

TEKNOLOGI BETON

Sifat Fisik dan Mekanik

Beton, sejak dulu dikenal sebagai material dengan kekuatan tekan yang memadai, mudah dibentuk, mudah diproduksi secara lokal, relatif kaku, dan ekonomis. Agar menghasilkan beton yang sesuai dengan penggunaannya dan ketepatan pemilihan jenis bahannya, maka dibutuhkan pengetahuan tentang material/bahan beserta sifatnya.

Sifat Fisika

Volume, Berat dan Hubungannya

Sifat utama suatu benda adalah berat (W) dan volume (V). **Volume** benda terdiri dari volume bagian padat dan volume bagian tidak padat. Bagian tidak padat berasal dari volume rongga yang disebut pori-pori (void) baik yang terisi air (pori terbuka) dan yang tidak terisi air (pori tertutup).

Volume Benda : $V = V_s + V_v$
 $V = V_s + (V_{ov} + V_{cv}) = V_s + (V_w + V_a)$

Porositas benar : $P = \frac{V_v}{V} \cdot 100\% = \frac{V_{ov} + V_{cv}}{V} \cdot 100\%$

Porositas tampak : $P_t = \frac{V_{ov}}{V} \cdot 100\%$

Derajat Kejenuhan : $S = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100\%$

Rapat Massa (faktor mampat) : $d = \frac{V_s}{V} \cdot 100\%$

Berat Benda : $W = W_s + W_w + W_a = W_s + W_w$

Berat Volume : $\gamma = \frac{W}{V}$

V_v : volume pori
 V_{ov} : volume pori terbuka
 V_{cv} : volume pori tertutup
 V_w : volume air
 V_a : volume udara
 V_s : volume butir/padat

W_a : berat udara
 W_w : berat air
 W_s : berat butir/padat
 W_d : berat butir kering

Berat Volume Kering : $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

Berat Volume Jenuh (saturated) : $\gamma_{sat} = \frac{W_{sat}}{V_{sat}}$

Berat Volume Jenuh Kering Muka (saturated surface dry/SSD) : $\gamma_{ssd} = \frac{W_s + (V_v \cdot \gamma_w)}{V}$

Berat Jenis (specific gravity) : $G = \frac{W_s / V_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{\gamma_w \cdot V_s}$

Daya Serap Air : $K = \frac{W_{sat} - W_d}{W_d} \cdot 100\% = \frac{W_{sat} - W_s}{W_s} \cdot 100\%$

