

# KEKUATAN DAN KEKERASAN BAHAN TEKNIK

*by* Badaruddin Anwar Teknik

---

**Submission date:** 17-Mar-2023 06:57PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2039301667

**File name:** MEKTEK\_II\_Badaruddin\_Anwar.docx (1.94M)

**Word count:** 3629

**Character count:** 22534

## **BAB 4**

### **KEKUATAN DAN KEKERASAN BAHAN TEKNIK**

**Oleh Badaruddin Anwar**

#### **4.1 Pendahuluan**

Penggunaan suatu material dipengaruhi oleh gaya atau pembebanan, sehingga akibat dari gaya atau pembebanan tersebut dapat menimbulkan terjadinya deformasi dan kerusakan suatu material. Sifat-sifat bahan teknik yang perlu diketahui adalah sifat mekanik, sifat termal, sifat kimia, sifat fisik, sifat kelistrikan, sifat kemagnetan, sifat teknologi. Sifat mekanik yang penting adalah kekuatan (*strength*), kekerasan (*hardness*), keuletan (*ductility*), dan ketangguhan (*stiffness*). Sifat mekanik yang dibahas pada bab ini adalah kekuatan dan kekerasan.

Kekuatan suatu bahan dipengaruhi oleh beban yang diberikan atau diterima pada material tersebut, bahan yang menerima beban tarik maka dapat diuraikan kekuatan tarik (*tensile strength*) bahan tersebut, bahan yang menerima beban bending maka diperoleh kekuatan bending, bahan yang menerima beban tekan maka diperoleh kekuatan tekan, bahan yang menerima beban impact maka diperoleh kekuatan impact, benda yang menerima beban puntir maka diperoleh kekuatan puntir.

Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanis yang cukup penting dalam mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis lokal atau titik berupa bekas penekanan yang kecil atau goresan. Pada mulanya pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan pada mineral alami dengan skala yang disusun berdasarkan kemampuan material untuk menggoreskan material lain yang lebih lunak. Angka kualitatif

untuk indeks kekerasan tertentu kemudian ditemukan dan disebut dengan skala **mohs**, dengan rentang dari 1 untuk material paling lunak yaitu talk, dan sampai angka 10 untuk material paling keras yaitu intan.

Proses pengujian kuantitatif dikembangkan dengan menggunakan indentor/penekan kecil kepermukaan material yang diuji, dengan pengaruh beban yang terkontrol dan lama penekanan tertentu. Ukuran kedalaman bekas penekanan diukur kemudian dihubungkan dengan angka kekerasan material, semakin lunak suatu bahan yang diuji maka semakin besar dan semakin dalam bekas penekanan, serta semakin kecil angka kekerasannya atau sebaliknya.

6

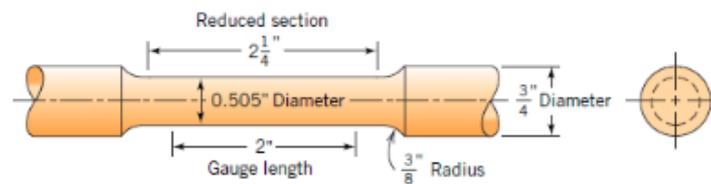
#### 4.2 Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan adalah sifat bahan yang ditentukan oleh tegangan paling besar suatu material mampu berdeformasi sebelum rusak (*failure*). Ini dapat didefinisikan oleh batas proporsional, titik mulur atau tegangan maksimum. Tidak ada satu nilai yang cukup bisa untuk mendefinisikan suatu kekuatan, karena sifat dan karakteristik bahan berbeda terhadap beban dan sifat pembebanannya.

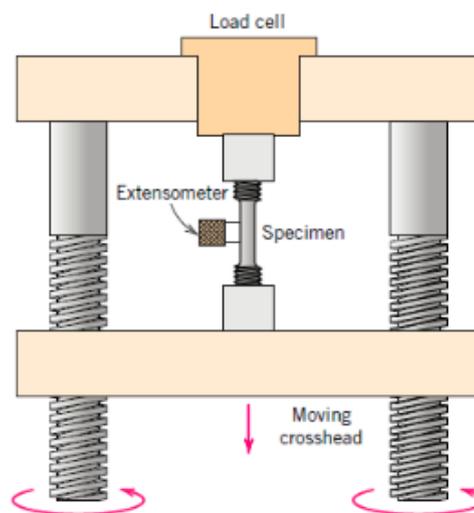
##### 4.2.1 Kekuatan Tarik (*Tensile strength*)

Pengujian tarik merupakan pengujian yang digunakan untuk mengukur sifat mekanis bahan, antara lain kekuatan tarik  $\sigma_u$  (*tensile strength*), kekuatan luluh  $\sigma_y$  (*yield strength*), ketangguhan (*toughness*) dan keuletan (*ductility*). Spesimen ditarik sampai putus, dengan penambahan beban tarik secara kontinu dan perlahan pada spesimen. Spesimen uji tarik standar ASTM pada gambar 4.1. Spesimen uji tarik yang digunakan ada yang berpenampang bulat pejal, ada pula batang

