

Pengujian Tarik



- 1). Prof. Dr. Ir. Dwita Suastiyanti M.Si, IPM, ASEAN Eng.
- 2). Victor Danny Waas, ST., MT.

Konsep Dasar Pengujian Tarik

- Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui sifat mekanik logam adalah uji tarik.
- Uji tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/material dengan cara memberikan beban gaya yang berlawanan arah.
- Hasil yang didapatkan dari pengujian tarik sangat penting untuk rekayasa teknik dan desain produk karena menghasilkan data kekuatan material.
- Pengujian tarik banyak dilakukan untuk melengkapi informasi rancangan dasar kekuatan suatu bahan dan sebagai data pendukung bagi spesifikasi bahan.
- Karena dengan pengujian tarik dapat diukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara perlahan.

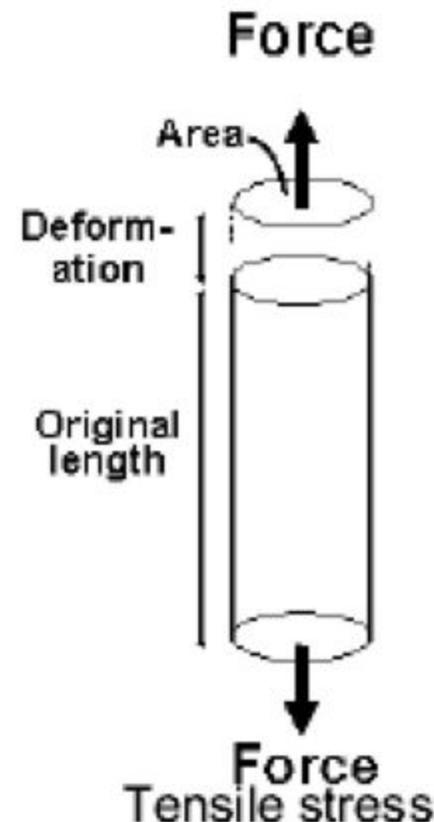
Tegangan (*Stress*)

- Tegangan : Gaya yang dikenakan pada benda dibagi dengan luas penampang benda

$$\text{tegangan} = \frac{\text{gaya}}{\text{luas penampang}}$$

Satuan :

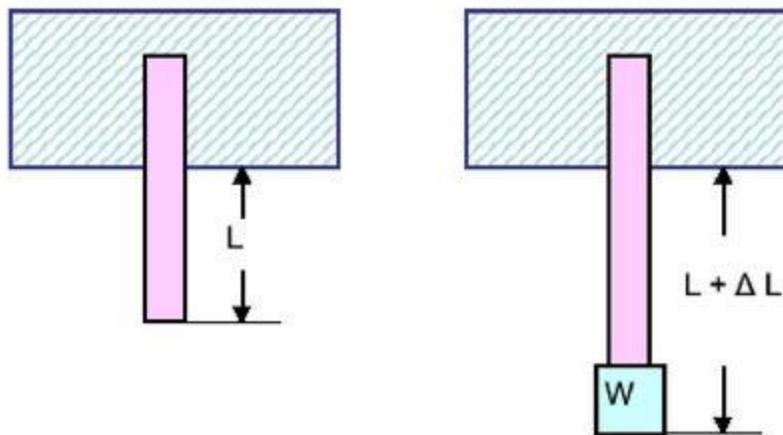
$$\frac{\text{newton}}{\text{meter}^2} \text{ atau Pascal (Pa)}$$



$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

Regangan (*Strain*)

- Ketika suatu beban atau gaya dikenakan pada suatu benda, material akan berdeformasi
- Batang sepanjang L diberi beban sebesar W → batang berdeformasi dan mengalami perpanjangan sebesar ΔL
- Regangan batang (ε) : perpanjangan batang/ panjang batang semula



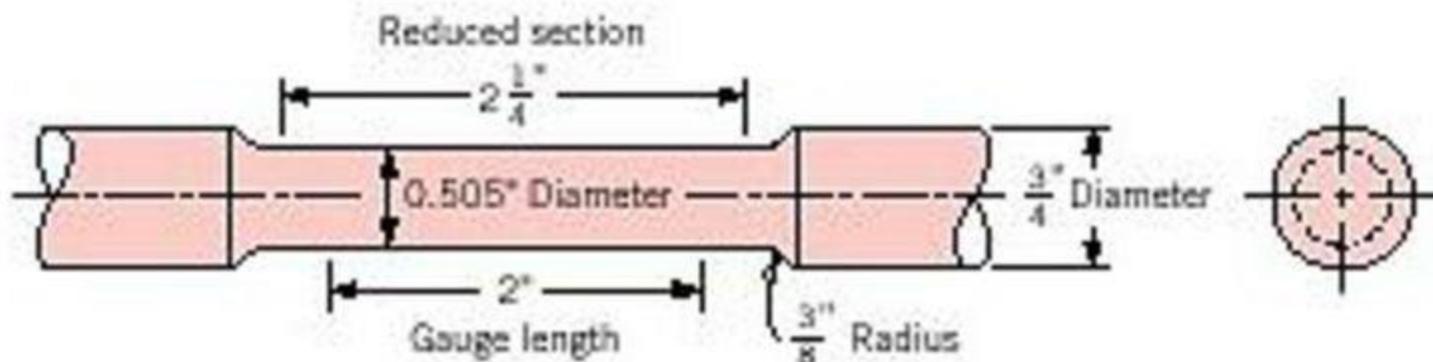
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Satuan:

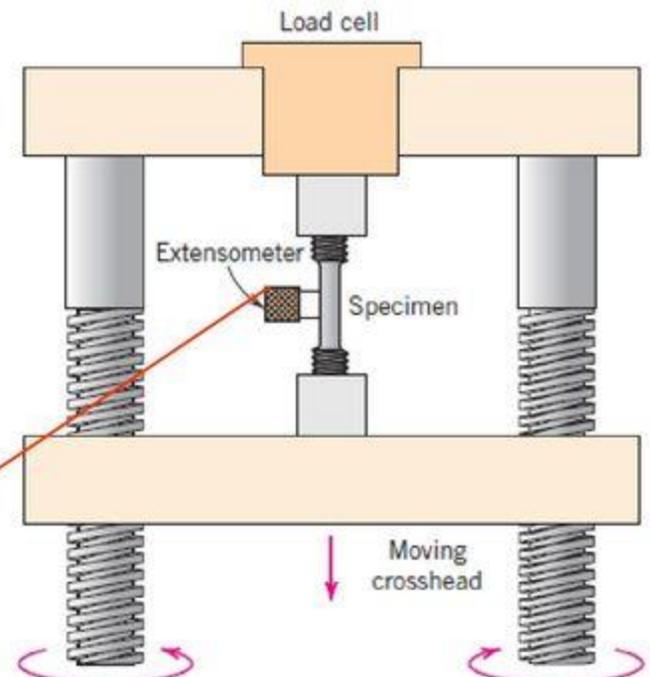
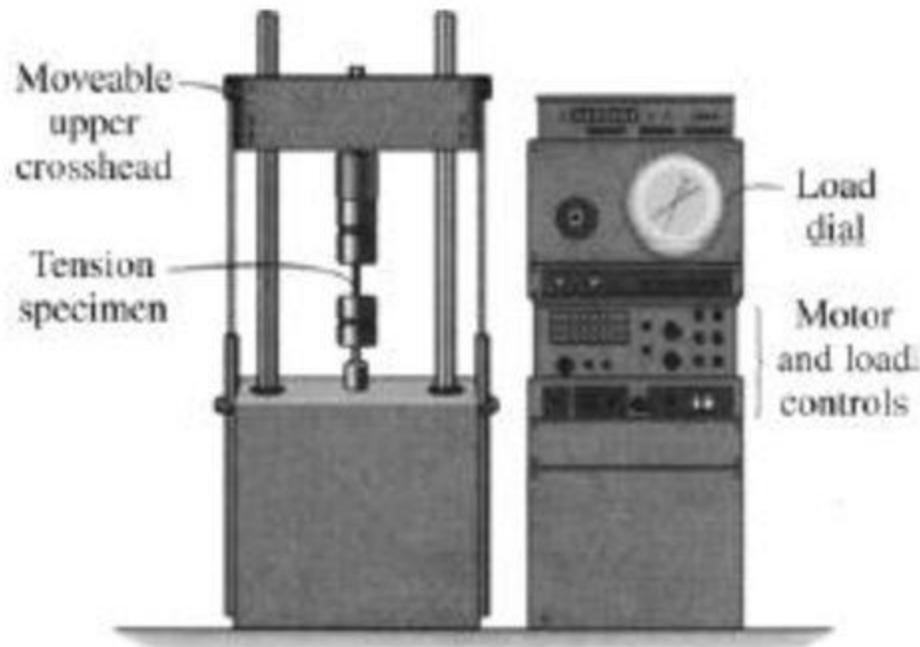
mm/mm atau m/m
atau %

Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

- Mudah, tidak mahal namun spesimen rusak ketika diuji
- Distandarkan (mis: *ASTM Standard E8 dan E 8M "Standard Test Methode for Tension Testing of Metallic Materials"*)
- Diperlukan mesin untuk pengujian: mesin uji tarik
- Mesin uji tarik :
 - Memberikan gaya tarik pada spesimen
 - Mengukur perubahan panjang
 - Merekam reaksi material ketika ditarik, ouput adalah kurva gaya vs perubahan panjang