Kadar Air : $w = \frac{W_w}{W_d} \cdot 100\% = \frac{W - W_d}{W_d} \cdot 100\%$

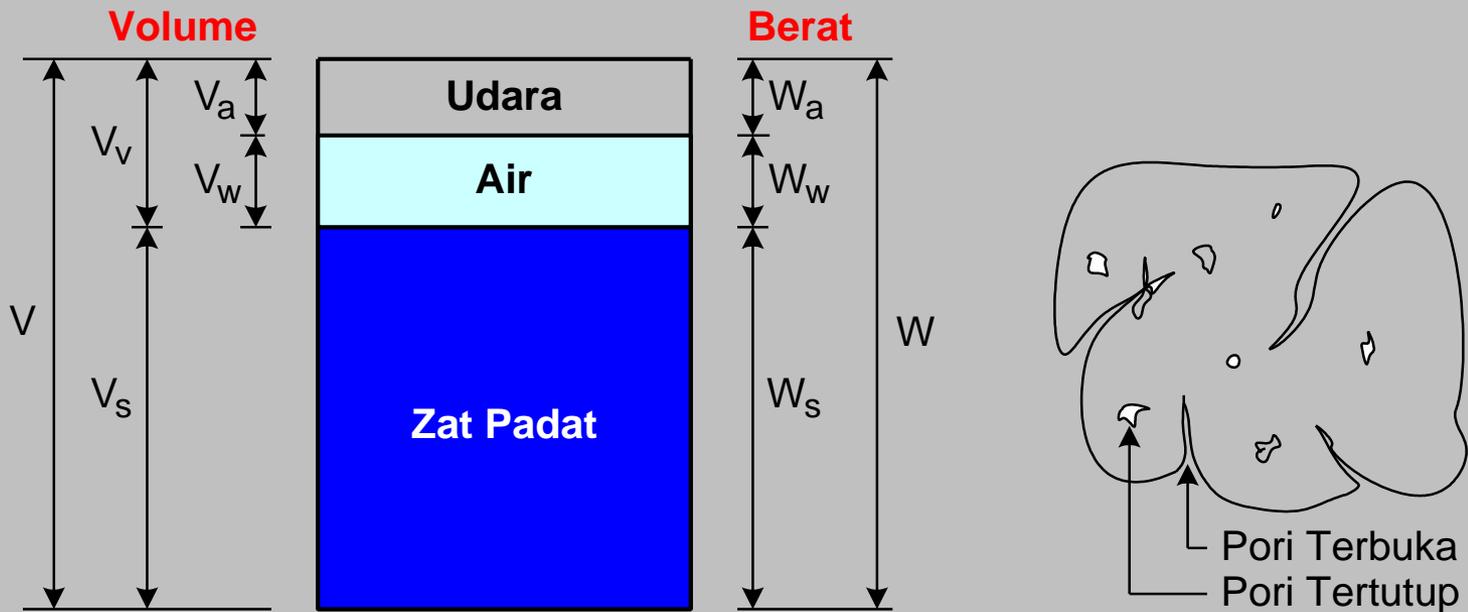
$$w = \frac{W - W_s}{W_s} \cdot 100\%$$

Koefisien Pelunakan : perbandingan kekuatan bahan pada saat jenuh air terhadap kekuatan bahan pada saat kering,

- merupakan indikator ketahanan bahan terhadap air.
- bila nilai koefisien $> 0,80$ bahan tahan air (*water proof*).

Pelolosan (*Permeability*) Air dan Gas : parameter yang menyatakan kemampuan/kekedapan bahan untuk melewatkan air atau gas melalui satu satuan luas selapisan bahan. Dipengaruhi oleh porositas, ukuran pori, kadar air bahan, beda tekanan dan ketebalan bahan.

Berat benda merupakan berat bagian padat dan berat air yang mengisi sebagian atau seluruh pori-pori, sedang berat udara yang mengisi sisa ruang pori-pori dianggap nol.



Penghantaran panas : jumlah panas (kcal/mjam °C) yang dialirkan melalui 1 m tebal lapisan bahan seluas 1 m² selama 1 jam pada setiap 1° C.

Kapasitas panas : kemampuan bahan untuk menyerap panas oleh setiap berat bahan untuk menaikkan setiap 1° C temperatur bahan.

Ketahan bakar : kemampuan bahan untuk tidak menyala atau sulit menyala atau mudah menyala ketika dibakar.

Ketahanan terhadap api (*fire proof*) : ketahanan bahan untuk melebur pada suatu tingkat suhu. Katagori sebagai bahan tahan api :

- tinggi jika tidak melebur pada suhu sampai 1580° C
- sedang jika melebur pada suhu 1350° C – 1580° C dan
- rendah jika melebur pada suhu di bawah 1350° C.

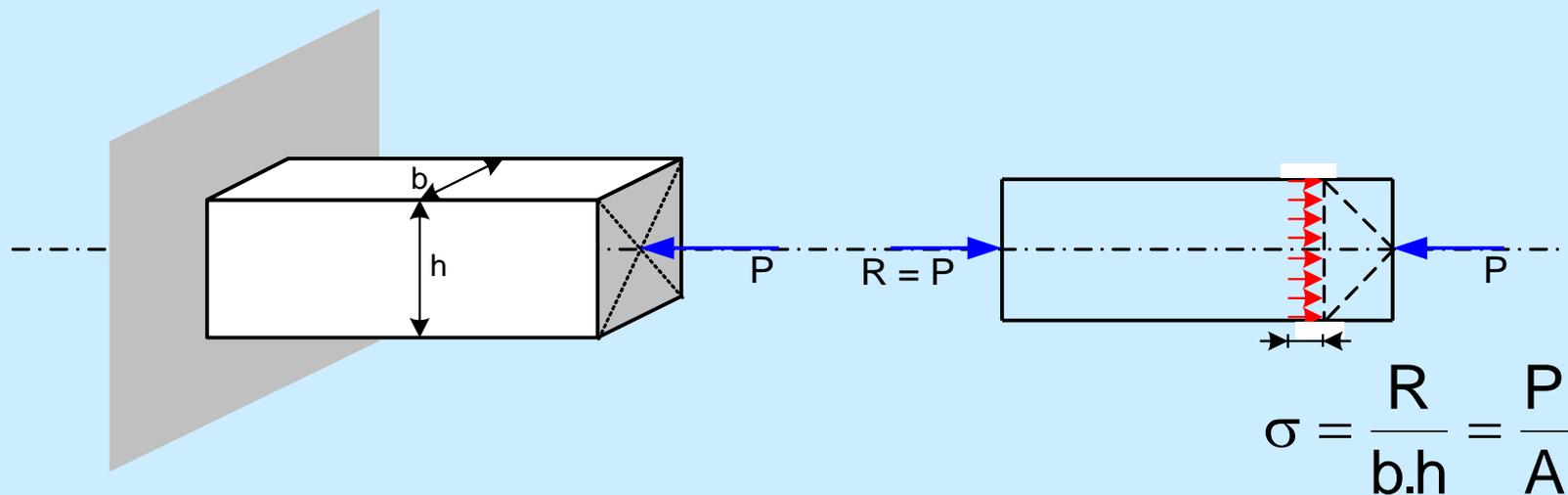
Keawetan : keawetan bahan merupakan kemampuan untuk bertahan/tidak rusak akibat pengaruh kondisi lingkungan (suhu, kelembaban, zat asam, atau zat lainnya atau juga rayap dan lain-lain).