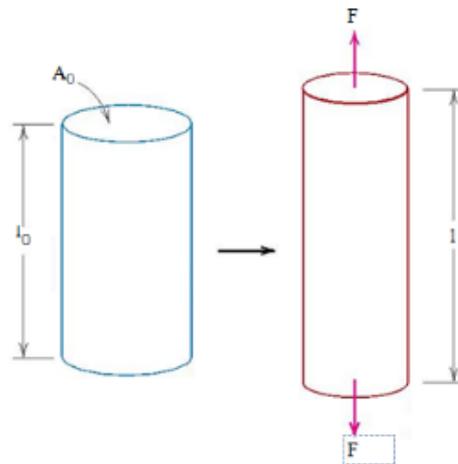
uji berpenampang persegi. Bagian yang mengalami deformasi selama proses pengujian berlangsung adalah bagian uji dengan panjang sebesar 50.8 mm (2.0 in.). Diameter standar bagian uji sebesar 12.8 mm (0.5 in.), kisaran panjang bagian yang direduksi sebesar empat kali diameter atau 60 mm (2¼ in.). Kedua ujung spesimen uji ini dipasang pada cekam dari alat uji (gambar 4.1).



Gambar 4.1 Bentuk spesimen standar ASTM (Callister, 2013)



Gambar 4.2 Gambar skematik mesin uji tarik (Callister, 2013)



Gambar 4.3 Ilustrasi skematik proses penarikan yang menimbulkan pertambahan panjang dan regangan linear positif (Callister, 2013).

3 Mesin uji tarik digunakan untuk menarik spesimen dengan laju penarikan yang konstan, dan secara kontinu dan simultan mengukur beban akibat penarikan dengan menggunakan *load cell* dan perpanjangan spesimen dengan menggunakan ekstensometer. Pengujian tarik berlangsung dilakukan selama beberapa menit sampai spesimen putus.

Untuk menghitung tegangan teknik  $\sigma$  dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4.1)$$

3  $F$  adalah gaya beban yang bekerja tegak lurus pada penampang spesimen, dalam satuan newton (N) atau pound gaya ( $lbf$ ), dan  $A_0$  adalah luas penampang awal sebelum beban diberikan ( $m^2$  atau  $in.^2$ ). Satuan tegangan teknik (biasa hanya disebut

tegangan) adalah megapascal, MPa (SI) (1 MPa =  $10^6$  N/m<sup>2</sup>), dan pound per inci kuadrat, psi (1 MPa = 145 psi).

Untuk menghitung regangan teknik atau disebut regangan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (4.2)$$

$l_0$  adalah panjang awal sebelum beban diberikan, dan  $l_i$  adalah perpanjangan seketika saat beban diberikan. Regangan ini tidak mempunyai satuan sehingga regangan tidak tergantung pada sistem satuan akan tetapi ditentukan dalam bentuk persen dengan mengalikan nilai regangan dengan 100 %.

**Deformasi elastis:** Deformasi atau regangan suatu bahan yang menerima beban tergantung pada besarnya tegangan yang bekerja. Sehingga beberapa bahan yang diberi tegangan tarik yang relatif kecil, maka tegangan dan regangannya dapat proporsional satu sama lain dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (4.3)$$

Persamaan ini dikenal dengan nama Hukum Hooke, dan konstanta proporsional  $E$  (Gpa atau psi) disebut Modulus Elastisitas atau Modulus Young. Nilai modulus elastisitas untuk beberapa logam dapat dilihat pada tabel 4.1

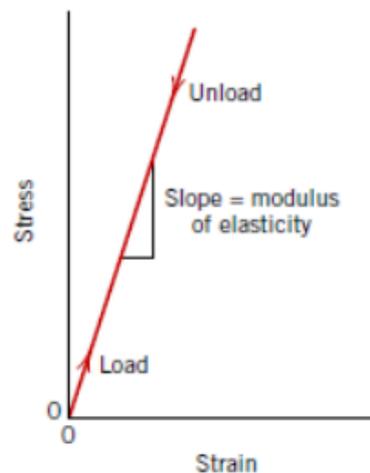
Deformasi yang terjadi apabila tegangan dan regangan saling proporsional disebut deformasi elastis; grafik tegangan (ordinat) versus regangan (absis) berbentuk garis linier seperti

terlihat pada gambar 4.4. Kemiringan dari kurva linear ini menunjukkan besarnya modulus elastisitas.

7  
Tabel 4.1 Modulus Elastisitas pada Beberapa Logam

Logam	Modulus Elastisitas		Modulus Geser		Rasio Poisson
	GPa	$10^6$ psi	GPa	$10^6$ psi	
Aluminium	69	10.0	25	3.6	0.33
Kuningan	97	14.0	27	5.4	0.34
Tembaga	110	16.0	46	6.7	0.34
Magnesium	45	6.5	17	2.5	0.29
Nikel	207	30.0	76	11.0	0.31
Baja	207	30.0	83	12.0	0.30
Titanium	107	15.5	45	6.5	0.34
Tungsten	407	59.0	160	23.2	0.28

Sumber: Callister, 2013



Gambar 4.4 Diagram skematik tegangan-regangan dengan deformasi elastis linear (Callister, 2013).