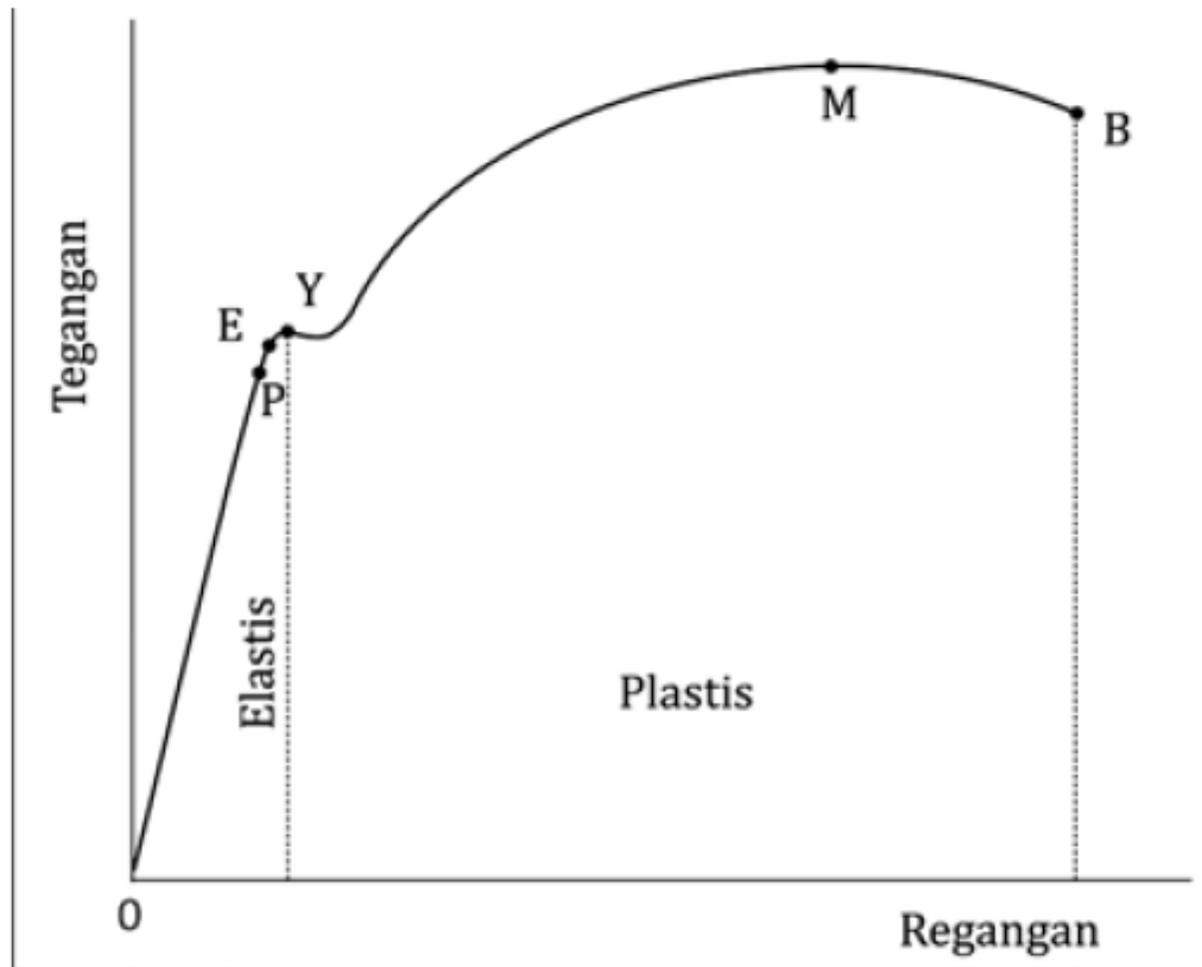
Mesin Uji Tarik



Pengukur regangan

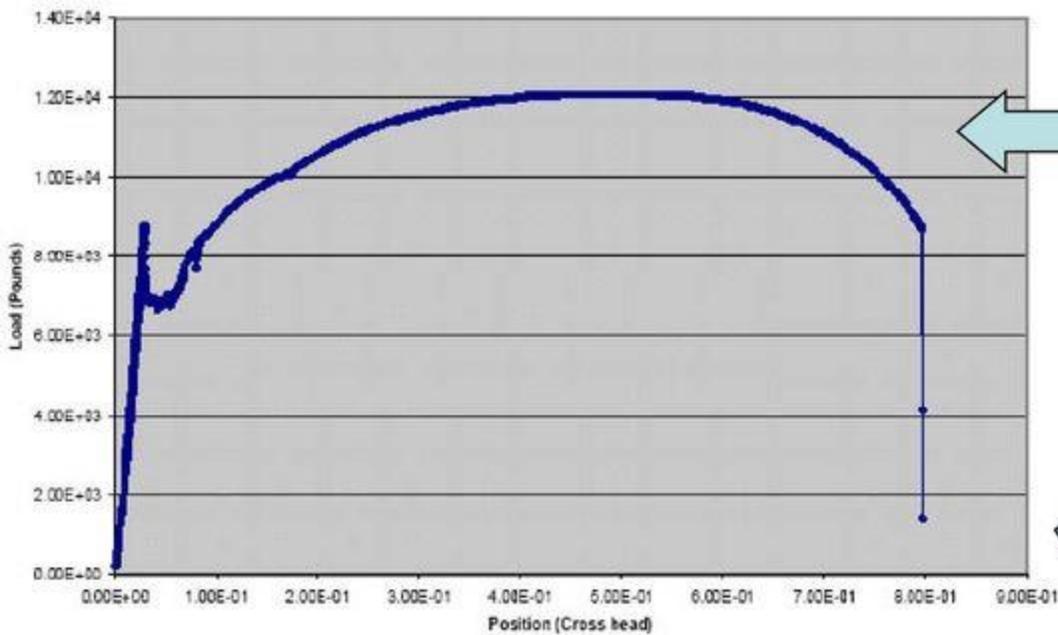
Data Uji Tarik

- Data spesimen
 - Diameter (d), Hitung luas penampang A_0
 - Panjang awal (l_0)
- Data yang didapat dari mesin
 - Besar gaya yang diberikan (F)
 - Besar perubahan panjang yang terjadi (Δl)



Gambar 4.5 Bagian diagram tegangan-regangan

Titik	Nama	Definisi
P	Batas proposional (<i>Proportional Limit</i>)	Batas dimana tegangan dan regangan memiliki hubungan proporsional (Berbanding lurus/Linier).
E	Batas Elastis (<i>Elastic Limit</i>)	Batas suatu material akan kembali pada panjang semula apabila beban/tegangan luar dihilangkan.
Y	Titik Luluh (<i>Yield Point</i>)	Batas material dimana pertambahan beban yang sama akan menghasilkan pertambahan panjang yang lebih besar, bahkan pada suatu saat akan terjadi pertambahan panjang tanpa ada penambahan beban (batang uji bertambah panjang dengan sendirinya).
M	Titik Maksimum (<i>Maximum Point</i>)	Beban mencapai nilai maksimum dan pada batang uji mulai terjadi pengecilan penampang lokal (<i>local necking</i>). Titik ini juga digunakan untuk menentukan kekuatan tarik maksimum (<i>Ultimate Tensile Strength</i>).
B	Titik Putus (<i>Breaking Point</i>)	Material mengalami patah dan menyatakan kekuatan putus. Pada bahan ulet, kekuatan putus lebih kecil daripada kekuatan maksimum dan pada material getas, kekuatan putus sama dengan kekuatan tarik maksimum.

