

Mata Kuliah : Statika & Mekanika Bahan

Kode : CIV - 102

SKS : 4 SKS

Tension, Compression and Shear

Pertemuan – 12 - 13



Kemampuan akhir yang diharapkan

 Mahasiswa mampu menghitung tegangan dan regangan pada suatu batang yang memikul beban aksial

Bahan Kajian (Materi Ajar)

- Tegangan & Regangan Normal
- Elastisitas, Hukum Hooke, Angka Poisson
- Besaran Mekanis Bahan
- Tegangan dan Regangan Geser
- Tegangan Akibat Beban Aksial
- Perubahan Panjang Akibat Beban Aksial



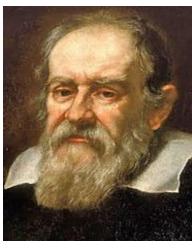
- Mekanika Bahan (Mechanics of Materials) adalah cabang dari Mekanika Terapan yang mempelajari perilaku dari suatu benda pejal yang memikul berbagai jenis beban
- Istilah lain yang sering dijumpai adalah : <u>Strength of Materials</u> atau Mechanics of Deformable Bodies
- Tujuan utama mempelajari Mekanika Bahan adalah untuk menentukan besarnya tegangan (stresses), regangan (strains) dan perpindahan (displacement) pada suatu struktur dan komponen-komponennya akibat beban yang bekerja pada struktur tersebut.
- Dengan diketahuinya besaran-besaran tersebut maka akan diperoleh pemahaman yang lengkap terhadap perilaku mekanis suatu jenis struktur.
- Ilmu Mekanika Bahan <u>banyak diterapkan pada berbagai jenis struktur</u> seperti pesawat terbang, antena, bangunan gedung, jembatan, mesin, kapal hingga pesawat ruang angkasa



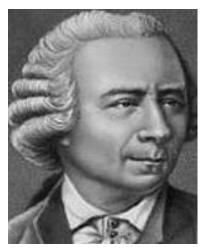
- Ilmu Mekanika Bahan sudah dipelajari sejak sekitar tahun 1400an.
- Beberapa tokoh terkemuka yang menjadi pelopor dalam ilmu Mekanika Bahan adalah Leonardo da Vinci, Galileo Galilei, dan Leonhard Euler.
- Pada abad modern, seorang bernama Stephen P. Timoshenko dikenal sebagai bapak Mekanika Rekayasa Modern.



Leonardo da Vinci 1452-1519



Galileo Galilei 1564-1642



Leonhard Euler 1707-1783

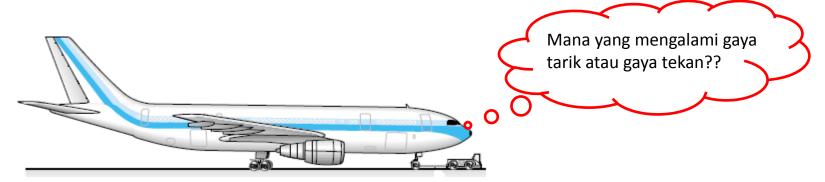


Stephen P Timoshenko 1878-1972



Tegangan dan Regangan Normal

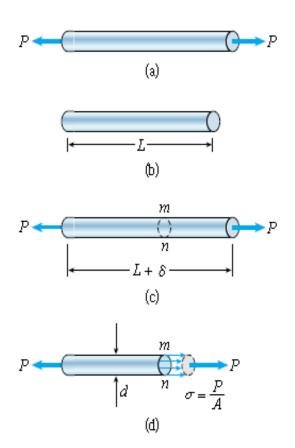
- Konsep dasar Mekanika Bahan adalah tegangan dan regangan.
- Konsep ini biasa diilustrasikan dalam bentuk batang prismatis yang mengalami gaya aksial
 - ✓ Batang prismatis didefinisikan sebagai sebuah elemen struktural lurus yang mempunyai penampang konstan di seluruh panjangnya
 - ✓ Gaya aksial didefinisikan sebagai beban yang mempunyai arah sama dengan sumbu elemen, sehingga mengakibatkan terjadinya gaya tarik atau gaya tekan pada batang





Tegangan dan Regangan Normal

- Batang penderek pesawat kita isolasi sedikit segmennya sebagai suatu benda bebas (free body)
- Tegangan internal di batang akan terlihat apabila dibuat potongan melintang mn pada batang
- Di ujung kanan potongan terdapat aksi yang terdiri atas gaya terdistribusi kontinu yang bekerja pada seluruh penampang
- Intensitas gaya (yi. gaya per satuan luas) disebut dengan tegangan (stress, σ)
- Jadi gaya aksial P adalah resultan dari tegangan yang terdistribusi kontinu.