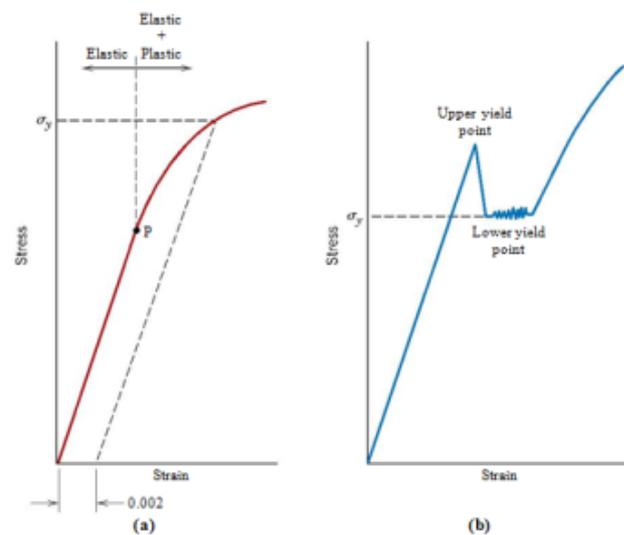
Modulus elastisitas atau disebut kekakuan, atau ketahanan material terhadap deformasi elastis. Modulus ini merupakan parameter penting dalam desain yang digunakan untuk menghitung defleksi elastis.

Deformasi elastis adalah perubahan yang terjadi pada suatu material apabila menerima beban dan jika beban tersebut yang bekerja dilepaskan maka material tersebut akan kembali seperti semula (deformasi elastis bersifat tidak permanen).

**Deformasi Plastis:** Deformasi plastis adalah perubahan yang terjadi pada suatu material apabila menerima beban, dan jika beban dilepaskan maka perubahan tersebut tidak dapat kembali seperti semula (deformasi plastis bersifat permanen). Material logam pada umumnya memiliki deformasi elastis hanya sampai pada regangan sekitar 0.005. dan jika material terdeformasi di atas regangan tersebut, maka tegangan yang terjadi tidak proporsional lagi terhadap regangan. Gambar 4.5 menunjukkan secara skematik tegangan-regangan tarik pada kondisi plastis untuk logam.

**Yielding dan Tegangan Yield.** Sebagian bahan yang menerima beban dan terus menerus meregang, nilai regangan bertambah, tegangan pula bertambah sebelum mencapai titik luluh atau batas elastis. Deformasi elastis akan terjadi saat beban bekerja, sehingga perlu diketahui besar tegangan saat deformasi plastis mulai terjadi atau ketika mulai timbul fenomena yield. Pada suatu bahan logam yang mengalami transisi elastis-plastis yang gradual, titik yield dapat ditandai dengan mulai terjadi perubahan dari garis linear kurva tegangan-regangan, disebut **titik**

**proporsional.** Titik proporsional ditunjukkan dengan titik p pada gambar 4.5a. beberapa kasus, titik ini tidak bisa ditentukan dengan tepat. Sehingga untuk mengetahui titik yield dilakukan offset tegangan dengan menarik garis yang sejajar dengan garis lurus pada kurva tegangan-regangan pada jarak regangan 0,002. Perpotongan antara garis lurus ini dengan kurva tegangan-regangan tarik ditentukan sebagai nilai **tegangan yield ( $\sigma_y$ )**.



Gambar 4.5 (a) Bentuk grafik tegangan-regangan tarik untuk logam dari elastis ke plastis yang memperlihatkan batas proporsional  $P$ , dan tegangan yield  $\sigma_y$  dihitung dengan offset regangan 0.002. (b) Gambaran tegangan-regangan tarik pada beberapa logam dengan yield point (Callister, 2013).

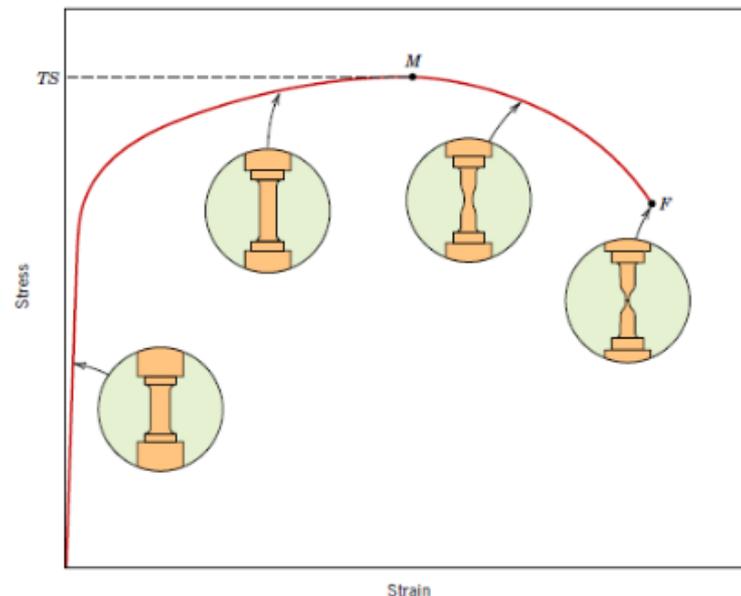
Untuk material yang tidak memperlihatkan kurva tegangan-regangan yang linear pada kondisi elastis, secara praktis diambil pendekatan bahwa tegangan yield terjadi pada saat kondisi pembebanan menimbulkan besarnya regangan sebesar 0,005.

Sebagian material memperlihatkan kurva tegangan-regangan seperti terlihat pada gambar 4.5b. Transisi dari elastis ke plastis ditunjukkan dengan jelas fenomena yield. Pada titik yield tertinggi, deformasi plastis ditandai dengan penurunan tegangan secara aktual. Deformasi selanjutnya agak berfluktuasi pada suatu tingkat tegangan, yang dikenal dengan titik yield rendah. Untuk logam yang memperlihatkan fenomena ini, tegangan yield diambil dari harga rata-rata tegangan pada titik yield rendah, sehingga tidak perlu dilakukan offset regangan.