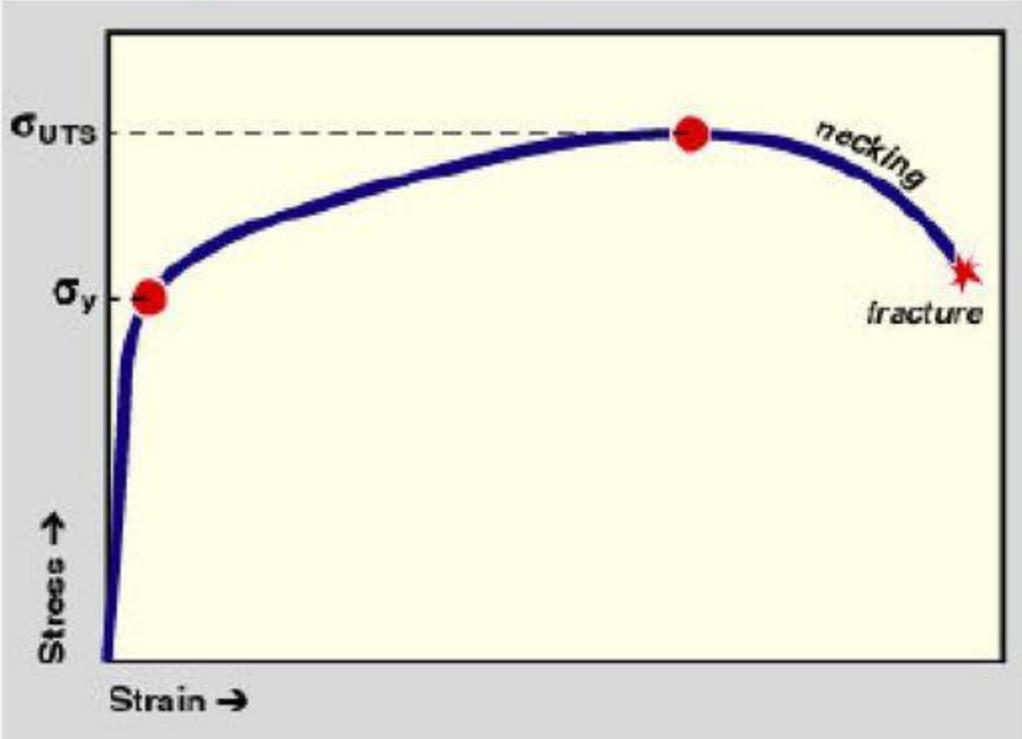


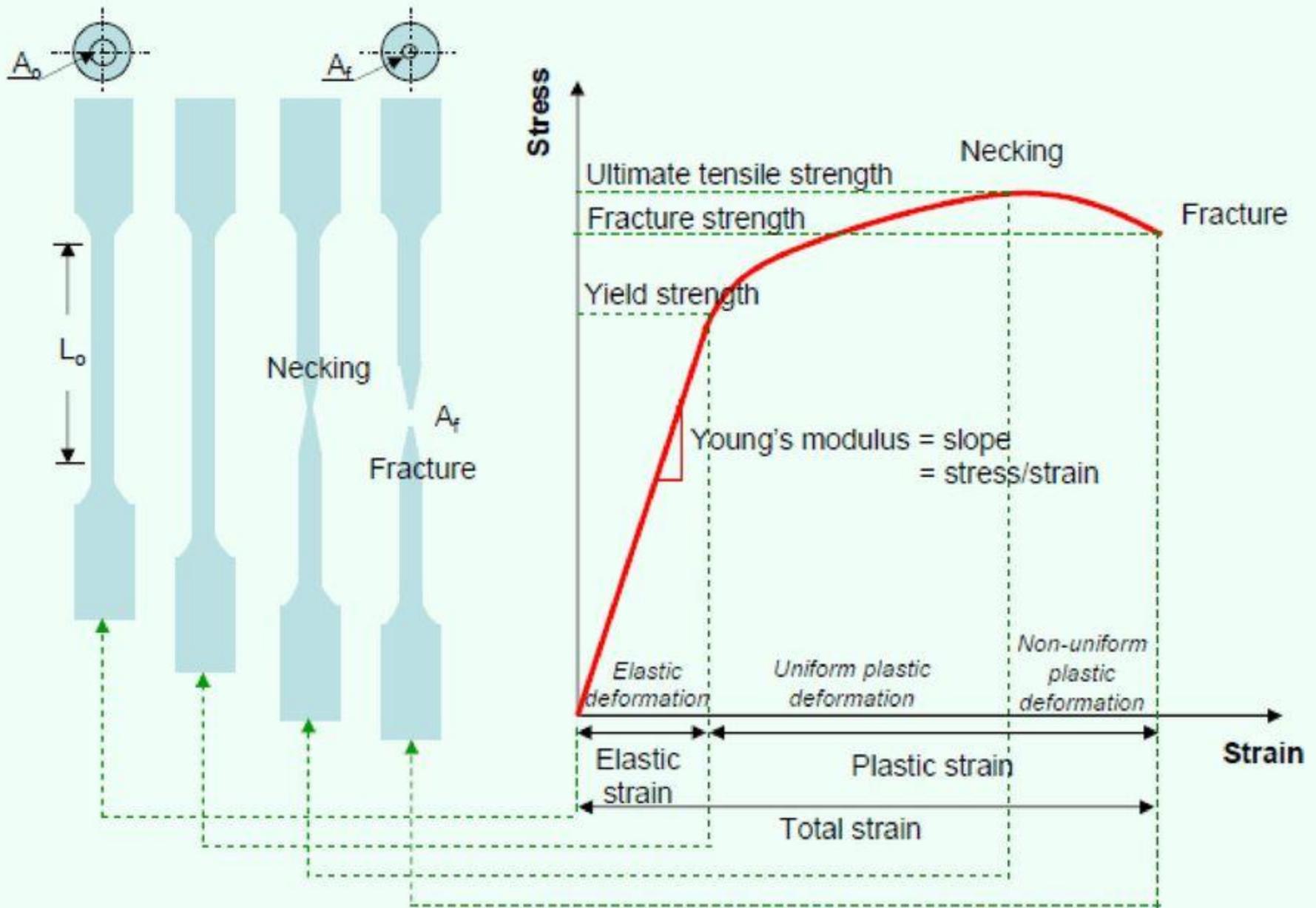
Grafik yang didapat dari mesin:
Gaya vs perubahan panjang (F vs Δl)

Grafik hasil perhitungan:
Tegangan vs regangan (σ vs ε)
Dinamakan kurva tegangan-regangan teknik

$$\sigma(\text{tegangan teknik}) = \frac{F}{A_0}$$

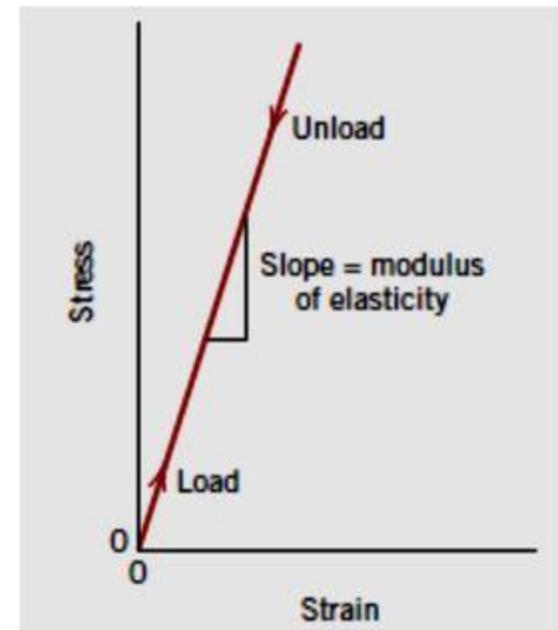
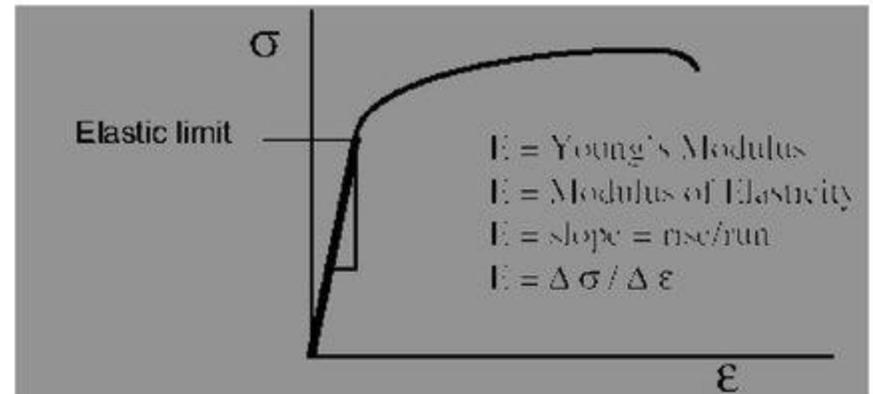
$$\epsilon(\text{regangan teknik}) = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$





Deformasi Elastis

- Untuk metal yang diberi gaya tarik berlaku hukum Hooke: tegangan proporsional dengan regangan pada daerah elastis $\sigma = E\varepsilon$
- E adalah modulus elastisitas
- Deformasi dimana hubungan tegangan dan regangan adalah proporsional dinamakan deformasi elastis
- Deformasi elastik sifatnya tidak permanen, artinya jika beban yang telah diberikan (*loading*) kemudian dihilangkan (*unloading*), benda akan kembali kebentuknya semula



Modulus Elastisitas

- Modulus elastisitas (*Young's Modulus*) merupakan ukuran kekakuan bahan atau ketahanan material terhadap deformasi elastis
- Satuan (SI): N/m^2 (Pa)
- Semakin besar modulus elastisitas, semakin kaku material, atau semakin kecil regangan elastis untuk suatu beban yang dikenakan
- Modulus elastisitas merupakan parameter desain yang penting. Digunakan, misalnya pada perhitungan defleksi elastis batang

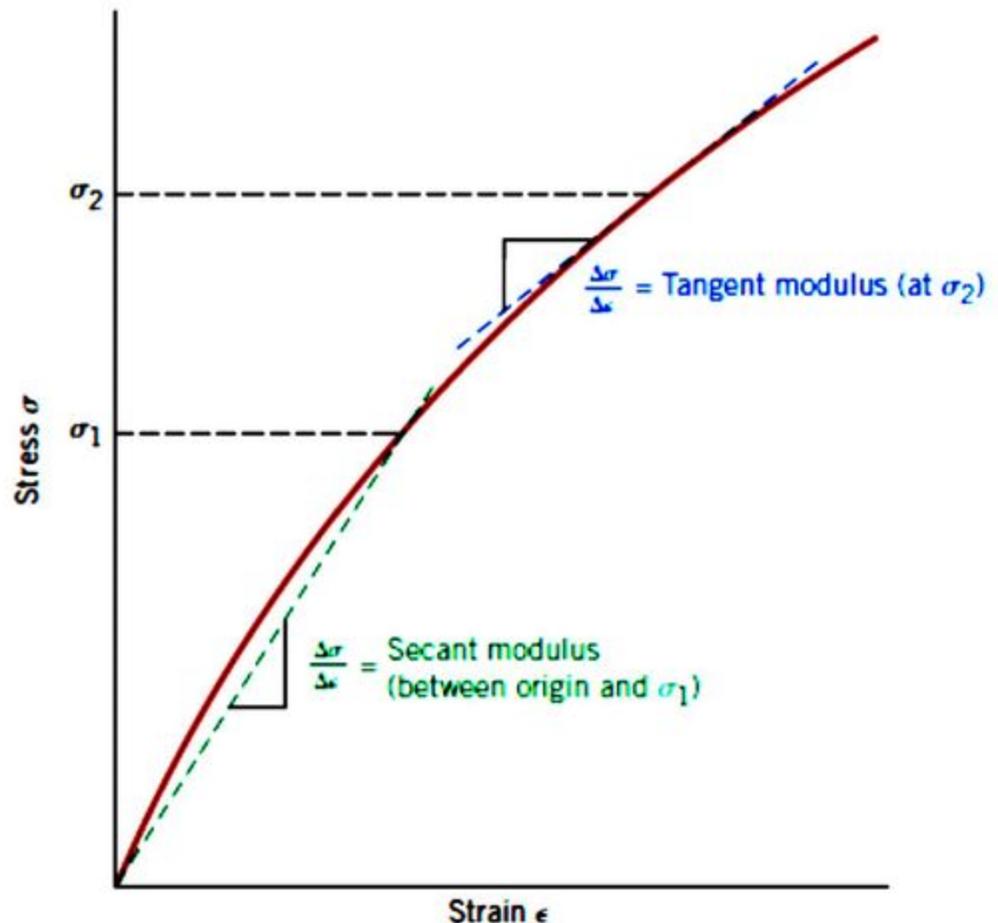
Table 6.1 Room-Temperature Elastic and Shear Moduli, and Poisson's Ratio for Various Metal Alloys