Tegangan dan Regangan Normal

Besarnya tegangan yang timbul dapat dihitung dengan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \text{tegangan normal (MPa)}$$

$$P = \text{gaya normal (N)}$$

$$A = \text{luas penampang (mm²)}$$

- Bila P adalah gaya tarik, maka tegangannya disebut Tegangan Tarik
 (tensile stress) bila P adalah gaya tekan, maka tegangannya disebut
 Tegangan Tekan (compressive stress)
- Karena tegangan ini memiliki arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka jenis tegangan ini disebut dengan istilah *Tegangan Normal* (normal stress)
- <u>Tegangan tarik biasa didefinisikan bertanda positif (+), dan tegangan</u>
 <u>tekan bertanda negatif (-)</u>



Tegangan dan Regangan Normal

• Apabila akibat gaya aksial P, batang prismatis mengalami perubahan panjang sebesar δ , maka besarnya regangan, ε (perpanjangan per satuan panjang) yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan :

$$\mathcal{E} = \frac{\delta}{L}$$

$$\varepsilon = \text{regangan normal (non dimensi)}$$

$$\delta = \text{perubahan panjang(mm)}$$

$$L = \text{panjang awal benda uji (mm)}$$

- Jika P berupa gaya tarik, maka batang akan memanjang dan regangannya bertanda positif (+)
- Jika P berupa gaya tekan, maka batang akan memendek dan regangannya bertanda (-)



Contoh 1

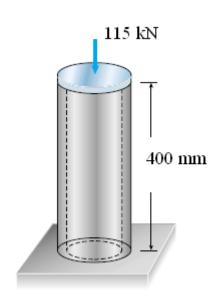
Sebuah tiang pendek berupa tabung lingkaran berlubang dari aluminium memikul beban tekan sebesar 115 kN. Diameter dalam dan luar dari tabung tersebut adalah d_1 = 100 mm dan d_2 = 115 mm, panjang tiang adalah 400 mm. Perpendekan tiang akibat beban diukur sebesar 0,3 mm. Tentukan tegangan dan regangan tekan di tiang tersebut.



$$A = \frac{\pi}{4} \left(d_2^2 - d_1^2 \right) = 2.532,91 \,\text{mm}^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{115 \times 10^3 \, N}{2.532,91 mm^2} = 45,4 \, \text{MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} = \frac{0.3mm}{400mm} = 0.75 \cdot 10^{-3}$$



Soal 1.1 – 1.10



Besaran Mekanis Bahan

- Untuk mengetahui perilaku/sifat-sifat mekanis dari suatu material, biasanya dilakukan pengujian di laboratorium
- Untuk pengujian dibutuhkan benda uji standar yang kemudian dibebani dan dicatat besar deformasi yang terjadi (perubahan panjang, perubahan diameter dsb.)
- Standar pengujian yang digunakan biasanya mengacu pada ASTM (American Society for Testing and Materials) atau SNI (Standar Nasional Indonesia) yang berlaku.
- Dalam standar tersebut sudah dijelaskan ketetapan mengenai prosedur pengujian, ukuran benda uji yang standar serta metode pencatatan data serta analisisnya
- Dua macam pengujian yang lazim digunakan adalah uji tarik (untuk material logam) dan uji tekan (untuk material beton)