Tegangan yield adalah besaran yang menunjukkan ketahanan logam terhadap deformasi plastis.

**Tegangan Tarik.** Setelah yielding, tegangan terus berlanjut menjadi deformasi plastis pada logam yang meningkat sampai mencapai titik maksimum, titik *M* pada gambar 4.6, dan selanjutnya menurun sampai material putus, titik *F*.

Tegangan tarik (MPa atau Psi) adalah besarnya tegangan pada titik maksimum dari kurva tegangan regangan gambar 4.6. Ini menunjukkan besarnya tegangan yang dapat ditahan oleh material dalam struktur yang mengalami tarikan, jika tegangan ini terjadi dan berlangsung terus menerus maka akan terjadi kerusakan. Semua deformasi yang terjadi di atas titik ini adalah seragam pada semua titik spesimen tarik. Namun pada tegangan maksimum ini mulai terjadi fenomena **necking** (pengecilan penampang) pada satu titik dan konsentrasi tegangan mulai timbul pada necking tersebut, sebagaimana terlihat pada gambar 4.6. Putus pada spesimen kemudian terjadi pada titik necking tersebut.



Gambar 4.6 Bentuk tipikal grafik tegangan regangan tarik. Tegangan tarik ditunjukkan dengan titik **M** pada grafik. Lingkaran menunjukkan perubahan geometri spesimen akibat deformasi pada saat penarikan (Callister, 2013)

**Ductility (Keuletan)** adalah salah satu sifat mekanis yang penting. Ini diukur dengan melihat besarnya deformasi plastis yang terjadi sampai spesimen uji putus. Material yang memiliki sangat sedikit perubahan atau bahkan tidak ada deformasi plastis sampai putus disebut material rapuh (*brittle*). Keuletan dapat digambarkan secara kualitatif dalam bentuk persentase perpanjangan maupun persentase reduksi penampang. Persentase perpanjangan % *EL* adalah persentase regangan plastis pada saat spesimen uji putus, atau

$$\%EL = \left( \frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100\% \quad (4.4)$$

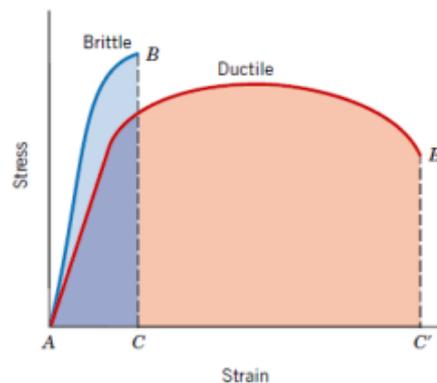
<sup>3</sup>  $l_f$  adalah panjang spesimen saat putus dan  $l_0$  adalah panjang spesimen mula-mula.

Persentase reduksi penampang didefinisikan sebagai

$$\%AR = \left( \frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100\% \quad (4.5)$$

<sup>3</sup>  $A_0$  adalah luas penampang spesimen mula-mula dan  $A_f$  adalah luas penampang spesimen saat putus.

Dari pengujian tarik (tegangan-regangan tarik), diperoleh beberapa sifat mekanis yang penting untuk bahan sebagaimana terlihat dalam tabel 4.2



Gambar 4.7 Representasi skematik tegangan-regangan tarik untuk material rapuh dan ulet yang mengalami pembebanan. (Callister, 2013)

<sup>1</sup> **Resilience** adalah kemampuan material untuk menyerap energi ketika terdeformasi elastis, dan terjadi pemulihan energy (*energy recovered*) ketika beban dihilangkan, Sifat material ini disebut **Modulus of Resilience,  $U_r$** , yaitu energi regangan persatuan volume yang dibutuhkan untuk tegangan material dari keadaan tanpa beban sampai ke titik yielding.

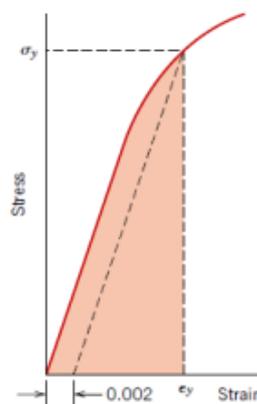
Secara komputasi, modulus resilience untuk spesimen tergantung pada uji tarik untuk daerah dibawah kurva tegangan-regangan sampai pada titik yielding (gambar 4.7), atau

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma \cdot d\epsilon \quad (4.6)$$

Asumsikan bahwa daerah elastis berupa garis linear, maka

$$U_r = \frac{1}{2} \sigma_y \cdot \epsilon_y = \frac{\sigma_y^2}{2E} \quad (4.7)$$

$\sigma_y$  adalah regangan pada saat yielding. Satuan untuk resilience untuk SI adalah joule per meter kubik  $\text{J}/\text{m}^3$ , setara dengan Pa) dan untuk British adalah inci-pound gaya per inci kubik ( $\text{in}\cdot\text{lb}_f/\text{in}^3$ , setara dengan psi). Dari persamaan di atas terlihat bahwa, resilient material yang memiliki tegangan yield yang tinggi dan modulus elastis yang rendah; maka material tersebut cocok untuk digunakan sebagai bahan pegas.



Gambar 4.8 Representasi skematik modulus resilience (ditandai dengan area yang gelap) ditentukan dari kurva tegangan-regangan suatu material (Callister, 2013).