<i>Metal Alloy</i>	<i>Modulus of Elasticity</i>		<i>Shear Modulus</i>		<i>Poisson's Ratio</i>
	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	
Aluminum	69	10	25	3.6	0.33
Brass	97	14	37	5.4	0.34
Copper	110	16	46	6.7	0.34
Magnesium	45	6.5	17	2.5	0.29
Nickel	207	30	76	11.0	0.31
Steel	207	30	83	12.0	0.30
Titanium	107	15.5	45	6.5	0.34
Tungsten	407	59	160	23.2	0.28

⁶The SI unit for the modulus of elasticity is gigapascal, GPa, where $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ N/m}^2 = 10^3 \text{ MPa}$.

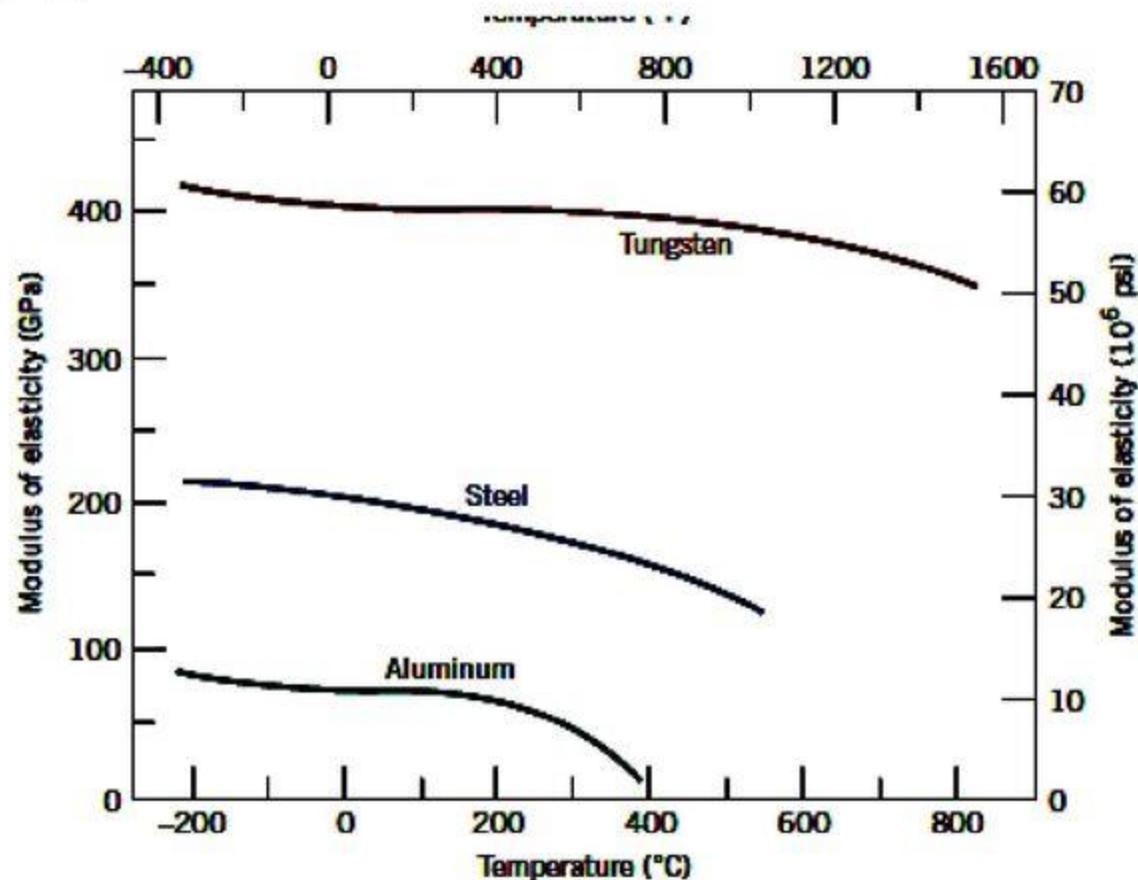
Modulus Elastisitas

- Pada beberapa material, misalnya besi cor kelabu, polimer, beton, kurva tegangan- regangan tidak linier
- Modulus elastisitas : secant modulus atau tangent modulus



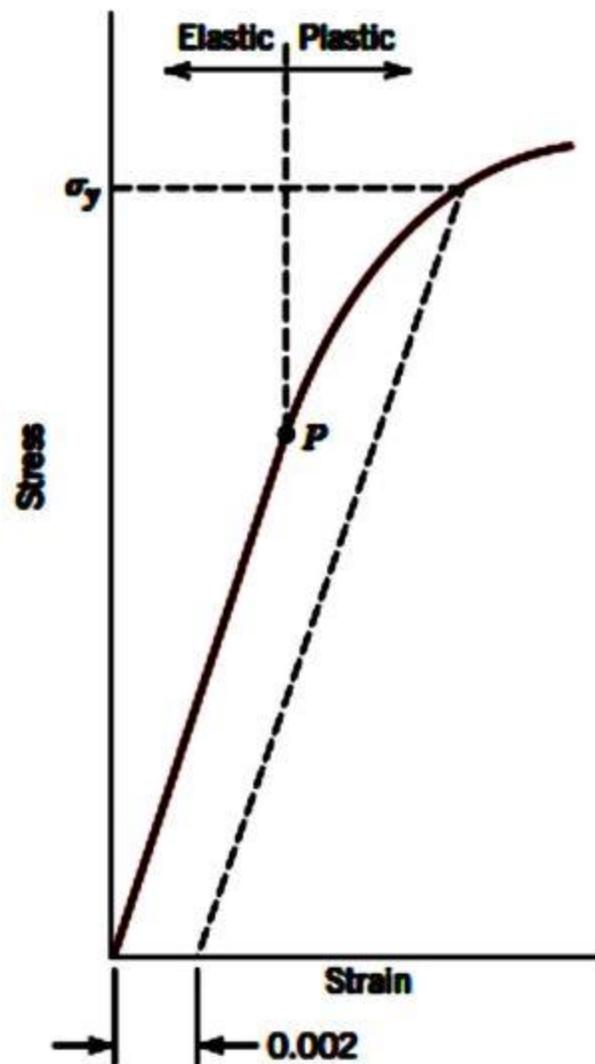
Modulus Elastisitas

- E logam lebih rendah dari E keramik, namun lebih tinggi dari E polimer
- Pada logam semakin tinggi temperatur, semakin rendah E



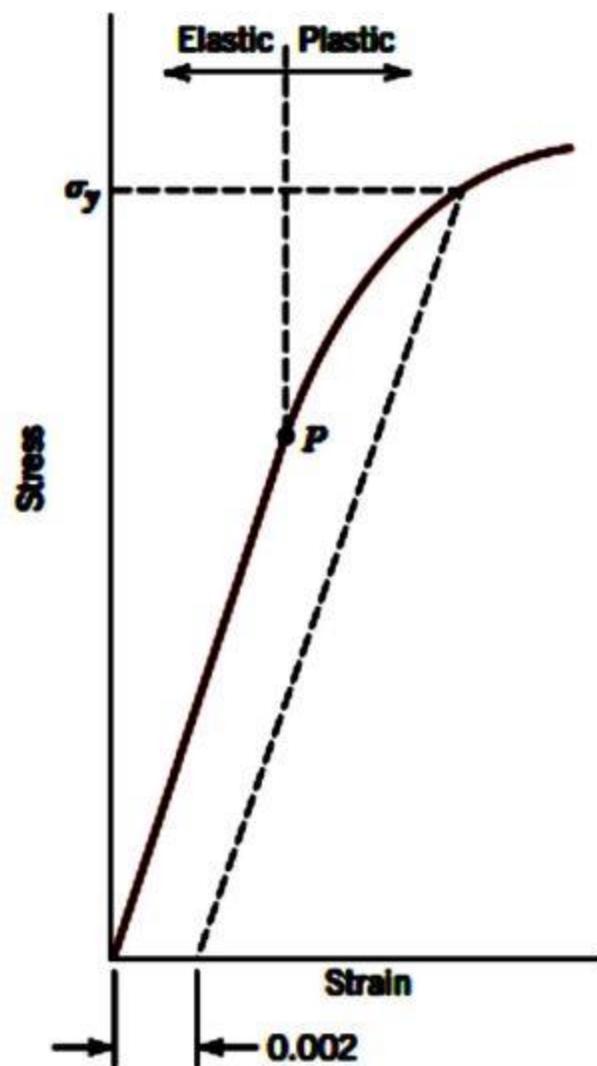
Deformasi Plastik

- Ketika material berdeformasi melewati daerah elastis, hubungan tegangan dan regangan sudah tidak proporsional lagi (hukum Hooke tidak berlaku lagi). Material akan mengalami deformasi plastik.
- Titik dimana garis pada kurva tegangan-regangan mulai tidak linear dinamakan batas proporsional (titik P)
- Deformasi plastik bersifat permanen, artinya jika beban dihilangkan, material tidak akan kembali ke bentuknya semula