Besaran Mekanis Bahan

Tensile Test Stainless Steel Specimen

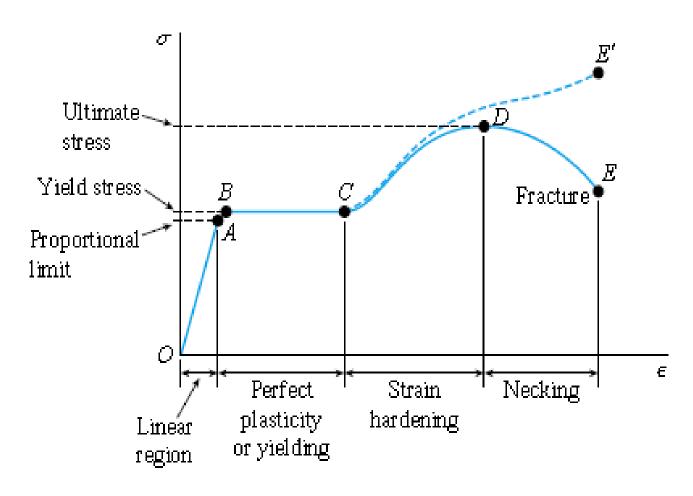


Besaran Mekanis Bahan

Diagram Tegangan-Regangan

- Setelah melakukan uji tarik/tekan dan menentukan tegangan-regangan pada berbagai taraf beban, maka dapat dibuat plot diagram tegangan versus regangan
- Diagram tegangan-regangan memberikan informasi mengenai perilaku material yang diuji serta besaranbesaran mekanisnya
- Dalam menghitung tegangan yang terjadi pada benda uji, dikenal istilah tegangan nominal (nominal stress) dan tegangan sebenarnya (true stress)

Besaran Mekanis Bahan





Besaran Mekanis Bahan

Contoh 2

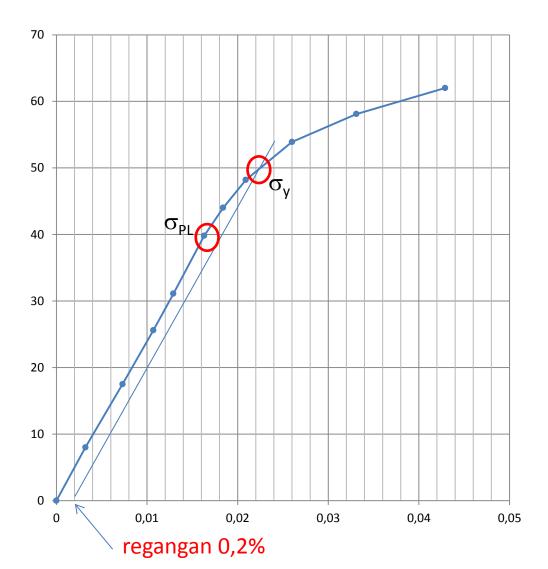
Sebuah benda uji dari plastik metakrilat diuji tarik pada kamar, sehingga temperatur menghasilkan tegangan-regangan yang terlihat pada tabel. Plotlah kurva tegangan regangan tentukan limit proporsionalnya, Modulus Elastisitas, dan tegangan Iuluh pada offset 0,2%



PROB. 1.3-6

STRESS-STRAIN DATA FOR PROBLEM 1.3-6

Stress (MPa)	Strain
8.0	0.0032
17.5	0.0073
25.6	0.0111
31.1	0.0129
39.8	0.0163
44.0	0.0184
48.2	0.0209
53.9	0.0260
58.1	0.0331
62.0	0.0429
62.1	Fracture



$$E = \frac{40}{0,0165} = 2.424 MPa$$



Elastisitas, Hukum Hooke & Angka Poisson

- Beberapa material struktur memiliki perilaku <u>elastis linier</u>
- Dengan mendesain struktur agar berfungsi pada daerah elastis linier, maka <u>deformasi permanen akibat luluh dapat</u> dihindari
- Hubungan linier antara tegangan dan regangan dinyatakan :

$$\sigma$$
 = tegangan normal (MPa)
 ε = regangan normal
 ε = Modulus Elastisitas (MPa)

 Persamaan di atas dikenal sebagai Hukum Hooke, untuk mengenang ilmuwan Inggris Robert Hooke (1635-1703), sering disebut juga Modulus Young