Sifat Mekanik : adalah respon suatu benda terhadap gangguan berupa gaya dari luar. penting dalam bidang teknik sipil, dapat dibagi dalam dua katagori, yaitu

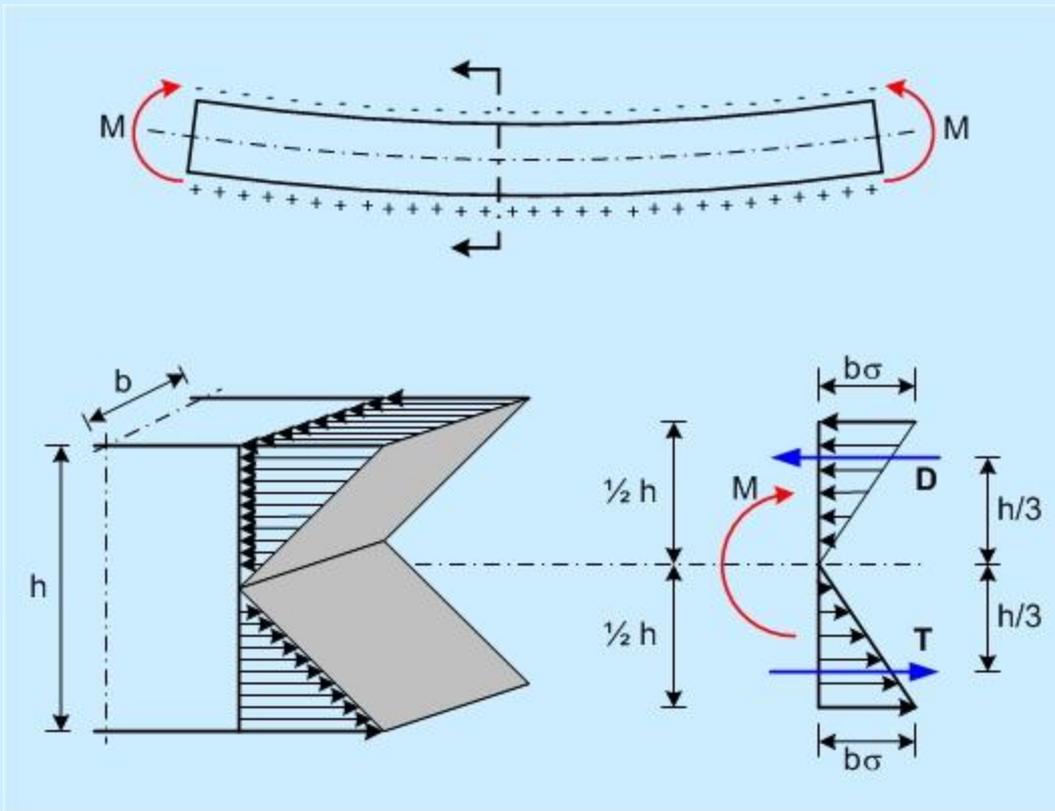
- **tegangan** (*stress*) : merupakan respon dalam bentuk gaya dalam,
- **deformasi** yang merupakan respon berupa perubahan bentuk.

