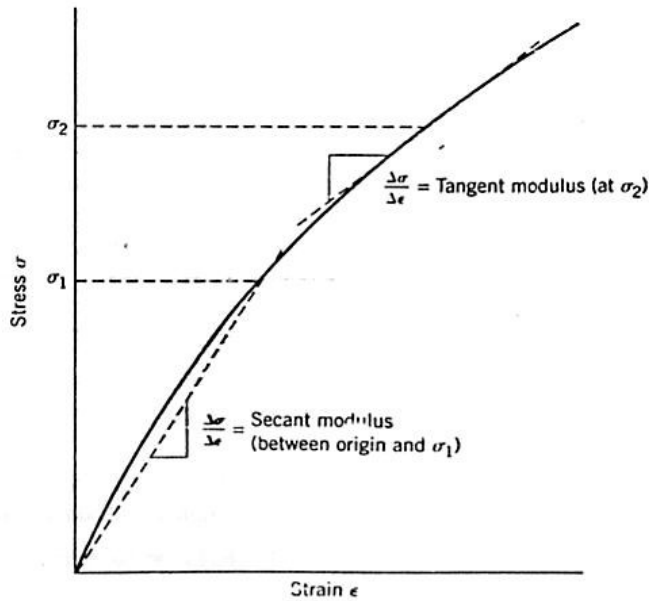


FIGURE 6.5 Schematic stress-strain diagram showing nonlinear elastic behavior, and how secant and tangent moduli are determined.

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

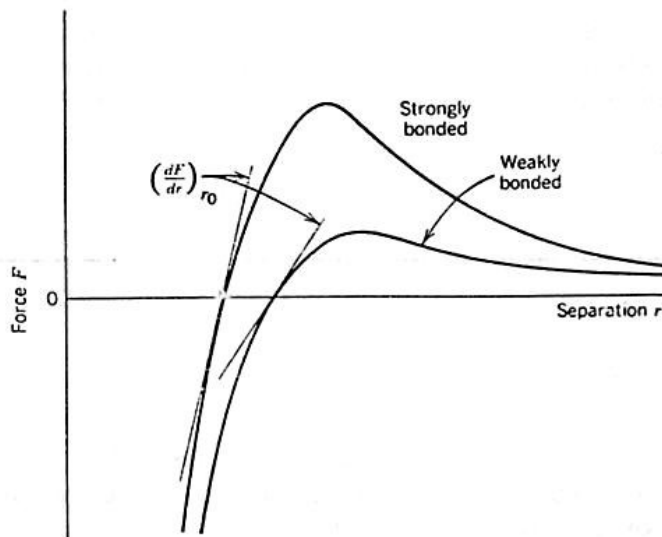


FIGURE 6.6 Force versus interatomic separation for weakly and strongly bonded atoms. The magnitude of the modulus of elasticity is proportional to the slope of each curve at the equilibrium interatomic separation r_0 .

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

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

$$\tau = \text{Tegangan}$$

$$\gamma = \text{Regangan}$$

$$G = \text{Modulus Geser}$$

Contoh :

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

Jawab :

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

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

$$\sigma = 276 \text{ MPa}$$

$$l_0 = 305 \text{ mm}$$

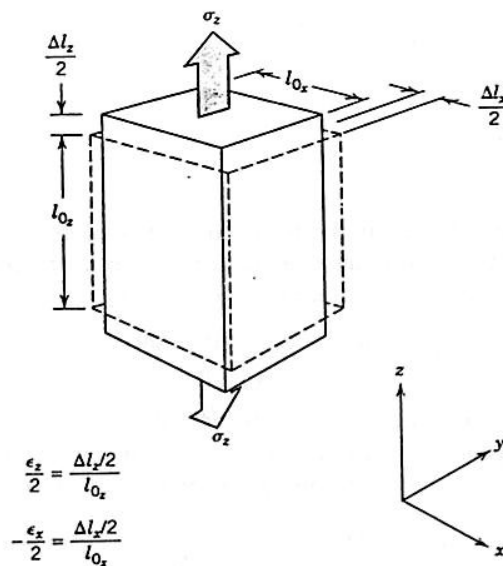
$$E = 11 \times 10^4$$

$$\Delta l = \frac{276 \times 305}{11 \times 10^4}$$

$$= 0.76 \text{ mm}$$

$$(0.30 \text{ inci})$$

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, $\nu = 0.25$ s/d 0.35

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

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

Contoh soal

Tegangan tarik diberikan sepanjang sumbu sebuah silinder yang terbuat dari kuningan dengan diameter 10 mm. Carilah besar beban yang diperlukan untuk menghasilkan perubahan diameter sebesar $2,5 \times 10^{-3}$ mm jika deformasi adalah elastis.