Elastisitas, Hukum Hooke & Angka Poisson

 Nilai Modulus Elastisitas tiap material berbeda-beda, beberapa nilai E untuk material yang sering dipakai untuk struktur antara lain :

Baja : 190.000 – 210.000 MPa

• Beton : 17.000 – 31.000 MPa

• Kayu : 11.000 – 14.000 MPa

Elastisitas, Hukum Hooke & Angka Poisson

- Apabila suatu batang prismatis dibebani gaya aksial tarik, maka perpanjangan aksial-nya akan diikuti oleh kontraksi dalam arah lateral
- Rasio regangan lateral $\varepsilon^{/}$ terhadap regangan aksial ε , dikenal dengan istilah Angka Poisson dan dinyatakan :

$$v = -\frac{\varepsilon^{\prime}}{\varepsilon}$$

v = Angka Poisson

 ε^{\prime} = regangan lateral

 ε = regangan normal

Simeon Denis Poisson (1781-1840)

- Tanda minus digunakan untuk menyatakan bahwa regangan normal dan lateral memiliki tanda yang berbeda.
- Angka Poisson sendiri pada umumnya bernilai positif
- Angka Poisson material baja berkisar 0,27-0,30, dan beton antara 0,1 hingga 0,2



Elastisitas, Hukum Hooke & Angka Poisson

- Regangan lateral dalam bahasan di atas, di setiap titik pada batang akan sebanding dengan regangan aksialnya apabila material bersifat elastis linier. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agar Angka Poisson dapat dianggap konstan:
 - ✓ gaya aksial harus konstan
 - ✓ bahan harus homogen
 - ✓ Modulus Elastisitas yang sama di semua arah (material isotropik)
 - Bahan yang memiliki besaran elastis berbeda di semua arah disebut material anisotropik (atau aleotropik)
 - Bahan yang memiliki besaran elastis sama pada arah tertentu, namun berbeda dalam arah tegak lurusnya disebut material orthotropik

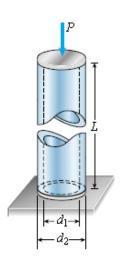


Elastisitas, Hukum Hooke & Angka Poisson

Contoh 1-3

Sebuah pipa dengan panjang L=1,2 m, diameter luar $d_2=150$ mm, diameter dalam $d_1=115$ mm dibebani oleh gaya aksial tekan P=620 kN. Pipa mempunyai nilai E=200 GPa dan angka Poisson, v=0,30. Tentukan:

- a. Perpendekan, δ
- b. Regangan lateral, ε'
- c. Pertambahan diameter luar dan dalam, Δd_2 dan Δd_1
- d. Pertambahan tebal dinding pipa, Δt



<u>Jawab:</u>

$$A = \frac{\pi}{4} \left(d_2^2 - d_1^2 \right) = \frac{\pi}{4} \left(150^2 - 115^2 \right) = 7.284,57 \text{ mm2}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{620 \cdot 10^3}{7.284,57} = 85,11 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{-85,11}{200,000} = -0,4255 \cdot 10^{-3}$$

a)
$$\delta = \varepsilon L = -0.4255 \cdot 10^{-3} (1200 \text{ mm}) = -0.5106 \text{ mm}$$

b)
$$\varepsilon^{l} = -\nu\varepsilon = -0.30(-0.4255 \cdot 10^{-3}) = 0.127 \cdot 10^{-3}$$