Tegangan

Tegangan Aksial (*Axial Stresses*) : adalah tegangan pada suatu elemen struktur dengan arah sejajar dengan sumbu memanjang (aksial) elemen



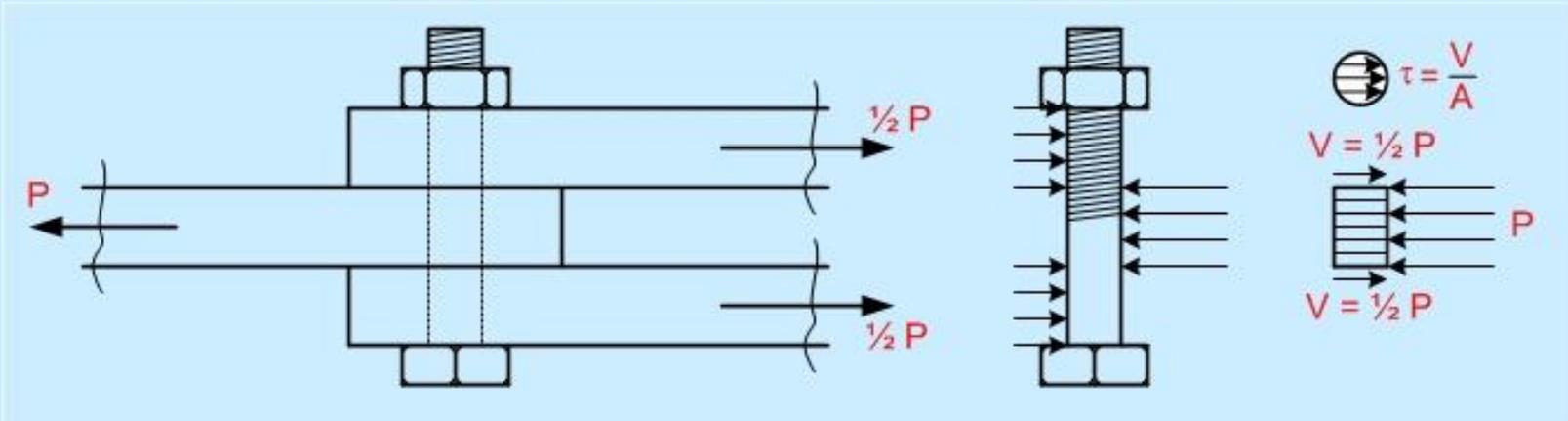
Tegangan Lentur (*Bending Stresses*) : adalah tegangan pada elemen struktur yang muncul/timbul akibat adanya lenturan/momen lentur, momen lentur disebabkan oleh beban-beban tegak lurus sumbu memanjang elemen yang bekerja, dimana serat atas mengalami tekan dan serat bawah mengalami tarik.



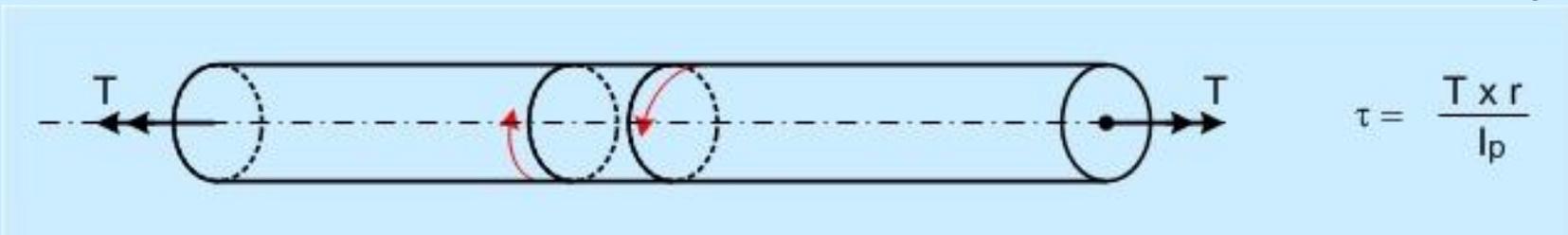
$$D = T = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1}{2} h \right) \cdot (b \cdot \sigma) = \frac{1}{4} b h \sigma$$

$$\sigma = \frac{M}{\frac{1}{6} b h^2} = \frac{M \cdot \frac{1}{2} h}{\frac{1}{12} b h^3} = \frac{M \cdot y}{I}$$

Tegangan Geser/Lintang (*Shear Stresses*) : tegangan yang bekerja \perp sumbu memanjang elemen. Umumnya tegangan geser terbesar berada pada garis netral kemudian mengecil dan akhirnya nol pada serat tampang terjauh/tepi penampang.