Jawab

Ketika beban diberikan, maka silindr akan mengalami perpanjangan di sumbu z dan pada saat yang sama mengalami pengurangan diameter, $\Delta d = 2,5 \times 10^{-3}$ mm pada arah x. Untuk tegangan di arah x:

$$\epsilon_x = \frac{\Delta d}{d_0} = \frac{-2,5 \times 10^{-3}}{10} = -2,5 \times 10^{-4}$$

harga negatif karena diameternya mengalami pengurangan penampang.

Regangan pada arah z :

Rasio poisson untuk kuningan adalah 0,34 (tabel:), maka

$$\epsilon_z = \frac{-\epsilon_x}{\nu} = \frac{-(-2,5 \times 10^{-4})}{0,34} = 7,35 \times 10^{-4}$$

Tegangan yang diberikan :

$$\sigma = \epsilon_z E = (7,35 \times 10^{-4})(97 \times 10^3) = 71,3 \text{ Mpa}$$

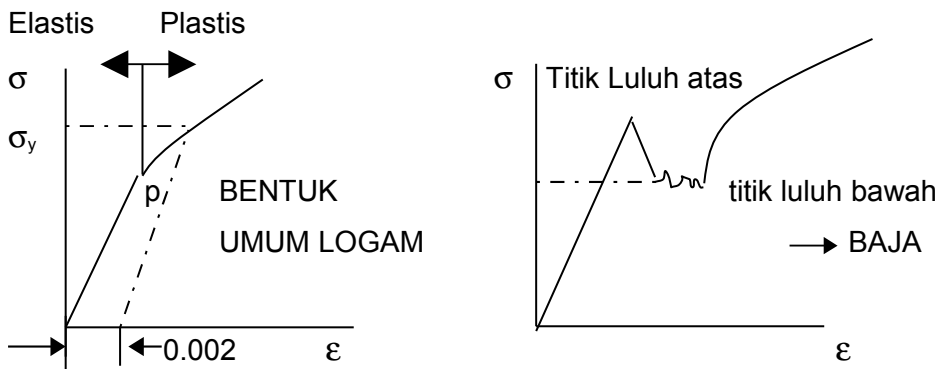
∴ Maka gaya yang diberikan:

$$F = \sigma A_0 = \sigma \left(\frac{d_0}{2} \right)^2 \pi$$

$$=(71,3 \times 10^6) \left(\frac{10 \times 10^{-3}}{2} \right)^2 \pi = 5600 \text{ N}$$

Deformasi Plastis

Pada kebanyakan logam, deformasi elastis hanya terjadi sampai regangan 0.005. Jika bahan berdeformasi melewati batas elastis, tegangan tidak lagi proporsional terhadap regangan. Daerah ini disebut daerah plastis.



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 yang lainnya. Jika beban di lepaskan, atom ini tidak kembali keikatan awalnya.