c)
$$\Delta d_2 = \varepsilon' d_2 = 0.01905 \text{ mm}$$

d)
$$\Delta t = \varepsilon^{/} t = 0,0022 \text{ mm}$$

Soal 1.11 – 1.20

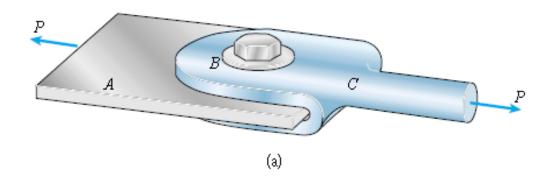


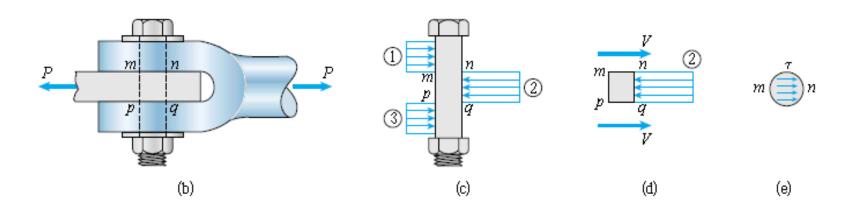
Tegangan dan Regangan Geser

- Tegangan yang bekerja dalam arah tegak lurus penampang bahan disebut sebagai tegangan normal, sedangkan tegangan yang bekerja dalam arah tangensial terhadap penampang diistilahkan sebagai tegangan geser (shear stress)
- Guna memahami konsep tegangan geser, kita pelajari suatu sambungan dengan baut pada gambar berikut, yang terdiri dari batang datar A, pengapit C dan baut B
- Akibat aksi gaya tarik P, batang dan pengapit akan menekan baut dengan cara tumpu sehingga menimbulkan tegangan tumpu (bearing stress)
- Selain itu, batang dan pengapit cenderung menggeser baut dan memotong baut, sehingga timbul tegangan geser (shear stress) pada baut.



Tegangan dan Regangan Geser





Tegangan dan Regangan Geser

• Tegangan tumpu yang terjadi, σ_{b} dapat dihitung dengan persamaan :

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

$$\sigma_b = \text{Tegangan Tumpu (MPa)}$$

$$F_b = \text{gaya tumpu total (N)}$$

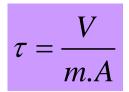
$$A_b = \text{Luas tumpu (mm²)}$$

- Luas tumpu didefinisikan sebagai luas proyeksi dari permukaan tumpu yang melengkung
- Pada pengapit, luas tumpu A_b = tebal pengapit × diameter baut, sedangkan nilai F_b = P/2
- Pada batang datar, luas tumpu A_b = tebal batang × diameter baut, sedangkan nilai F_b = P



Tegangan dan Regangan Geser

- Pada gambar (d) potongan baut nampak memiliki dua bidang geser mn dan pq, baut ini dikatakan mengalami geser ganda (double shear)
- Besarnya tegangan geser yang timbul pada permukaan geser baut dapat dihitung melalui persamaan :

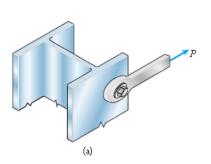


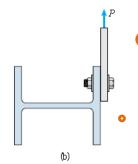
 τ = Tegangan Geser (MPa)

V = gaya geser (N)

A = Luas penampang baut (mm²)

m = jumlah bidang geser

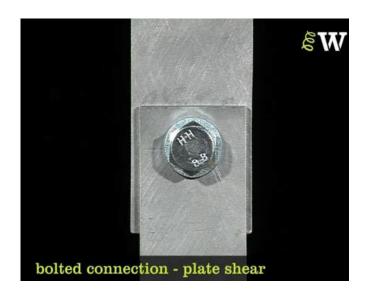


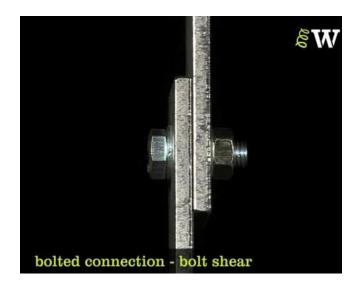


Double shear atau bukan ??



Tegangan dan Regangan Geser





Bearing Failure of Plate

Shear Failure of Bolt

Tegangan dan Regangan Geser

 Antara tegangan dan regangan geser, berlaku pula Hukum Hooke pada kondisi geser, yaitu :

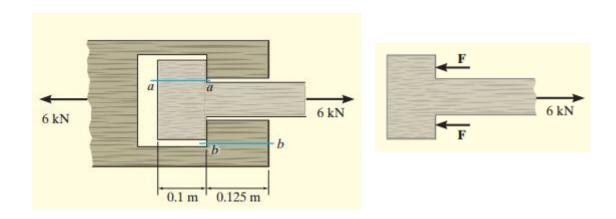
 Sedangkan hubungan antara Modulus Geser (G), Modulus Elastisitas (E) dan Angka Poisson (v) dapat dinyatakan :