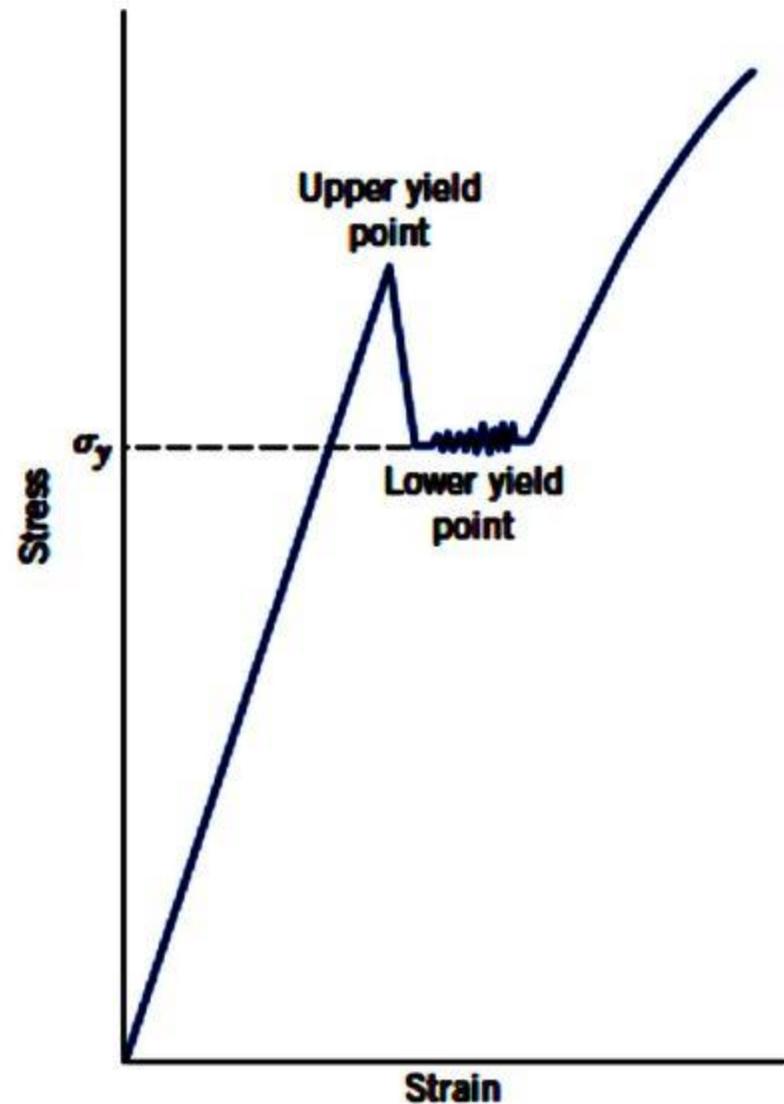
Kekuatan Luluh (*Yield Strength*)

- Pada logam material mulai mengalami luluh setelah batas proporsional tercapai
- Batas proporsional (titik P) kadang-kadang sulit ditentukan dengan tepat
- Konvesi: dibuat garis yang paralel dengan garis linear pada kurva tegangan-regangan pada suatu nilai offset regangan yang ditentukan (0.002). Nilai tegangan yang didapatkan dari perpotongan garis yang dibuat tersebut dengan kurva tegangan-regangan pada daerah plastik, dinamakan kekuatan luluh (*yield strength*)



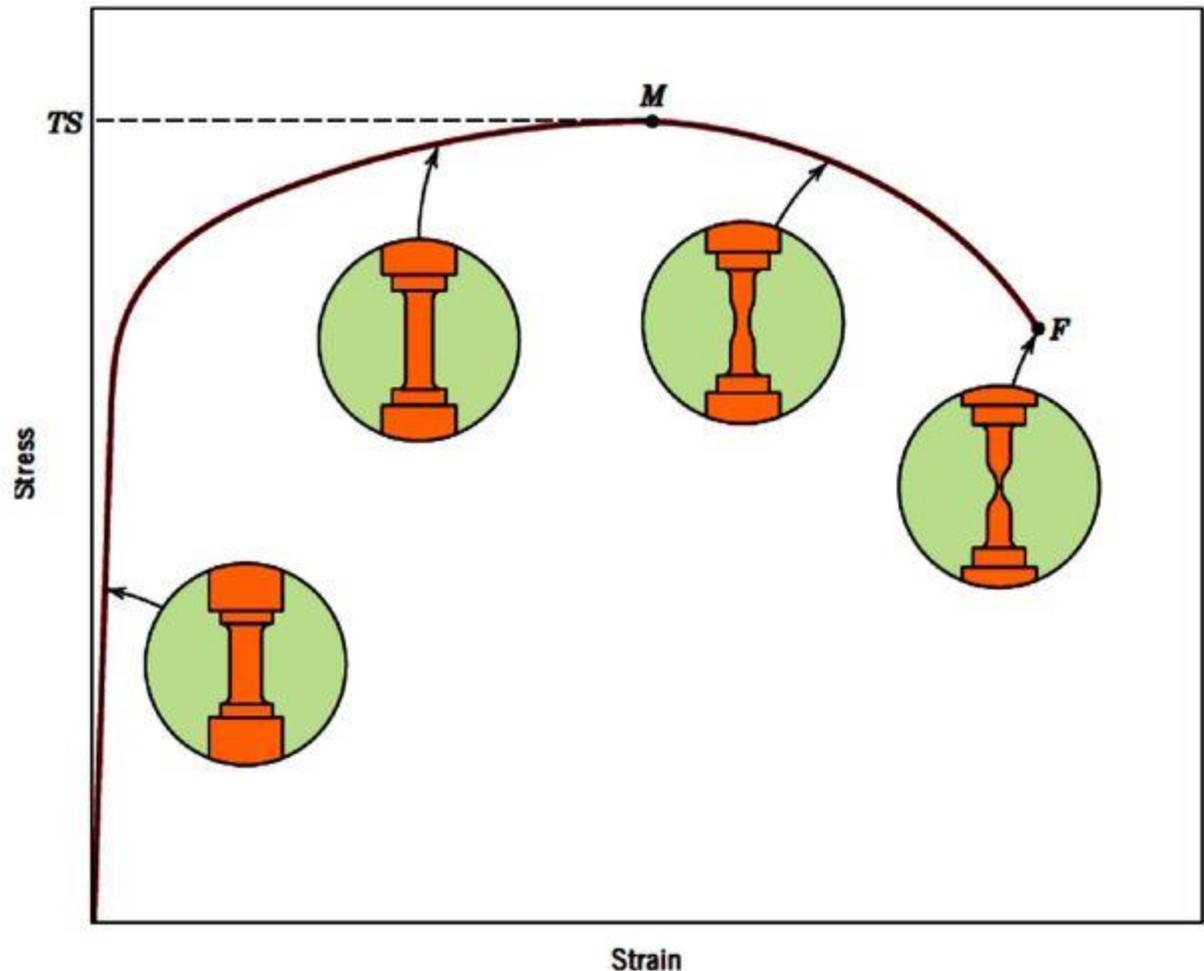
Kekuatan Luluh

- Beberapa baja dan material menunjukkan titik luluh yang berbeda-beda pada kurva tegangan-regangan
- Kekuatan luluh : tegangan rata-rata yang berhubungan dengan titik yield yang terbawah (*lower yield point*)