Sifat Sifat Tarik

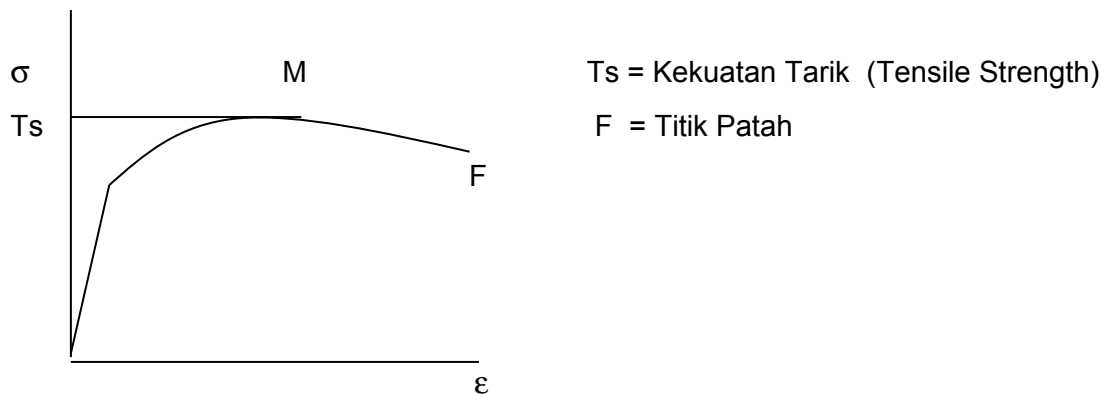
Luluh dan Kekuatan Luluh

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 τ_y .

Kekuatan Tarik

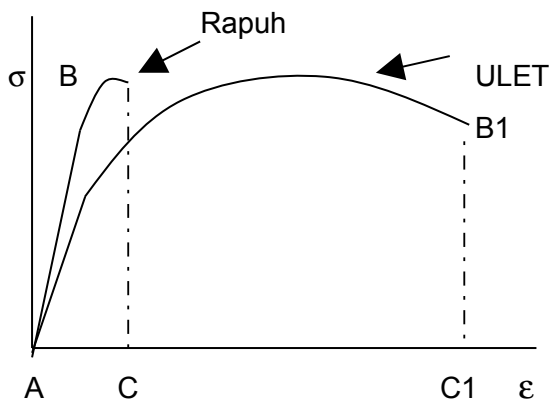
Setelah titik luluh, tegangan terus naik dengan berlanjutnya deformasi plastis sampai titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah.

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



Keuletan

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



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

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

$$\% \text{ AR} = \left(\frac{A - A_F}{A_0} \right) \times 100$$

l_F = panjang patah

l_0 = panjang awal

% EL = % perpanjangan

A_0 = luas penampang mula-mula

A_F = luas penampang pada saat patah

%AR = % pengurangan luas penampang

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

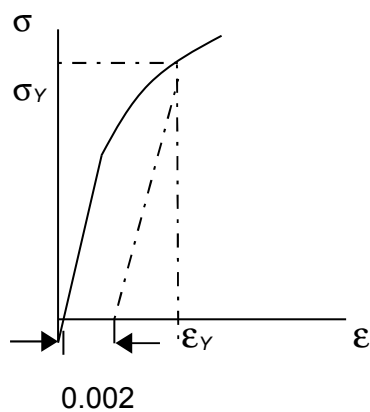
Sifat mekanik beberapa logam, dan paduan

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

Resilience

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

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 :

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

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

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

Ketangguhan (Toughness).

Adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi sampai patah.

Satuan ketangguhan = satuan resilience

bahan ulet -> bahan tangguh

bahan getas -> bahan tidak tangguh

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

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

ϵ_T = regangan sebenarnya

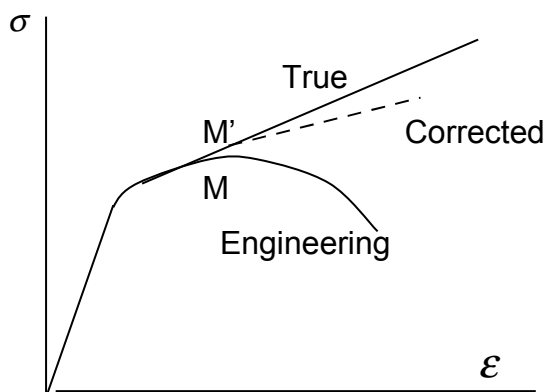
l_i = panjang bahan yang pada saat diberi beban

Jika tidak ada perubahan volume :

$$A_i l_i = A_o l_o$$

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

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



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 = Konstan
 $n < 1$

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

Contoh soal

Sebuah spesimen silinder dari baja mempunyai diameter awal 12,8 mm diuji tarik hingga patah. Kekuatan patah tekniknya diperoleh $\sigma_f = 460$ MPa. Jika diameter patahnya adalah 10,7 mm, carilah:

- keuletan dalam persen pengurangan penampang.
- tegangan sebenarnya pada saat patah.