**Tegangan regangan sebenarnya.** Kadang-kadang lebih benar jika digunakan grafik tegangan-regangan sebenarnya. Tegangan sebenarnya  $\sigma_T$  didefinisikan sebagai beban  $F$  dibagi dengan luas penampang sesaat  $A_i$  selama proses deformasi berlangsung (yaitu pengecilan penampang *neck* setelah tegangan maksimum).

$$\sigma_T = \frac{F}{A_i} \quad (4.8)$$

Selanjutnya untuk regangan sebenarnya juga dapat dituliskan sebagai

$$\varepsilon_T = \ln \frac{l_i}{l_0} \quad (4.9)$$

1 Jika tidak terjadi perubahan volume selama deformasi berlangsung, maka;

$$A_i l_i = A_0 l_0 \quad (4.10) \quad 3$$

Sehingga hubungan antara tegangan-regangan teknik dengan tegangan-regangan sebenarnya adalah

$$\sigma_T = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (4.11)$$

$$\varepsilon_T = \ln(1 + \varepsilon) \quad (4.12)$$

Kedua persamaan di atas 3nya berlaku untuk daerah setelah terjadi *necking*; setelah titik ini, tegangan dan regangan sebenarnya harus dihitung dari beban aktual, luas penampang, dan panjang daerah pengukuran.

#### 4.2.2 Kekuatan Tekan (*Compressive strength*)

Pengujian tekan merupakan pengujian yang digunakan untuk menguji material dengan memberikan beban tekan secara kontinu dan perlahan sampai bahan tersebut terjadi perubahan panjang menjadi pendek (deformasi) hingga material rusak. Uji tekan merupakan kebalikan arah dari pada pengujian tarik dan digunakan untuk mendapatkan beberapa sifat mekanis bahan yang penting dalam desain antara lain kekuatan tekan  $\sigma_c$  (*compressive strength*), kekuatan luluh  $\sigma_y$  (*yield strength*), ketangguhan (*toughness*) dan keuletan (*Ductility*).

Tegangan teknik  $\sigma_c$  didefinisikan melalui hubungan :

$$\sigma_c = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

$F$  adalah beban yang bekerja tegak lurus pada penampang spesimen, dalam satuan newton (N) atau pound gaya ( $lbf$ ), dan  $A_0$  adalah luas penampang awal sebelum beban diberikan ( $m^2$  atau  $in.^2$ ). Satuan tegangan teknik (biasa hanya disebut tegangan) adalah megapascal, MPa (SI) ( $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$ ), dan pound per inci kuadrat, psi ( $1 \text{ MPa} = 145 \text{ psi}$ ).

Regangan teknik atau biasa hanya disebut regangan didefinisikan melalui hubungan :

$$\varepsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2)$$

$l_0$  adalah panjang awal sebelum beban diberikan, dan  $l_i$  adalah perpanjangan seketika saat beban tekan diberikan.

**Ductility (Keuletan)** diukur dengan melihat besarnya deformasi plastis yang terjadi sampai spesimen uji rusak akibat

tekan. Keuletan dapat digambarkan dalam bentuk persentase perpanjangan (% *EL*) maupun persentase reduksi penampang (% *AR*) yakni :

$$\%EL = \left( \frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100\% \quad (3)$$

<sup>3</sup>  $l_f$  adalah panjang spesimen saat terjadi tekan dan  $l_0$  adalah panjang spesimen awal.

$$\%AR = \left( \frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \times 100\% \quad (4)$$

<sup>3</sup>  $A_0$  adalah luas penampang spesimen awal dan  $A_f$  adalah luas penampang spesimen saat terjadi tekan.

#### 4.2.3 Kekuatan Lengkung (*Bending strength*)

<sup>2</sup> Pada pengujian ini bahan uji bisa berbentuk batang persegi empat pejal maupun batang bulat pejal yang diberikan beban penekan tepat pada pertengahan batang dan pada kedua ujungnya diberi tumpuan, pengujian ini dikenal dengan istilah teknik pembebanan tiga titik (*three-point loading technique*), dan ada pula (*four point loading technique*). Pada titik pembebanan di tengah batang, permukaan luar spesimen bagian atas akan mengalami tegangan tekan (ada perpendekan dimensi), sementara pada permukaan luar spesimen bagian bawah akan mengalami tegangan tarik (ada perpanjangan dimensi) dan pada pertengahan spesimen (bagian sumbu spesimen) tetap normal. Besarnya tegangan dihitung berdasarkan ketebalan spesimen, momen lentur, dan momen inersia penampang bahan uji; parameter-parameter ini

diperlihatkan pada Gambar 4.9<sup>2</sup> baik untuk penampang bahan persegi empat maupun penampang bulat. Tegangan tarik maksimum terjadi pada permukaan terluar spesimen bagian bawah sejajar dengan sumbu beban penekan.

Gambar 4.9 skema uji kekakuan

<sup>2</sup> Besarnya tegangan lentur yang terjadi pada spesimen secara umum dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{M.c}{I} \quad (1)$$

Keterangan :  $M$  = momen lentur maksimum  
 $c$  = jarak ke sumbu spesimen  
 $I$  = momen inersia penampang  
 $\sigma$  = Tegangan lentur  
 $b$  = lebar spesimen uji  
 $d$  = tebal spesimen uji  
 $R$  = jari-jari spesimen

Harga momen lentur, pusat sumbu, momen inersia dan tegangan lentur untuk kedua jenis bentuk penampang dapat dilihat pada Tabel berikut :

2  
Tabel 4.2.3 Harga momen lentur, pusat sumbu, momen inersia dan tegangan lentur untuk penampang bulat dan persegi empat.