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Tegangan dan Regangan Geser

Contoh 1-5

If the wood joint in Fig. 1–23a has a width of 150 mm, determine the average shear stress developed along shear planes a–a and b–b. For each plane, represent the state of stress on an element of the material



SOLUTION

Internal Loadings. Referring to the free-body diagram of the member, Fig. 1–23*b*,

$$\pm \Sigma F_x = 0$$
; $6 \text{ kN} - F - F = 0$ $F = 3 \text{ kN}$

Now consider the equilibrium of segments cut across shear planes a–a and b–b, shown in Figs. 1–23c and 1–23d.

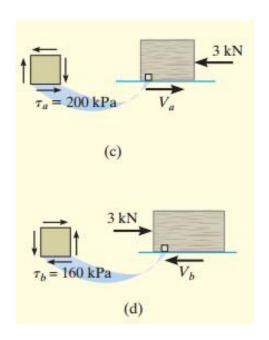
$$\pm \Sigma F_x = 0;$$
 $V_a - 3 \text{ kN} = 0$ $V_a = 3 \text{ kN}$

$$\stackrel{\pm}{\rightarrow} \Sigma F_x = 0;$$
 $3 \text{ kN} - V_b = 0$ $V_b = 3 \text{ kN}$

Average Shear Stress.

$$(\tau_a)_{\text{avg}} = \frac{V_a}{A_a} = \frac{3(10^3) \text{ N}}{(0.1 \text{ m})(0.15 \text{ m})} = 200 \text{ kPa}$$
Ans.

$$(\tau_b)_{\text{avg}} = \frac{V_b}{A_b} = \frac{3(10^3) \text{ N}}{(0.125 \text{ m})(0.15 \text{ m})} = 160 \text{ kPa}$$
 Ans.



Soal 1.21 – 1.30



Tegangan Ijin dan Beban Ijin

Engineering described as the application of science to the common purposes of life

- Kebutuhan ini meliputi perumahan, pertanian, transportasi, komunikasi dan berbagai aspek kehidupan modern lain
- Faktor yang menjadi pertimbangan dalam desain : kekuatan (strength), tampilan (appearance), keekonomisan (economic), lingkungan (environmental)



Tegangan Ijin dan Beban Ijin

- Dalam ilmu Mekanika Bahan, yang menjadi fokus desain adalah <u>kekuatan (strength)</u>, yaitu kapasitas suatu objek untuk memikul atau menyalurkan beban
- Objek yang harus memikul beban tersebut meliputi <u>bangunan, mesin,</u> container, truk, pesawat terbang, kapal dst.
- Objek tersebut selanjutnya dirujuk dengan istilah "struktur"

Structure is any object that must support or transmit loads



Tegangan Ijin dan Beban Ijin

- Kekuatan aktual struktur harus lebih besar daripada kekuatan yang dibutuhkan!!
- Rasio kekuatan aktual terhadap kekuatan yang diperlukan disebut dengan istilah faktor keamanan (safety factor), SF:

$$SF = \frac{kekuatan\ aktual}{kekuatan\ yang diperlukan}$$

- Nilai *SF* memiliki kisaran : 1.00 < *SF* < 10
- Jika SF terlalu kecil, maka kecenderungan kegagalan akan besar
- Jika SF terlalu besar, maka struktur tersebut akan boros