Jawab

- Keuletan dihitung dari rumus berikut:

$$\begin{aligned} \% AR &= \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 = \frac{\left(\frac{12,8}{2}\right)^2 \pi - \left(\frac{10,7}{2}\right)^2 \pi}{\left(\frac{12,8}{2}\right)^2 \pi} \times 100 \\ &= \frac{128,7 - 89,9}{128,7} \times 100 = 30\% \end{aligned}$$

- Tegangan sebenarnya:

Beban pada saat patah:

$$F = \sigma_f A_0 = (460 \times 10^6)(128,7 \times 10^{-6}) = 59.200 \text{ N}$$

- ∴ tegangan sebenarnya:

$$\sigma_T = \frac{F}{A_f} = \frac{59.200}{89,9 \times 10^{-6}} = 6,6 \times 10^8 \text{ N/m}^2 = 660 \text{ MPa}$$

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

Uji Kekerasan Rockwell

Metode yang paling umum digunakan karena simpel 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 (1,588; 3,175; 6,350; 12,70 mm)

- intan kerucut

Hardness Number (nomor kekerasan) ditentukan oleh perbedaan kedalaman penetrasi 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 : untuk 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

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 maka hasil kurang teliti, gunakan skala dibawahnya atau diatasnya.

Uji Kekerasan Brinell

Indenter : - Bola baja keras ; diameter 10 mm (0,394")
 - Tungsten carbide ; diameter 10 mm (0.394")

Beban : 500 - 3000 kg, step 500 kg

Angka kekerasan brinell adalah fungsi beban dan diameter lobang hasil, dirumuskan:

$$HB = \frac{2P}{\pi D [D - (D^2 - d^2)^{1/2}]}$$

P = Beban
 D = diameter indenter
 d = diameter lubang

Uji Kekerasan Mikro Knoop dan Vickers

Indenter : intan piramid

Beban : 1 - 1000 gr

Hasil test berupa lekukan diperiksa dengan mikroskop

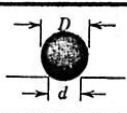



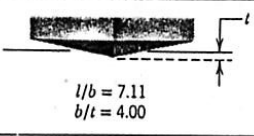

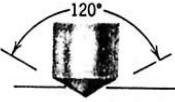



HK = hardness number Knoop (KHN)

HV = hardness number Vickers (VHN)

Knoop dan Vickers digunakan untuk uji kekerasan mikro

- daerah kecil dr spesimen
- uji bahan getas : keramik.

Table 6.4 Hardness Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		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	$HV = 1.854P/d^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid	 $l/b = 7.11$ $b/t = 4.00$		P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	{ Diamond cone $\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres			P	$\left. \begin{array}{l} 60 \text{ kg} \\ 100 \text{ kg} \\ 150 \text{ kg} \end{array} \right\} \text{Rockwell}$ $\left. \begin{array}{l} 15 \text{ kg} \\ 30 \text{ kg} \\ 45 \text{ kg} \end{array} \right\} \text{Superficial Rockwell}$
					

^a 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.

Safety Factor (Faktor Keamanan).