Penampang	$M$	$c$	$I$	$\sigma$
Persegi empat	$\frac{F.L}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{b.d^3}{12}$	$\frac{3F.L}{2b.d^2}$
Bulat	$\frac{F.L}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{F.L}{\pi R^3}$

Sumber : Callister, 1997

#### 4.2.4 Kekuatan Impak (*Impact strength*)

Pengujian impak benda uji yang diberi takikan (*notch*). Besaran yang diukur dalam pengujian ini adalah harga impak (kerja persatuan luas). Pada umumnya bahan menunjukkan sifat getas pada temperatur rendah (misalnya : cryogenic temperature range). Dengan pengujian impak dapat ditentukan temperatur transisi dari sifat ulet ke sifat getas. Besarnya energi impak dihitung dengan mengukur selisih tinggi ayun bandul sebelum dan sesudah terjadi impak.

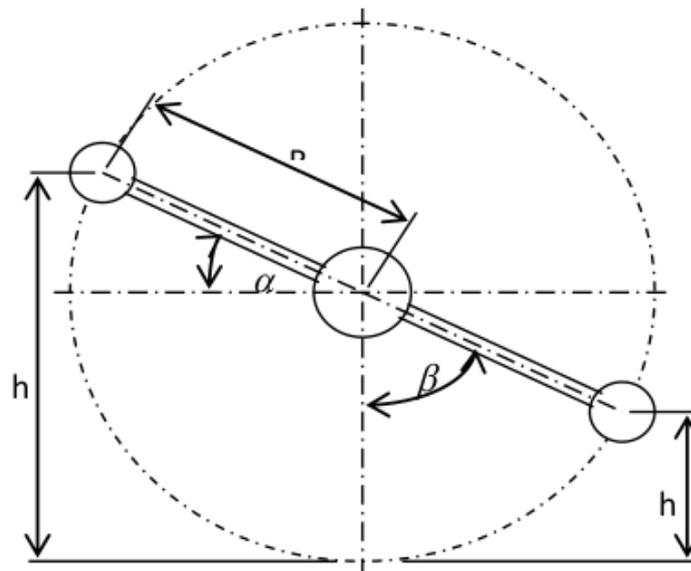
$$EI = m.g.(h_1 - h_2)$$

$$HI = \frac{EI}{A}$$

$$h_1 = R + R.\sin \alpha$$

$$h_2 = R - R.\cos \beta$$

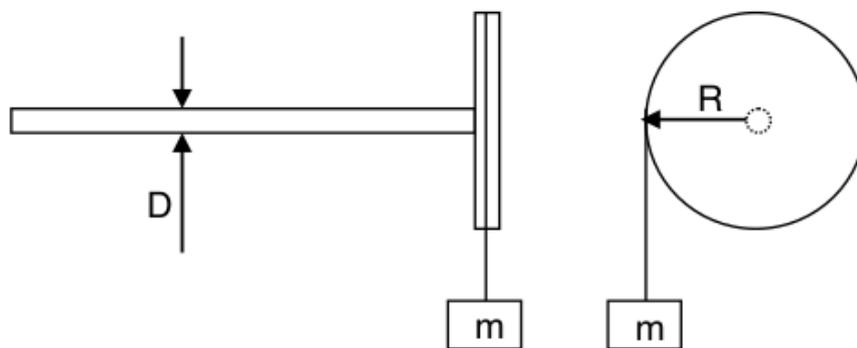
- Keterangan :
- $E$  = energi Impak (Joule)
  - $m$  = massa bandul (kg)
  - $g$  = gaya gravitasi bumi ( $m/s^2$ )
  - $h_1$  = tinggi bandul awal (m)
  - $h_2$  = tinggi bandul setelah impact (m)
  - $HI$  = harga Impak ( $J/mm^2$ )
  - $A$  = luas penampang patahan ( $mm^2$ ) =  $h \times l$
  - $R$  = panjang lengan ayun (m)
  - $\alpha$  = sudut sebelum tumbukan (derajat)
  - $\beta$  = sudut sesudah tumbukan (derajat)



Gambar 4.10 proses uji impact

#### 4.2.5 Kekuatan Puntir (*Torsion strength*)

Kekuatan puntir adalah didapatkan dengan melakukan pengujian pada bahan yang mengalami beban puntir. Keuntungan pengujian puntir adalah fenomena pengecilan setempat dan fenomena barreling tidak terjadi, serta reduksi penampang yang terjadi tidak terlalu besar. Selain untuk menentukan tegangan alir material, uji puntir dapat juga digunakan untuk mendapatkan kurva tegangan geser-regangan geser material.