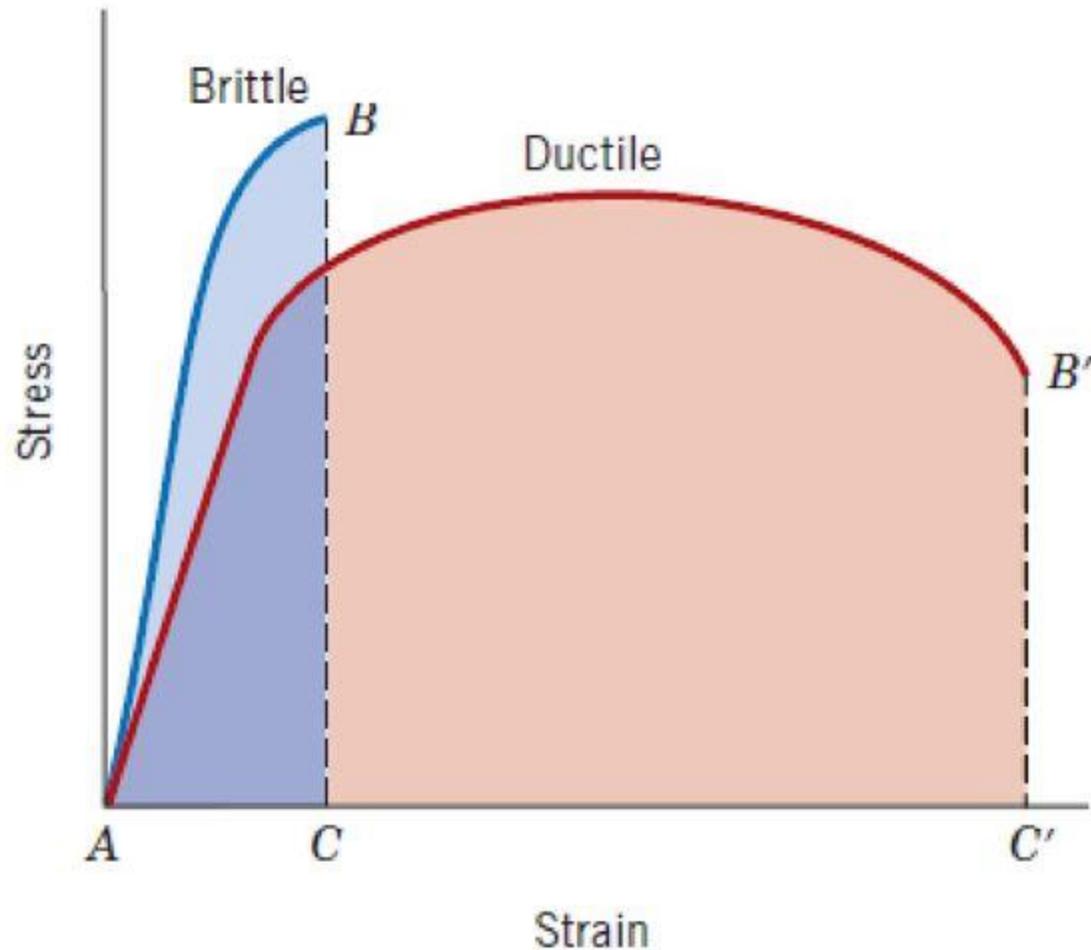
Kekuatan Tarik

- Kekuatan tarik (*Tensile Strength/TS*): tegangan maksimum yang terjadi pada kurva tegangan-regangan
- Merupakan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material ketika ditarik
- Pada tegangan maksimum necking mulai terbentuk.
- Tegangan pada saat patah dinamakan tegangan patah



Duktilitas

- Keuletan (*Ductility*): ukuran derajat deformasi plastik yang dapat ditahan pada saat patah
- Suatu material yang sedikit atau tidak mengalami deformasi plastik sebelum patah dinamakan material getas (*brittle*)
- Duktilitas dinyatakan secara kuantitas dalam persen perpanjangan (*percent elongation*) atau persen reduksi luas penampang (*percent area reduction*)



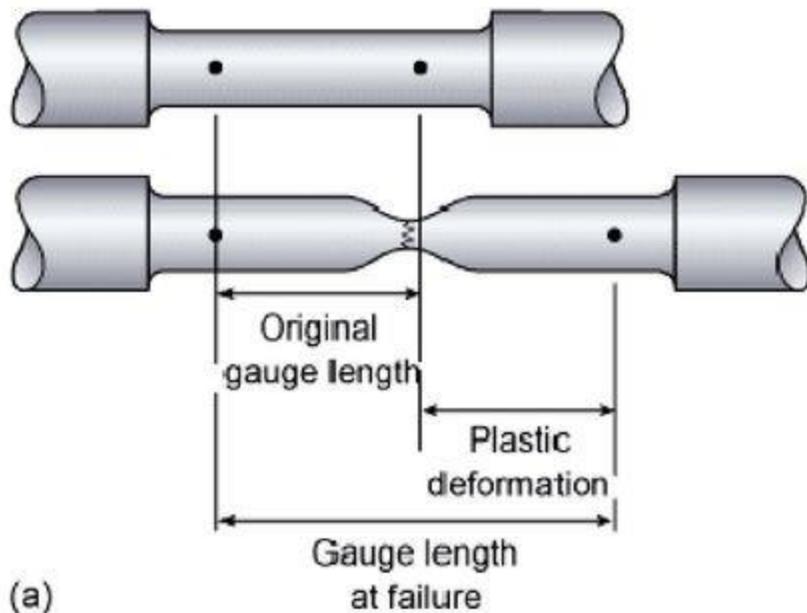
Duktilitas

$$\%E.L = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \cdot 100$$

dimana :

l_f = panjang pada saat patah

l_0 = panjang semula (*gauge length*)

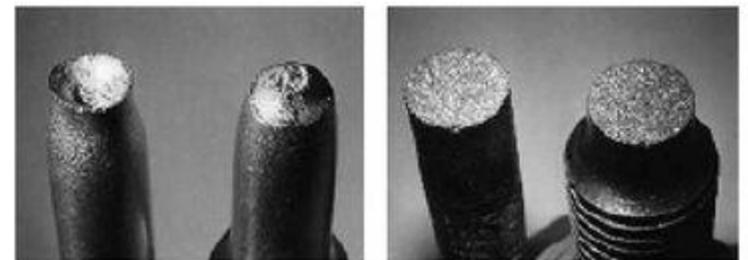
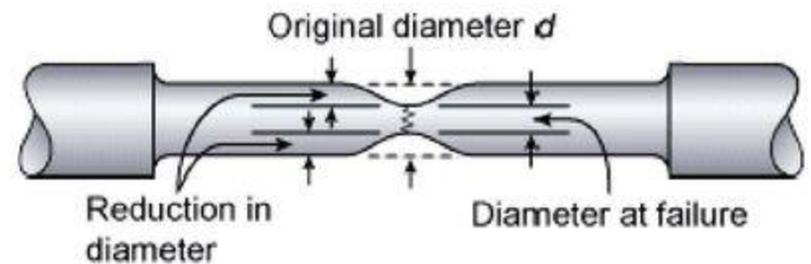


$$\%AR = \left(\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) \cdot 100$$

dimana :

A_0 = luas penampang awal

A_f = luas penampang pada saat patah



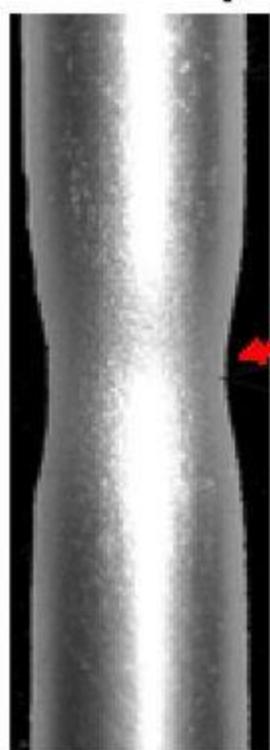
Ductile fracture

Brittle fracture

Duktilitas

% Area reduction example, 6061-T6 Aluminum

Just prior to tensile failure



12.15 mm diameter (initial)
(area = 116 mm² = A_o)

Necking of tensile coupon

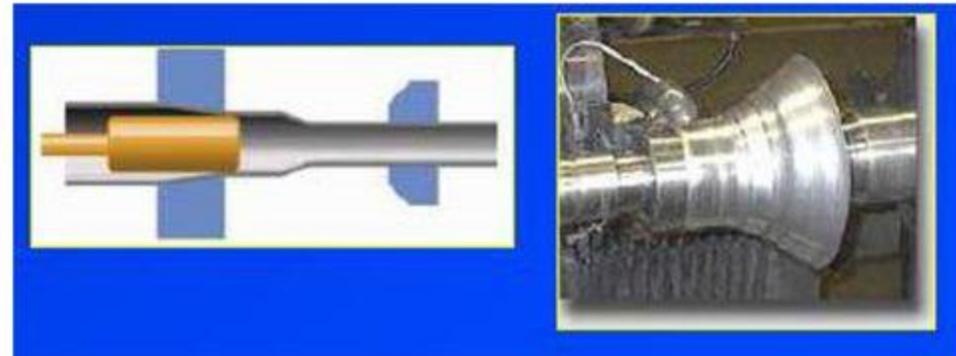
9.46 mm diameter
(area = 70 mm² = A_f)

$$\% \text{Area reduction} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

$$= \frac{(116 \text{ mm}^2 - 70 \text{ mm}^2)}{116 \text{ mm}^2} \times 100 = 40\%$$

Duktilitas

- Duktilitas:
 - menunjukkan pada perancang seberapa besar deformasi plastik yang terjadi sebelum patah pada struktur
 - menunjukkan besarnya deformasi yang diijinkan selama proses fabrikasi