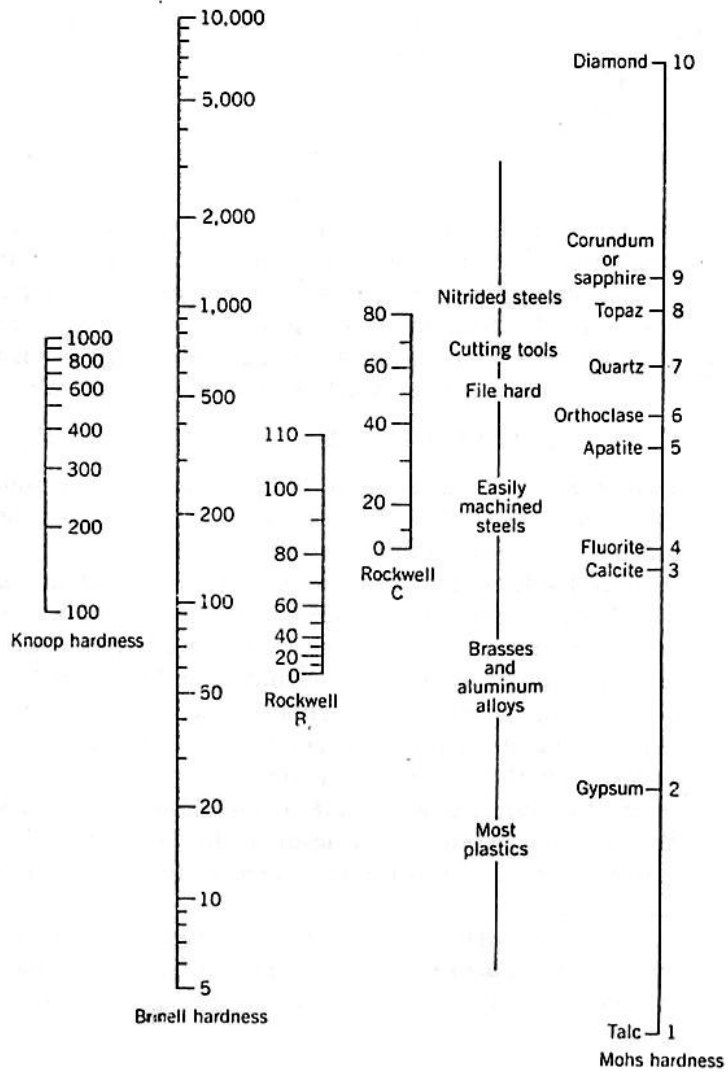
Pada kenyataannya bahan teknik mempunyai sifat mekanik yang variabel, disamping itu pada aplikasi sering beban pada bahan tidak pasti, sehingga perhitungan tegangan hanya pendekatan.

Karena itu kelonggaran disain harus dibuat untuk mencegah kegagalan yang tidak diharapkan, untuk itu digunakan istilah “tegangan aman” atau “tegangan kerja”.

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

dimana: σ_w = tegangan kerja
 σ_y = tegangan luluh
 N = faktor keamanan
 N biasanya 1,2 S/D 4,0

FIGURE 6.17
 Comparison of several
 hardness scales.
 (Adapted from G. F.
 Kinney, *Engineering
 Properties and
 Applications of Plastics*,
 p. 202. Copyright
 © 1957 by John
 Wiley & Sons, New
 York. Reprinted by
 permission of John
 Wiley & Sons, Inc.)



Soal-soal

1. Sebuah spesimen tembaga yang mempunyai penampang segi empat dengan ukuran $15,2 \text{ mm} \times 19,1 \text{ mm}$, ditarik dengan gaya 44.500 N , menghasilkan hanya defor,asi elastis. Hitunglah regangan yan dihasilkan.
2. Sebuah spesimen silinder dari paduan nikel mempunyai modulus elastisitas 207 GPa dan diameter awal $10,2 \text{ mm}$ mengalami hanya deformasi elastis ketika dibebani dengan tarikan sebesar 8900 N . Hitunglah panjang spesimen sebelum deformasi jika perpanjangan maksimum yang diperbolehkan adalah $0,25 \text{ mm}$.
3. Misalkan sebuah kawat titanium dengan diameter $3,0 \text{ mm}$ dan panjang $2,5 \times 10^4$. Hiktunglah perpanjangannya jika diberikan beban 500 N . asumsikan bahwa deformasi yang terjadi adalah elastis.
4. Untuk paduan perunggu, tegangan dimana mulai terjadi deformasi plastis adalah 275 MPa dan modulus elastisitasnya adalah 115 GPa .
 - a. Berapakah beban maksimum yang dapat diberikan ke spesimen yan mempunyai luas penampang 325 mm^2 tanpa terjadi deformasi plastis?
 - b. Jika panjang awal spesimen adalah 115 mm , berapakah panjang maksimum dimana bahan bisa diregang tanpa menyebabkan deformasi plastis.
5. Sebuah spesimen berbentuk silinder dengan diameter 8 mm , diberi tegangan secara elastis dalam tarikan. Gaya sebesar 15.700 N menghasilkan pengurangan diameter spesimen sebesar $5 \times 10^{-3} \text{ mm}$. Hitunglah rasio Poisson untuk spesimen ini jika modulus elastisitasnya 140 GPa .