Gambar 4.11 skema uji puntir

Besarnya momen puntir  $M_T$  dihitung dengan persamaan :

$$M_T = m \cdot R$$

Dimana; m: massa; R: jari-jari lingkaran

Besarnya tegangan geser  $\tau$  dihitung dengan persamaan :

$$\tau = \frac{16M_T}{\pi D^3}$$

Dimana; D: diameter poros

Besarnya regangan geser  $\gamma$  dihitung dengan persamaan :

$$\gamma = \frac{\theta \cdot D}{2L}$$

Dimana:  $\theta$ : Sudut puntir; L : panjang poros

Modulus Geser dihitung dengan persamaan :

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

#### 4.3 Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan bahan, yaitu pengukuran ketahanan material terhadap deformasi plastis lokal (setempat) berupa bekas penekanan yang kecil atau goresan. Teknik pengujian kuantitatif digunakan *indentor*/penekan kecil yang ditekan ke dalam permukaan material yang diuji, di bawah pengaruh beban yang terkontrol dan lama penekanan tertentu. Kedalaman atau ukuran bekas penekanan kemudian diukur, yang kemudian dihubungkan sebagai angka kekerasan material; semakin lunak material, semakin besar dan semakin dalam bekas penekanan, dan semakin kecil angka kekerasannya.

#### **1** Uji Kekerasan Rockwell

Uji kekerasan rockwell merupakan metode yang paling sering digunakan dalam uji kekerasan bahan karena mudah dilakukan dan tidak memerlukan keahlian khusus. Beberapa jenis skala bisa digunakan untuk berbagai jenis kombinasi

pembebanan dan indenter yang digunakan, untuk setiap jenis logam dan paduannya, dari yang keras sampai yang lunak. Indentornya berbentuk bola baja yang dikeraskan dengan diameter 1/16, 1/8, 1/4 dan 1/2 in. (1.588, 3.175, 6.350 dan 12.70 mm) dan kerucut intan yang digunakan untuk logam keras.

Pengukuran kekerasan logam dengan sistem ini dihitung dengan melihat perbedaan kedalaman penekanan yang dihasilkan dari pembebanan minor yang dilanjutkan dengan pemberian beban mayor yang lebih besar; penggunaan beban minor ini meningkatkan kekakuratan pengujian. Berdasarkan besarnya beban mayor dan beban minor, jenis pengujian dibagi atas dua yaitu *Rockwell* dan *Superficial Rockwell*. Untuk *Rockwell* beban minornya 10 kg, beban mayornya 60, 100 dan 150 kg. Setiap skala ditandai dengan huruf alphabet; beberapa diantaranya diberikan dalam tabel ... sesuai dengan jenis indenter dan pembebanan. *Superficial test* menggunakan beban minor 3 kg, beban mayornya 15, 30 dan 45 kg. Skalanya ditandai dengan 15, 30 atau 45 (sesuai beban), diikuti dengan N, T, W, X atau Y, tergantung pada jenis indenter. *Superficial test* biasanya digunakan untuk spesimen yang tipis.

Dalam mengukur kekerasan bahan baik cara *rockwell* maupun *superficial*, harga kekerasan dan simbol skalanya harus diuliskan. Skalanya disimbolkan dengan HR diikuti dengan identifikasi skala yang sesuai. Misalnya 80 HRB menunjukkan angka kekerasan *rockwell* 80 pada skala B, dan 60 HR30W menandakan kekerasan *superficial* 60 pada skala 30W.

Pada setiap skala, range angka kekerasan bisa sampai 130; namun untuk angka kekerasan yang meningkat di atas 100 atau turun di bawah 20 pada setiap skala biasanya menjadi kurang akurat; dan karena skala-skala ini saling overlap, pada

beberapa kondisi <sup>1</sup> lebih baik untuk menggunakan skala lain yang lebih keras atau lebih lunak.

Peralatan uji kekerasan rockwell dapat ber<sup>4</sup>an secara otomatis, angka kekerasan langsung terbaca, dan setiap pengukuran membutuhkan waktu hanya beberapa detik. Peralatan modern juga memungkinkan variasi waktu dalam pemberian beban. Variabel-variabel ini harus diperhatikan dalam mendapatkan data kekerasan material.

### **Uji Kekerasan Brinell**

Uji kekerasan Brinell, sebagaimana pada uji kekerasan Rockwell, juga menggunakan bola baja yang d<sup>6</sup>eraskan yang ditekan ke dalam permukaan material yang diuji. Diameter <sup>4</sup> bola baja penekan yang dikeraskan (atau karbida tungsten) adalah 10.00 mm (0.394 in.). Standar beban bervariasi dari 500 sampai 3000 kg dengan kenaikan beban 500 kg. Selama pengujian, beban dijaga konstan untuk beberapa saat (antara 10 dan 30 detik). Material yang lebih keras membutuhkan penggunaan beban yang lebih besar. Angka kekerasan Brinell, HB, adalah fungsi dari besar beban dan diameter bekas penekanan yang dihasilkan (lihat tabel 1.4). Diameter bekas penekanan ini diukur dengan mikroskop tegangan rendah, dengan melihat skala yang terdapat pada lubang pengamatan di mikroskop. Hasil per<sup>1</sup>ukuran diameter tersebut kemudian dikonversi ke harga HB yang sesuai dengan menggunakan grafik; hanya satu skala yang menggunakan teknik ini, sementara yang lain dihitung dengan menggunakan persamaan pada tabel 1.4.

Tebal spesimen minimum dan posisi penekanan relatif terhadap tepi material dan jarak antara penekanan sama dengan uji kekerasan Rockwell. Selanjutnya, untuk

mendapatkan hasil penekanan yang baik, permukaan material harus cukup halus dan rata.

Pada uji brinell kemungkinan terjadi *flatening*/gepeng pada indentor jika material uji cukup keras dan pada material uji yang lunak kemungkinan bisa terjadi *flow of material*, sehingga dalam pengujian harus hati-hati.