Duktilitas

- Duktilitas meningkat dengan naiknya temperatur

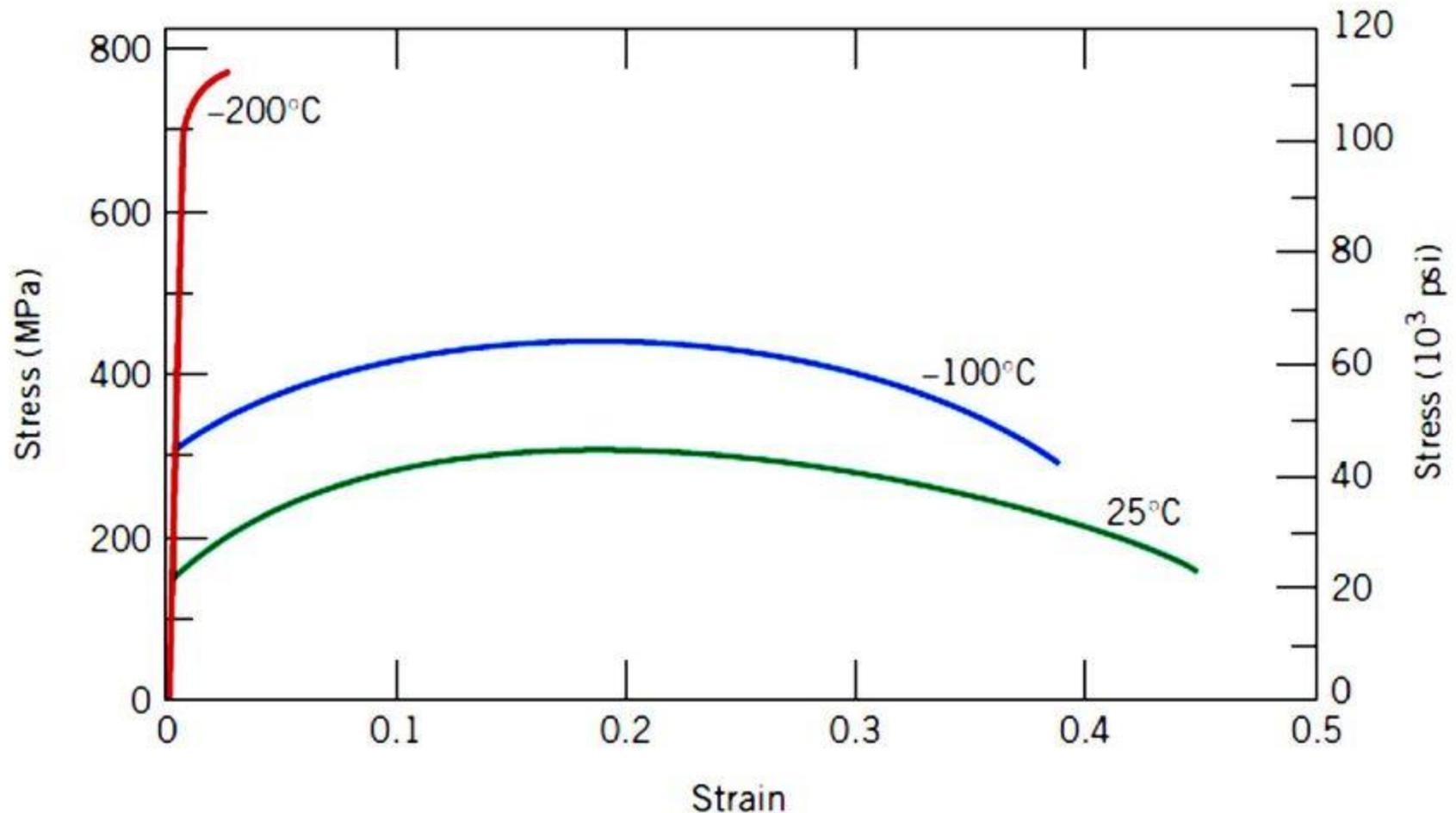


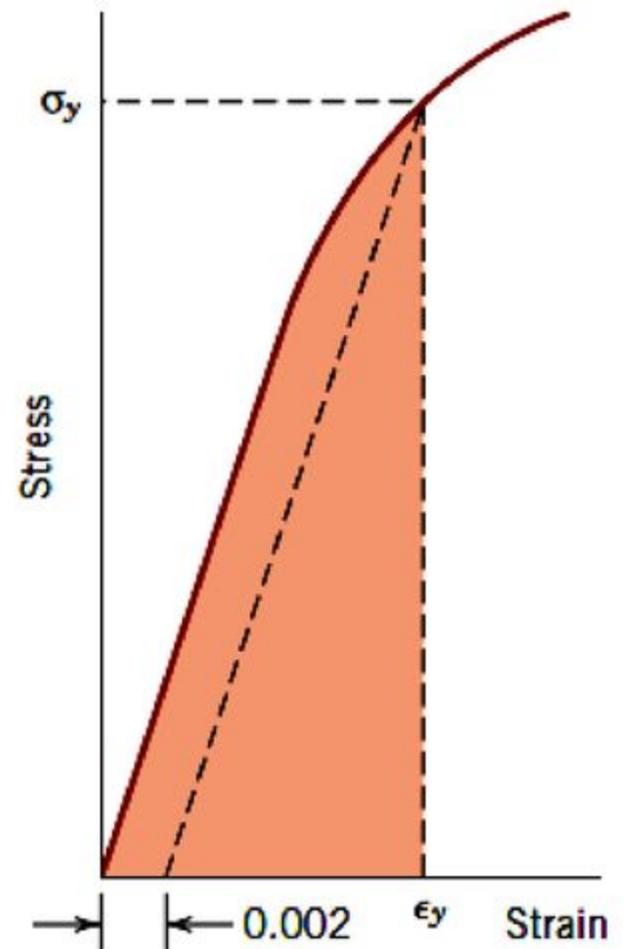
Table 6.2 Typical Mechanical Properties of Several Metals and Alloys in an Annealed State

<i>Metal Alloy</i>	<i>Yield Strength MPa (ksi)</i>	<i>Tensile Strength MPa (ksi)</i>	<i>Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)]</i>
Aluminum	35 (5)	90 (13)	40
Copper	69 (10)	200 (29)	45
Brass (70Cu–30Zn)	75 (11)	300 (44)	68
Iron	130 (19)	262 (38)	45
Nickel	138 (20)	480 (70)	40
Steel (1020)	180 (26)	380 (55)	25
Titanium	450 (65)	520 (75)	25
Molybdenum	565 (82)	655 (95)	35

Kelentingan

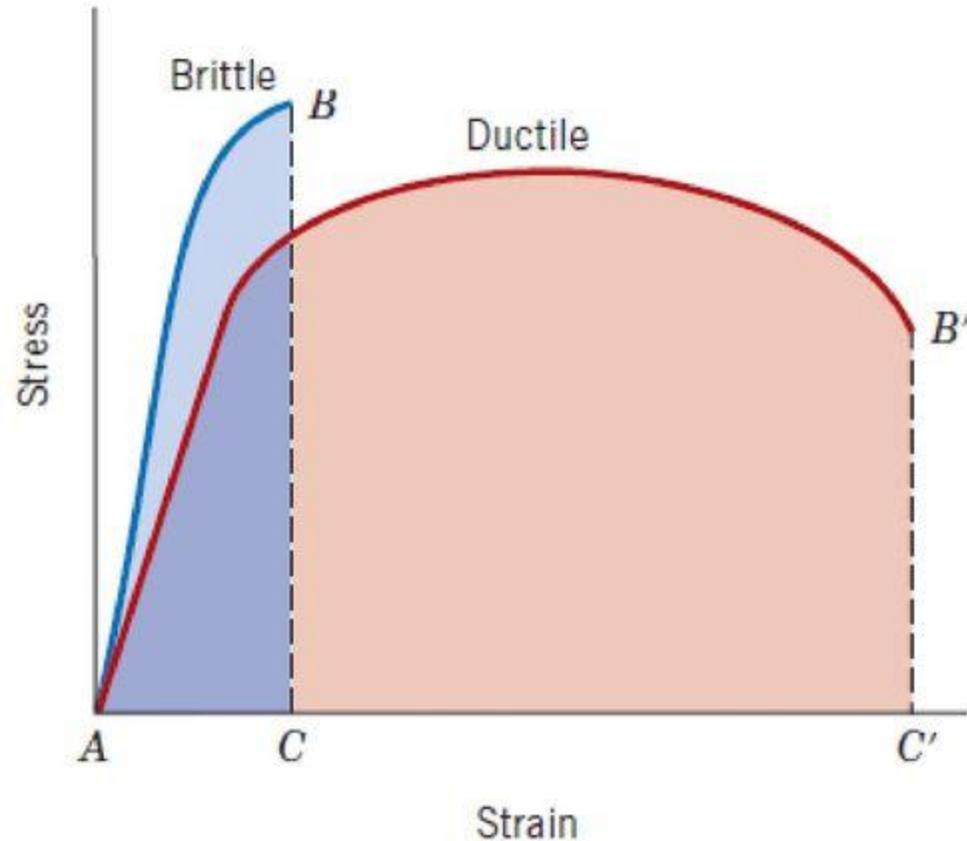
- Kelentingan (*resilience*): kapasitas material untuk mengabsorpsi energi ketika berdeformasi elastis (*loading*) dan memberikan energi tersebut ketika beban dilepaskan (*unloading*)
- Modulus kelentingan U_r adalah energi regangan per unit volume yang dibutuhkan untuk memberikan tegangan pada material mulai dari keadaan tidak ada beban sampai dengan luluh
- Modulus kelentingan merupakan luas di bawah titik luluh pada kurva tegangan-regangan

$$U_r = \int_0^{\epsilon_y} \sigma \cdot d\epsilon = \frac{1}{2} \sigma_y \epsilon_y = \frac{1}{2} \sigma_y \left(\frac{\sigma_y}{E} \right) = \frac{\sigma_y^2}{2E} \text{ Joule/m}^3$$



Ketangguhan

- Ketangguhan (*Toughness*): ukuran kemampuan material untuk mengabsorbsi energi sampai dengan patah
- Merupakan luas sampai dengan patah di bawah kurva tegangan-regangan
- Material tangguh: kuat dan duktil
- Meskipun material getas mempunyai tegangan luluh dan tarik yang lebih besar daripada material duktil, material getas mempunyai ketangguhan lebih rendah