Tegangan Ijin dan Beban Ijin

- Angka keamanan dapat diterapkan berdasarkan kondisi luluhnya suatu bahan
- Tegangan luluh dapat dibagi dengan suatu faktor keamanan untuk mendapatkan tegangan ijin (atau tegangan kerja) yang tidak boleh dilampaui di setiap penampang struktur

$$\overline{\sigma} = \frac{\sigma_y}{SF_1}$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_y}{SF_2}$$

$$\overline{\sigma} = \frac{\sigma_y}{SF_1}$$

$$\overline{\tau} = \frac{\tau_y}{SF_2}$$

$$\overline{\tau} = \frac{tegangan aksial ijin}{\tau}$$

$$\tau_y = tegangan geser ijin}$$

$$\sigma_y = tegangan geser luluh$$

$$\tau_y = tegangan geser luluh$$

$$(0,5-0,6 \sigma_y)$$

Konsep yang sama terkadang juga diterapkan untuk tegangan ultimate

Tegangan Ijin dan Beban Ijin

- Dengan diketahuinya besarnya tegangan ijin dari suatu struktur, maka dapat dihitung pula besarnya beban ijin
- Untuk batang yang mengalami tarik/tekan :

$$P_{ijin} = \overline{\sigma} \times A$$

Untuk penampang yang mengalami geser :

$$P_{ijin} = \overline{\tau} \times A_{v}$$

Dan untuk penampang yang mengalami tumpu

$$P_{ijin} = \sigma_b \times A_b$$

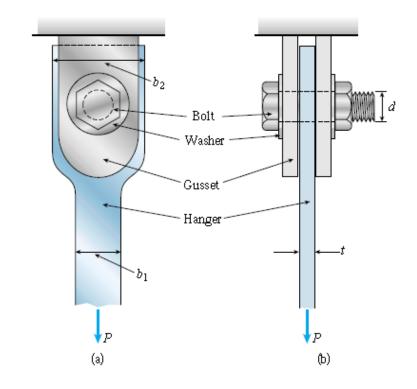


Tegangan Ijin dan Beban Ijin

Contoh 3-1

Suatu batang baja penggantung memiliki penampang persegi panjang dengan lebar $b_1 = 40$ mm dan tebal t = 12 mm pada bagian utamanya. Di dekat sambungan, penggantung ini diperbesar hingga lebarnya menjadi $b_2 = 75$ mm. Baut penyambung memiliki diameter d = 25 mm. Tentukan beban tarik ijin, P jika:

- a. Tegangan ijin di bagian utama penggantung adalah 110 MPa
- b. Tegangan ijin di potongan melintang yang dilalui baut adalah 75 MPa
- c. Tegangan tumpu ijin antara penggantung dan baut adalah 180 MPa
- d. Tegangan geser ijin di baut adalah 45 MPa



Jawab:

a.
$$P_1 = \sigma_{ijin}A = \sigma_{ijin}b_1t = 110(40)(12) = 52.800 \text{ N}$$

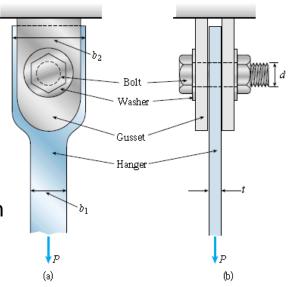
b.
$$P_2 = \sigma_{ijin}A = \sigma_{ijin}(b_2 - d)t = 75(75 - 25)12 = 45.000 \text{ N}$$

c.
$$P_3 = \sigma_b A = \sigma_b dt = 180(25)(12) = 54.000 \text{ N}$$

d.
$$P_4 = \tau_{iiin}A = \tau_{iiin}(2)(\pi d^2/4) = 45(2)(\pi 25^2/4) = 44.180 \text{ N}$$

Dari keempat nilai tersebut maka terlihat bahwa harga beban terkecil adalah

$$P_{ijin} = 44.180 \text{ N}$$





Desain Untuk Beban Aksial dan Geser

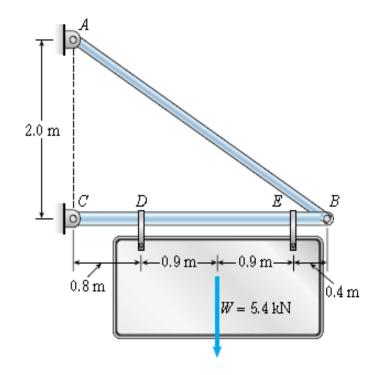
- Proses penentuan respon suatu struktur terhadap beban, perubahan temperatur dan aksi – aksi fisik lainnya didefinisikan sebagai proses analisis.
- Besaran respon yang hendak diketahui dalam proses analisis dapat berupa tegangan, regangan dan deformasi yang terjadi
- Proses kebalikan dari analisis, disebut dengan proses desain
- Jadi dalam suatu proses desain harus ditentukan besaran/ukuran suatu struktur sedemikian rupa sehingga struktur tersebut dapat memikul beban yang ada dan berfungsi sebagaimana diharapkan.
- Dalam proses desain besaran yang hendak dicari dapat berupa ukuran penampang, ukuran alat sambung, material yang hendak digunakan dan sebagainya