### **1** Uji Knoop dan Vickers Microhardness

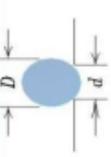
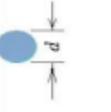
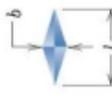
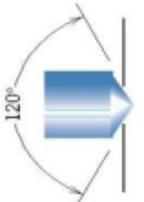
Dua teknik pengujian kekerasan yang lain adalah Knoop (dibaca *nuup*) dan Vickers (biasa juga disebut piramida intan). Pada setiap pengujian, indentor piramida intan yang sangat kecil ditekan pada permukaan spesimen. Beban yang digunakan harus lebih kecil dari Rockwell dan Brinell, bervariasi antara 5 sampai 1000 gram. Bekas penekanan kemudian dilihat di bawah mikroskop dan diukur. Hasil pengukuran kemudian dikonversi menjadi angka kekerasan (Tabel 1.4). Untuk pengujian ini, persiapan spesimen harus hati-hati (dengan digerinda dan dipolis) untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata sehingga hasil pengujian akurat. Kekerasan Knoop dan Vickers biasanya disimbolkan dengan HK dan HV, dan skala kekerasan keduanya hampir sama. Knoop dan Vickers disebut sebagai metode pengujian kekerasan mikro karena beban dan ukuran indentor yang kecil. Keduanya cocok untuk mengukur kekerasan spesimen yang kecil, pada titik tertentu. Selain itu Knoop juga digunakan untuk mengukur kekerasan material yang rapuh seperti keramik.

Selain ketiga metode pengujian kekerasan di atas, ada juga cara yang lain, namun tidak dibahas di sini antara lain : ultrasonic microhardness, dynamic (scleroscope), durometer (untuk material plastik dan elastomer), dan pengujian kekerasan gores.

## **Konversi Kekerasan**

Angka kekerasan untuk setiap metode dapat dikonversi ke angka kekerasan yang lain. Konversi data kekerasan diperoleh dari eksperimen untuk beberapa tipe dan karakteristik material. Konversi data kekerasan untuk baja, beberapa diantaranya diperlihatkan pada gambar 1.11 untuk Knoop, Brinell dan dua skala Rockwell, skala Mohs. Tabel konversi yang lebih detail untuk logam dan paduan yang lain dapat dilihat pada ASTM Standard E 140 "*standard Hardness Conversion Tables for Metals*".

**Table 6.5** Hardness-Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		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	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and superficial Rockwell	Diamond conc: $\frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ in. diameter steel spheres			60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

<sup>a</sup>For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, and D, d, d<sub>1</sub>, and l are all in millimeters.

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.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Callister, W.D., 1997, Material Science and Engineering, USA : John Wiley & Sons, Inc.
2. Callister, W.D., 2013, Material Science and Engineering, USA : John Wiley & Sons, Inc.
3. Harsono, W. dan T. Okumura, 2000, Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta : Pradnya Paramita.
4. Muhib Zainuri, 2008, Kekuatan Bahan, Yogyakarta: Andi
5. Samnur, dan Badaruddin. A, 2022, Pengujian Bahan Teknik, Yogyakarta: Deepublish
6. Simanjuntak, E., 1999(a), Pengujian Mekanik dan Pengujian Tanpa Merusak, Bandung : Polban.
7. ....1999(b), Pengujian Mekanik dan Analisa Struktur Mikro, Bandung : Polban.
8. Syamsul Hadi, 2016, Teknologi Bahan, Yogyakarta: Andi
9. Tata Surdia, dan Shinroku, 1985, Pengetahuan Bahan Teknik, Jakarta: P.T. Pradnya Paramita
10. Vlack, L.V., 1992, Ilmu dan Teknologi Bahan, Jakarta : Erlangga

#### BIODATA PENULIS



Ir. Badaruddin Anwar, S.Pd., M.Pd.

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar

Penulis lahir di Cikowang Takalar tanggal 15 Agustus 1975 . Penulis adalah Dosen tetap pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Makassar.

Menyelesaikan Pendidikan Sarjana pada Jurusan Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Negeri Makassar tahun 2000 dan melanjutkan S2 Kependidikan di universitas yang sama pada tahun 2005, melanjutkan pendidikan profesi Insinyur di Universitas Muslim Indonesia, Makassar pada tahun 2017.

Kegiatan yang ditekuni saat ini adalah sebagai dosen tetap pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Makassar sejak tahun 2007 sampai sekarang. Mata kuliah yang diajarkan antara lain: Pengujian dan Pemeriksaan Bahan, Pengetahuan Bahan Teknik, Kerja Mesin Produksi, serta Pengujian Las.

# KEKUATAN DAN KEKERASAN BAHAN TEKNIK

## ORIGINALITY REPORT

**27%**  
SIMILARITY INDEX

**27%**  
INTERNET SOURCES

**0%**  
PUBLICATIONS

**3%**  
STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

**1** **edoc.pub** 7%  
Internet Source

**2** **ojs.unm.ac.id** 6%  
Internet Source

**3** **text-id.123dok.com** 4%  
Internet Source

**4** **pdfcoffee.com** 3%  
Internet Source

**5** **www.scribd.com** 3%  
Internet Source

**6** **id.123dok.com** 2%  
Internet Source

**7** **bacabse.blogspot.com** 1%  
Internet Source

**8** **eprints.unm.ac.id** 1%  
Internet Source

**9** **repository.its.ac.id** 1%  
Internet Source

Exclude quotes  On

Exclude bibliography  On

Exclude matches  < 27 words