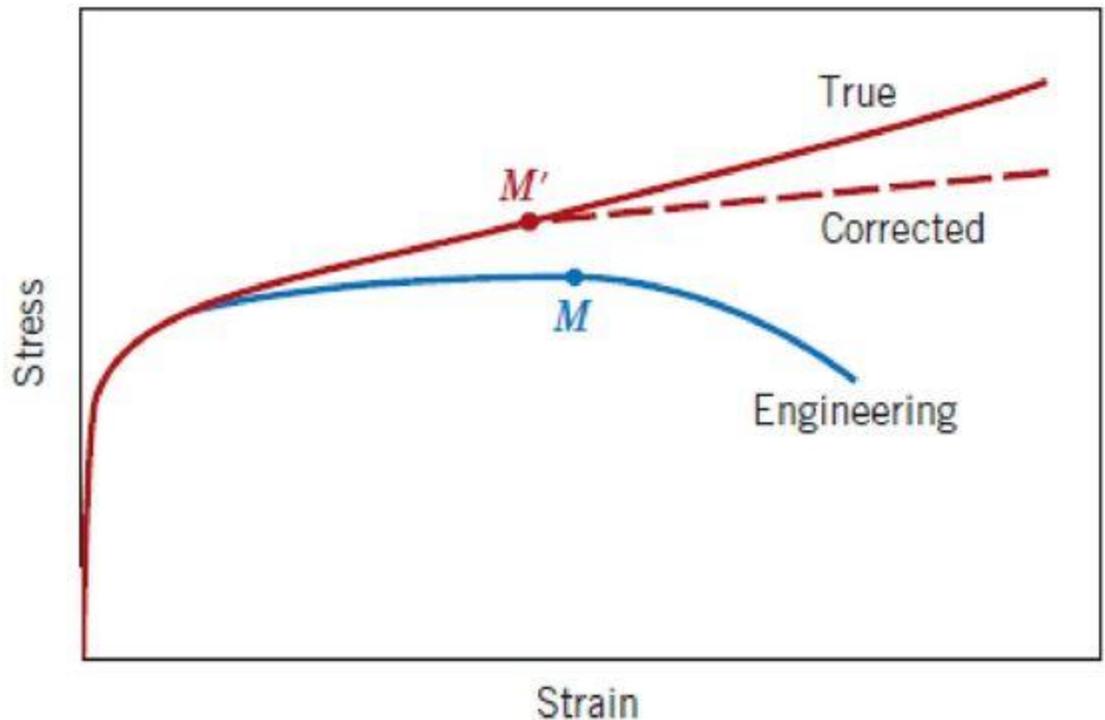


Luas ABC > Luas A'B'C'

Material ductile lebih tangguh daripada material brittle

Kurva Tegangan-Regangan Sebenarnya (*True Stress-Strain Curve*)

- Setelah terjadi *necking*, luas penampang material menurun dengan cepat
- Kurva Tegangan-regangan teknik didasarkan pada luas penampang awal (A_0)
- Kurva tegangan-regangan sebenarnya didasarkan pada luas penampang sesaat



$$\sigma_T = \frac{F}{A_i} \quad \varepsilon_T = \ln \frac{l_i}{l_0}$$

$$A_i l_i = A_0 l_0$$

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

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

SAMPLE TEST: TENSILE TEST ON STEEL

TITLE TENSILE TESTING OF METAL: 1020 COLD DRAWN STEEL

INTRODUCTION:

The following is an example of how to construct a test report. Further information on testing and reporting can be in section two. Please use this as a model for preparing your own reports.

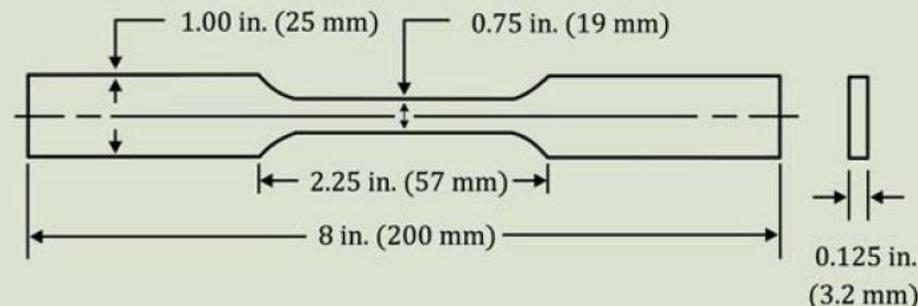
OBJECTIVE:

To Determine the strength and properties of a specimen; to observe the behavior of the specimen under a tensile load; and to study the fracture developed at rupture.

Equipment Required

1. Universal testing machine
2. Extensometer
3. Micrometer or calipers
4. Dividers
5. Safety glasses and shields

SPECIMEN:



Smooth-end round tensile test specimen

PROCEDURE:

1. The original cross-sectional area of the specimen was measured and recorded
2. A 2-in. gage length was marked on the specimen.
3. The proper grippers were selected and mounted on the machine
4. The crosshead of the machine was adjusted to proper range for the test.
5. the load indicator was reset to zero
6. The specimen was properly mounted on the grippers, making sure that the specimen was seated properly in the test apparatus.
7. The crosshead was preloaded to take up the slack
8. An extensometer was mounted on the machine and specimen to measure the crosshead movement.
9. Tensile loading was applied to the specimen at a rate of approximately 500 lb/min
10. Once the yield point was reached, the extensometer was removed and displacement measured with the dividers. The displacement was measured and recorded.
11. Loading continued until rupture where the ultimate strength and rupture strength were recorded.
12. Measurement of the final gage length and final cross-sectional area were taken and recorded.

DATA:

Material: 1020 cold-drawn steel Date:

Original diameter: 0.505 in Gage length: 2.0000 in.

Reading	Load (lb)	Stress (lb/in ³)	D length (in)	strain (in./in.)
1	1,000	5,100	0.0004	0.0002
2	2,000	10,200	0.0008	0.0004
3	3,000	15,300	0.0010	0.0006
4	4,000	20,400	0.0014	0.0008
5	5,000	25,500	0.0018	0.0009
6	6,000	30,600	0.0022	0.0011
7	7,000	35,700	0.0025	0.0012
8	8,000	40,800	0.0029	0.0014
9	9,000	45,900	0.0033	0.0017
10	9,500	48,000	0.0035	0.0018
11	10,000	50,500	0.0037	0.0019
12	10,500	53,000	0.0042	0.0021
13	11,000	56,000	0.0100	0.005
14	12,000	61,100	0.0160	0.008
15	13,000	66,300	0.0260	0.013
16	14,000	72,000	0.0620	0.031
17	11,800	60,000	0.4000	0.250

Fracture

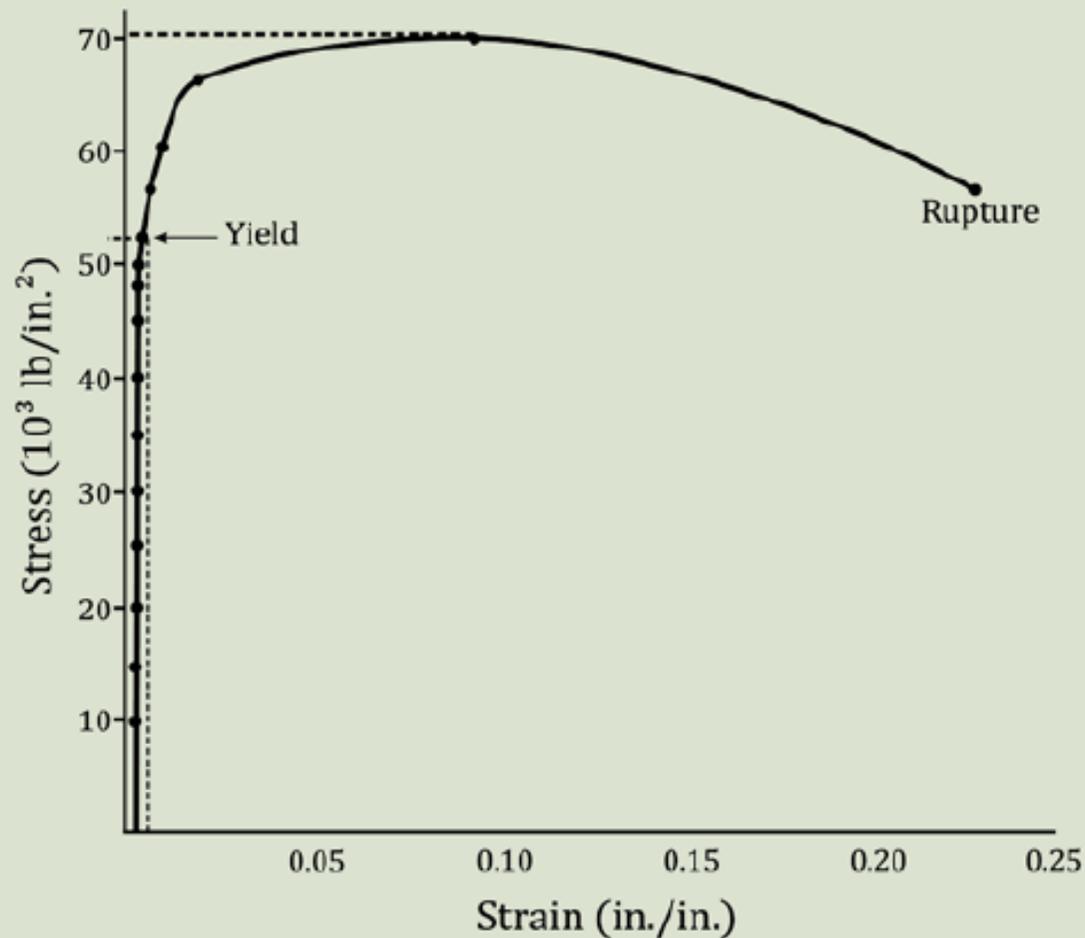
Yield strength at 0.2% offset: 52,750 psi

Proportional limit: 45,500 psi

Ultimate strength: 68,000 psi

Rupture strength: 60,000 psi

Example of tensile test data.



Sample of graph

From the test graph:

Yield strength = 53,000 lb/in²

Ultimate tensile strength = 70,500 lb/in²

Rupture strength = 60,000 lb/in²

Proportional limit = 50,000 lb/in²

Calculation

$$\% \text{ reduction in area} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 = 37\%$$

$$\% \text{ elongation} = \frac{I_f - I_o}{I_o} \times 100 = 15\%$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{50,100}{0,0018} = 2.8 \times 10^7 \text{ lb / in}^2$$

(modulus of elasticity)