Tegangan Geser Puntir (*Torsional Stresses*) : tegangan yang timbul akibat terpuntirnya/terputarnya elemen terhadap sumbu memanjang.



T : Momen Torsi r : Jari-jari : Inertia Polar

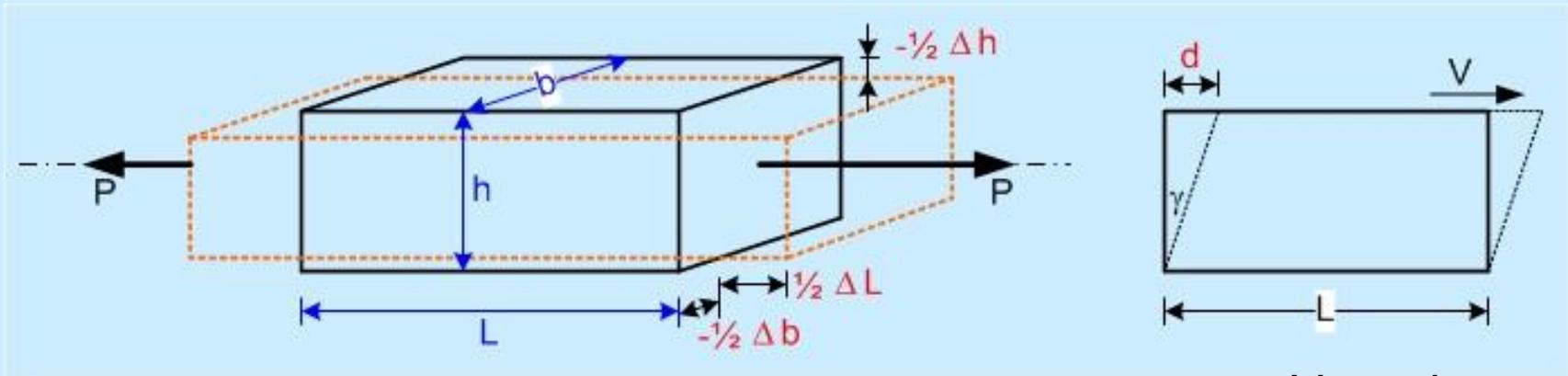
Deformasi/Perubahan Bentuk

Suatu bahan akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) akibat dikenai beban. Perubahan bentuk dapat bersifat menetap atau sementara, karenanya mekanisme deformasi dibedakan dalam :

- **Deformasi Elastis**, merupakan jenis perubahan bentuk yang akan hilang (kembali ke bentuk semula) ketika beban dihilangkan.
- **Deformasi Plastis**, merupakan jenis perubahan bentuk yang tetap ada meskipun sudah tidak dibebani/beban dihilangkan

Deformasi pada suatu benda, yang jika dikaitkan dengan dimensi benda, disebut dengan **regangan** (*strain*), diekspresikan dalam perbandingan perubahan dimensi terhadap dimensi awal dan menurut arahnya terbagi dalam jenis :

- **regangan aksial/transversal/lateral,**
- **regangan geser (*shear Strain*)**
- **regangan rotasi (*Rotational Strain*)**



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

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta b}{b}$$

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta h}{h}$$

$$\gamma = \frac{V}{LbG} = \frac{d}{h}$$

Bahan Isotropik : bahan yang mempunyai regangan yang sama untuk semua arah. $\varepsilon_x = \varepsilon_y = \varepsilon_z$

Kekuatan (*Strength*) : ukuran besarnya gaya yang dapat ditahan sampai saat bahan mengalami kerusakan.

Ketangguhan (*Toughness*) : besarnya energi yang dapat diserap oleh suatu benda sampai saat mengalami kerusakan.

Kekerasan (*Hardness*) : ketahanan benda terhadap penetrasi pada permukaannya dipresentasikan dengan luasan daerah lekukan penetrasi (Bilangan Kekerasan Brinell/BKB) atau Kedalaman Penetrasi (Kekerasan Rockwell).