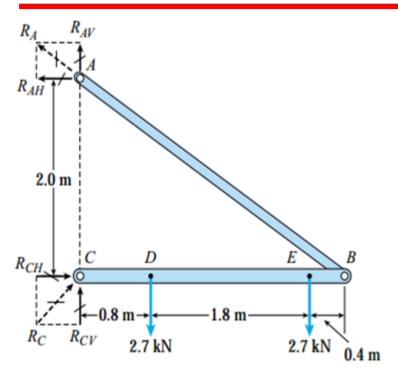
Tegangan Ijin dan Beban Ijin

Contoh 3-2

Suatu rangka batang ABC memiliki tumpuan sendi di A dan C yang berjarak 2,0 m satu sama lain. Batang AB dan BC adalah batang baja yang dihubungkan dengan sendi di B. Panjang BC adalah 3,0 m. Sebuah papan tanda yang beratnya 5,4 kN digantungkan pada batang BC di titik D dan E. Tentukan luas penampang yang dibutuhkan untuk batang AB dan diameter yang dibutuhkan untuk sendi di titik C jika tegangan ijin tarik dan geser masing-masing adalah 125 MPa dan 45 MPa. (anggap sendi di tumpuan mengalami geser ganda, juga abaikan berat sendiri batang AB dan BC)







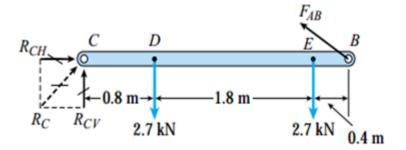
 $\Sigma M_c = 0$ diperoleh :

$$-R_{AH}(2,0) + (2,7kN)(0,8 m) + (2,7kN)(2,6 m) = 0$$

$$R_{AH}$$
 = 4,590 kN (\leftarrow)

Dengan $\Sigma F_{\text{horizontal}} = 0$ diperoleh:

$$R_{CH} - R_{AH} = 0$$
 $R_{CH} = 4.590 \text{ kN } (\rightarrow)$



Dari diagram badan bebas batang BC,

$$\Sigma M_B = 0 + R_{CV}(3,0\text{m}) - (2,7\text{kN})(2,2\text{m}) -$$

$$(2,7\text{kN})(0,4\text{m}) = 0$$

$$R_{CV} = 2,340 \text{ kN } (\uparrow)$$



Dan dengan meninjau kesetimbangan gaya dalam arah vertikal, diperoleh:

$$\Sigma F_{\text{vertikal}} = 0$$
 $R_{AV} + R_{CV} - 2.7 \text{kN} - 2.7 \text{kN} = 0$ $R_{AV} = 3.060 \text{ kN (}\uparrow\text{)}$

Reaksi total di A,
$$R_A = \sqrt{{R_{AH}}^2 + {R_{AV}}^2} = 5,516 \text{ kN}$$

Gaya pada batang AB, $F_{AB} = R_A = 5,516$ kN

Gaya pada sendi di C sama dengan reaksi di C

$$R_{CV} = \sqrt{{R_{CH}}^2 + {R_{CV}}^2} = 5,152 \text{ kN}$$

Desain batang AB:

$$A_{AB} = \frac{F_{AB}}{\sigma_{iiin}} = 44,1 \text{ mm}^2$$

Luas yang dibutuhkan untuk sendi C:

$$A_{pin} = \frac{V_C}{2\tau_{ijin}} = 57,2 \text{ mm}^2$$

Diameter sendi : $d_{\it pin} = \sqrt{4 A_{\it pin}/\pi}$ = 8,54 mm

Soal 1.31 – 1.42