Keuletan (*Ductility*) : kemampuan suatu bahan untuk mengalami perubahan bentuk (secara bolak balik) sambil mempertahankan sebagian kekuatannya.

Relaksasi : peristiwa semakin berkurangnya (secara bertahap) tegangan intern bahan pada saat menerima peregangan secara tetap.

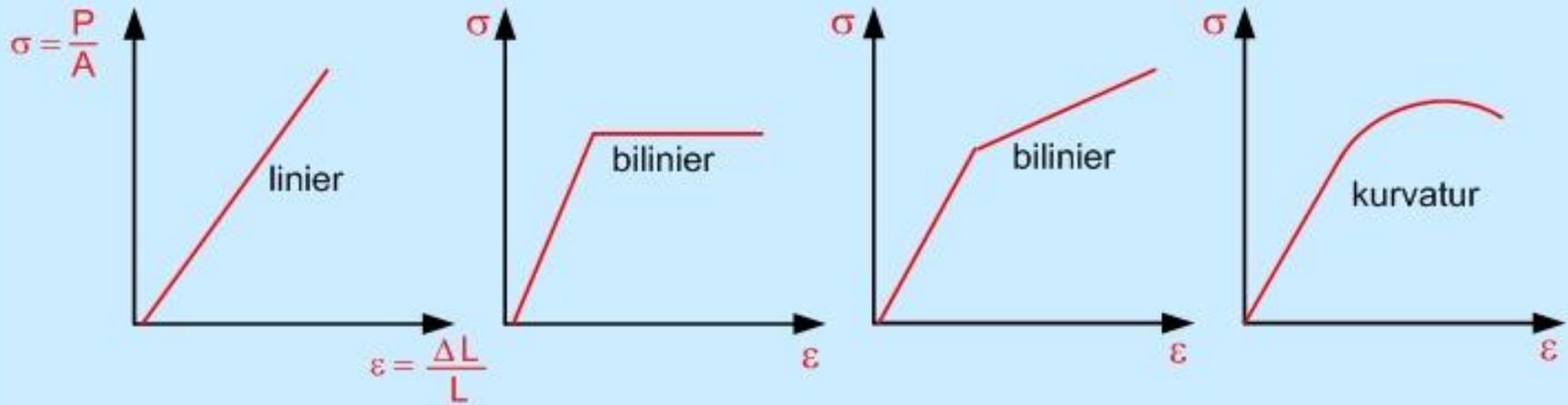
Histeresa : peristiwa tertinggalnya respon regangan dari pada respon tegangan pada saat menerima pembebanan bolak-balik.

Rayapan (*Creep*) : peristiwa bertambahnya regangan plastis suatu bahan yang mengalami tegangan tetap yang besar dalam jangka waktu yang lama pada temperatur tertentu.

Hubungan Tegangan dan Regangan

Tegangan (*stress*) merupakan respon dalam bentuk gaya dalam dan **deformasi** yang merupakan respon perubahan bentuk, terjadi akibat suatu benda dikenai beban.

Hubungan antara tegangan dan regangan umumnya disajikan dalam bentuk grafik (diagram) yang dibentuk dari sekumpulan data hasil uji laboratorium, baik uji tarik ataupun uji tekan.



Dari **diagram tegangan-regangan**, dapat diketahui perilaku mekani yang dapat dijadikan sebagai parameter karakteristik yang berkaitan dengan **kekuatan** (menahan beban) dan **ketahanan** (menahan perubahan bentuk) suatu bahan.

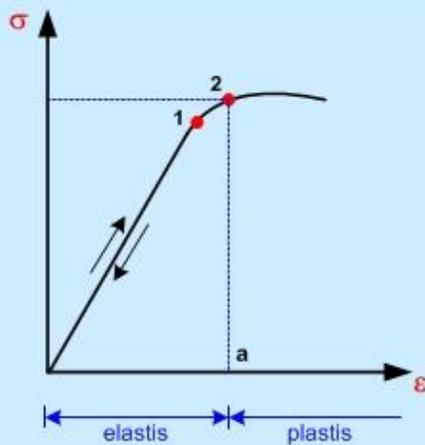
Diagram tegangan-regangan pengujian pembebanan **tarik baja** memiliki bagian-bagian yang lengkap, dapat menjelaskan perilaku bahan berkenaan dengan interaksi antara tegangan dengan regangan. Diagram ini terdiri dari segmen-segmen daerah **elastis**, **plastis**, **perkuatan regangan** dan **konstraksi luasan tampang**, sehingga dapat menjelaskan perilaku suatu bahan



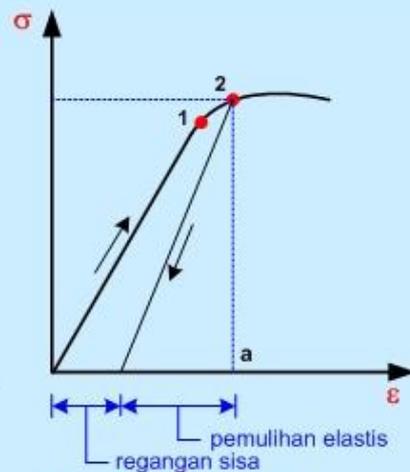
Daerah Elastis dan Batas Sebanding.

Daerah elastis (0 – a) : daerah dimana akibat pertambahan beban, mengakibatkan pertambahan tegangan (σ) juga menyebabkan pertambahan regangan (ϵ), dimana **hubungan σ dan ϵ linier** (garis kurva relatif lurus).

Juga bila beban dikurangi berakibat tegangan berkurang dan ternyata regangan juga berkurang, sehingga membentuk kurva turun yang berakhir kembali dititik 0 bila beban dihilangkan sama sekali. Lintasan kurva turun sama dengan lintasan kurva naik bila beban sampai batas elastis..



Elastis Penuh



Elastis Sebagian

Kemungkinan lain, kondisi tegangan dan regangan bertambah sehingga membentuk kurva naik sampai titik 2, dan bila tegangan dan regangan berkurang, lintasan kurva turun tidak selintasan kurva naik dan tidak berakhir di titik 0, disebut elastis sebagian/tidak sempurna, kondisi ini memberikan **regangan-sisa**.

Bahan dengan perilaku elastis memberikan hubungan tegangan dan regangan yang linier disebut **elastis linear**, jika hubungan tersebut tidak linier maka disebut **elastis non-linier**. Kebanyakan bahan padat bersifat elastis linier.

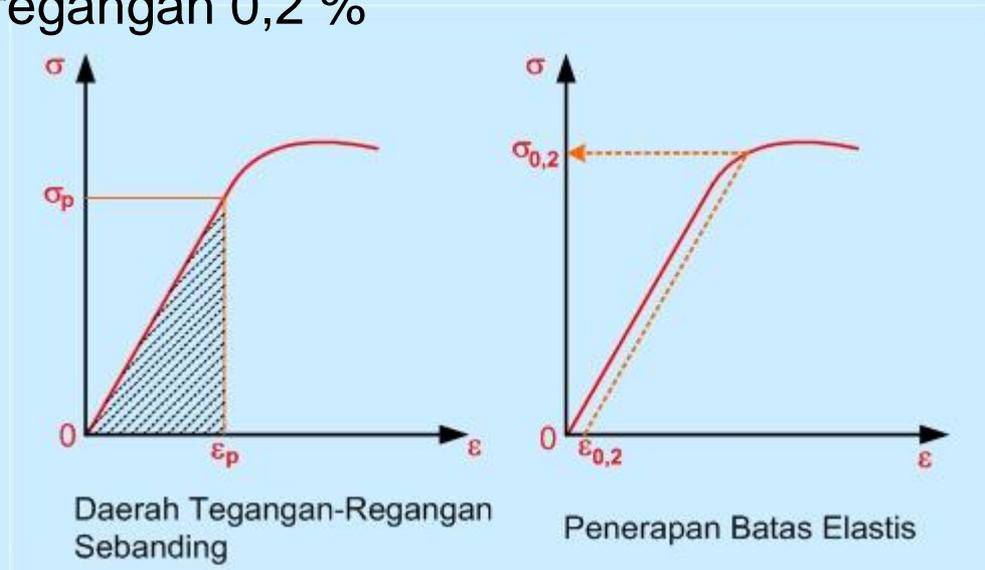
Hubungan linier antara tegangan dengan regangan ini sangat penting, terutama untuk menentukan nilai **Modulus Elastisitas/Modulus Young (E)** dan **Modulus Kenyal**. Nilai Modulus Elastisitas tergantung kemiringan kurva tegangan-regangan pada daerah linier, dan menurut **Hukum Hooke** dinyatakan :

$$E = \frac{f}{\varepsilon} \quad \text{atau} \quad f = \varepsilon.E \qquad f = \frac{P}{A} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Tegangan dan regangan pada akhir dari garis linier disebut **batas sebanding** σ_p dan ϵ_p . Luas daerah dibawah garis sebanding (daerah diarsir) disebut **Modulus kenyal**, secara numeris dinyatakan

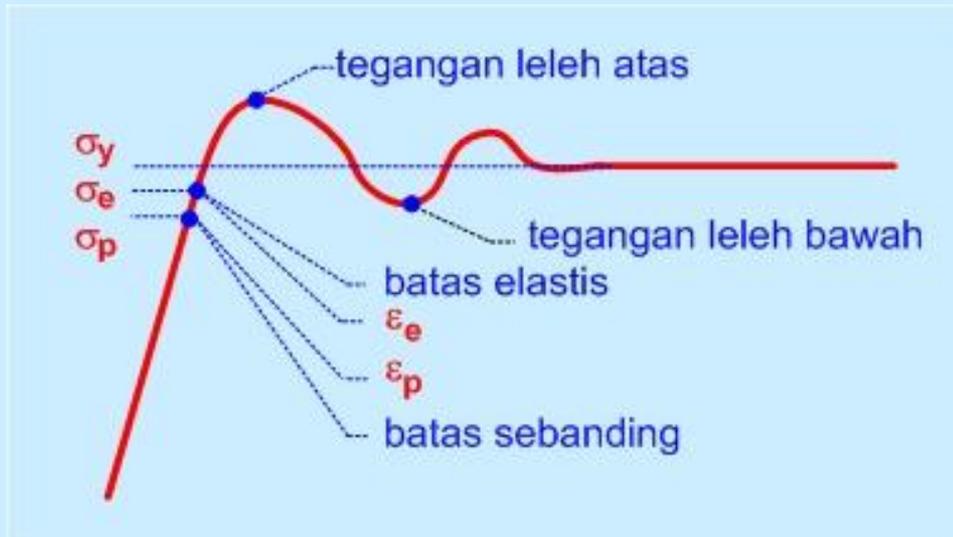
$$\text{Modulus kenyal} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_p \cdot \epsilon_p$$

Tegangan dan regangan pada akhir daerah elastis disebut **batas elastis** (σ_e dan ϵ_e) yang terletak sedikit diatas batas sebanding, atau di awal kurva mulai melengkung. Sesungguhnya batas elastis sulit ditetapkan, dan umumnya batas ini didekati dengan membuat garis sejajar bagian kurva yang linier, yang memotong kurva dan ditarik dari regangan 0,2 %



Daerah Pelelehan atau Plastis Sempurna

Sedikit melewati batas elastis terdapat suatu titik yang disebut **titik/batas leleh** (*yield point*), sebagai awal dari kondisi dimana bahan mulai mengalami pertambahan regangan tanpa adanya pertambahan tegangan (daerah pelelehan atau plastis sempurna). Deformasi bahan yang terjadi pada daerah ini merupakan **regangan permanen** atau menetap (**plastis**). Daerah ini juga diawali oleh bagian kurva yang naik turun tak beraturan, kemudian akan mendatar (disebut **yield plateau**) dan berakhir pada titik dimana kurva akan menanjak kembali.



Nilai tegangan pada garis mendatar disebut **tegangan leleh** (σ_y) yang digunakan dalam perhitungan analisis dan perencanaan. Tetapi pada kurva dimana yield plateau tidak terlihat dengan jelas, digunakan nilai lain, yaitu nilai $\sigma_{0,2}$

Daerah perkuatan Regangan (*strain hardening*) & Konstraksi Luas Tampang

Daerah ini berupa kurva cembung dengan titik puncaknya adalah **tegangan maksimum** (**kuat ultimit**) dan berakhir pada titik putus (benda uji tarik putus) dengan nilai tegangan disebut **tegangan putus/patah** (**fracture**).

Setelah daerah pelelehan, tegangan meningkat yang disebut **strain hardening**, kemudian diikuti terjadinya pengecilan penampang (**konstraksi luasan penampang**), lalu benda uji (tarik) putus.

Jika pada daerah kontraksi luasan tampang, tegangan dihitung berdasarkan luasan tampang yang mengecil (bukan luasan tampang awal), maka kurva akan tergambar sebagai garis putus-putus.

