

ELEMEN MESIN I

MATERI KULIAH

- PENDAHULUAN
- DASAR PEMBEBANAN
- TEGANGAN BENDING DAN TORSI
- SAMBUNGANKELING
- SAMBUNGAN LAS (WELDING JOINT)
- SAMBUNGAN ULIR
- PERANCANGAN POROS

DAFTAR PUSTAKA

- Khurmi, R.S. J.K. Gupta. *A Textbook of Machine Design*. S.I. Units. Eurasia Publishing House (Pvt) Ltd. New Delhi. 2004.
- Shigly, Joseph Edward. *Mechanical Engineering Design*. Fifth Edition, Singapore : McGraw-Hill Book Co. 1989.
- Sularso. (2000) *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Spotts, M.F. (1981) *Design of machine elements*. Fifth Edition. New Delhi : Prentice-Hall of India Private Limited.

DEFENISI :

Elemen mesin adalah bagian dari komponen tunggal yang dipergunakan pada konstruksi mesin, dan setiap bagian mempunyai fungsi pemakaian yang khas.

Dengan pengertian tersebut diatas, maka elemen mesin dapat dikelompokkan sebagai berikut :

Elemen – elemen sambungan

- Sambungan susut dan tekan
- Sambungan paku keling
- Sambungan ulir sekrup
- Sambungan baut dan pin
- Sambungan pengelasan
- Sambungan solder dan brazing
- Sambungan Adhesif

Bantalan dan elemen transmisi

- Bantalan luncur
- Bantalan gelinding
- Poros dukung dan poros pemindah
- Kopling tetap & tidak tetap
- Rem
- Pegas
- Tuas
- Sabuk dan Rantai
- Roda gigi

Elemen-elemen transmisi untuk gas dan Liquid

- Valve
- Fittings

PRINSIP-PRINSIP DASAR PERENCANAAN ELEMEN MESIN

Perencanaan elemen mesin, pada dasarnya merupakan perencanaan bagian (komponen), yang direncanakan dan dibuat untuk memenuhi kebutuhan mekanisme dari suatu mesin.

Dalam tahap-tahap perencanaan tersebut, pertimbangan-pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam memulai perencanaan elemen mesin meliputi :

- Jenis-jenis pembebanan yang direncanakan
- Jenis-jenis tegangan yang ditimbulkan akibat pembebanan tsb.
- Pemilihan bahan
- Bentuk dan ukuran bagian mesin yang direncanakan
- Gerakan atau kinematika dari bagian-bagian yang akan direncanakan.
- Penggunaan komponen Standard
- Perakitan (assembling)
- Mencerminkan suatu rasa keindahan (aspek estética)
- Hukum dan ekonomis
- Keamanan operasi
- Pemeliharaan dan perawatan

Prosedur Umum dalam Perancangan Elemen mesin

- *Rancang elemen-elemen (ukuran dan tegangan).* Tentukan bentuk dan ukuran bagian mesin dengan mempertimbangkan gaya aksi pada elemen mesin dan tegangan yang diijinkan untuk material yang digunakan.
- *Modifikasi.* Merubah/memodifikasi ukuran berdasarkan pengalaman produksi yang lalu. Pertimbangan ini biasanya untuk menghemat biaya produksi.
- *Gambar detail.* Menggambar secara detail setiap komponen dan perakitan mesin dengan spesifikasi lengkap untuk proses produksi.
- *Produksi.* Komponen bagian mesin seperti tercantum dalam gambar detail diproduksi di workshop.

Standar, kode, dan peraturan pemerintah dalam desain

- **Standar adalah didefinisikan sebagai kriteria, aturan, prinsip, atau gambaran yang dipertimbangkan oleh seorang ahli, sebagai dasar perbandingan atau keputusan atau sebagai model yang diakui.**
- **Kode adalah koleksi sistematis dari hukum yang ada pada suatu negara atau aturan-aturan yang berhubungan dengan subyek yang diberikan.**
- **Peraturan pemerintah adalah peraturan-peraturan yang berkembang sebagai hasil perundang-undangan untuk mengontrol beberapa area kegiatan. Contoh peraturan pemerintah Amerika adalah :**

Standar, kode, dan peraturan pemerintah dalam desain

- ANSI : American National Standards Institute
- SAE : Society of Automotive Engineers
- ASTM : American Society for Testing and Materials
- AISI : American Iron and Steel Institute

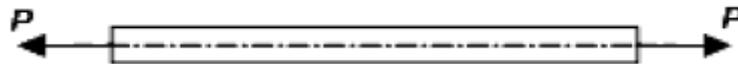
BAB II

DASAR PEMBEBANAN

- Dasar pembebanan pada elemen mesin adalah beban (gaya) aksial, gaya geser murni, torsi dan bending.
- Setiap gaya menghasilkan tegangan pada elemen mesin, dan juga deformasi, artinya perubahan bentuk.
- ada 2 jenis tegangan : normal dan geser.
- Gaya aksial menghasilkan tegangan normal.
- Torsi dan geser murni, menghasilkan tegangan geser.
- bending menghasilkan tegangan normal dan geser.

Gaya aksial

- Balok pada gambar di bawah ini dibebani tarik sepanjang axis oleh gaya P pada ujungnya. Balok ini mempunyai penampang yang seragam (uniform), dan luas penampang A yang konstan.



Gambar 2.1 : Gaya aksial pada balok

Tegangan. gaya P menghasilkan beban tarik sepanjang axis balok, menghasilkan tegangan normal tarik σ sebesar:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2-1)$$

Contoh 1

Tentukan tegangan normal pada sebuah balok persegi dengan sisi $a = 5\text{cm}$ ditarik dengan gaya $P = 55\text{ kN}$.

Penyelesaian :

$$P = 55\text{ kN} = 55.000\text{ N}$$

$$a = 5\text{cm} = 0,05\text{m}$$

Menghitung luas penampang balok $A = a^2 = (0,05\text{m})^2 = 0,0025\text{ m}^2$.

Menghitung tegangan normal dalam balok σ :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} = \frac{55.000\text{N}}{0,0025\text{m}^2} \\ &= 22.000.000\text{N/m}^2 \\ &= 22\text{MPa}\end{aligned}$$

Contoh 2

Hitung luas penampang minimum (A_{\min}) yang dibutuhkan untuk balok yang dibebani tarik secara aksial oleh gaya $P = 45 \text{ kN}$ agar tidak melebihi tegangan normal maksimum $\sigma_{\max} = 250 \text{ MPa}$.

Penyelesaian :

Mulai dengan Persamaan (2-1) dengan tegangan normal adalah maksimum σ_{\max} dan area A adalah minimum untuk memberikan:

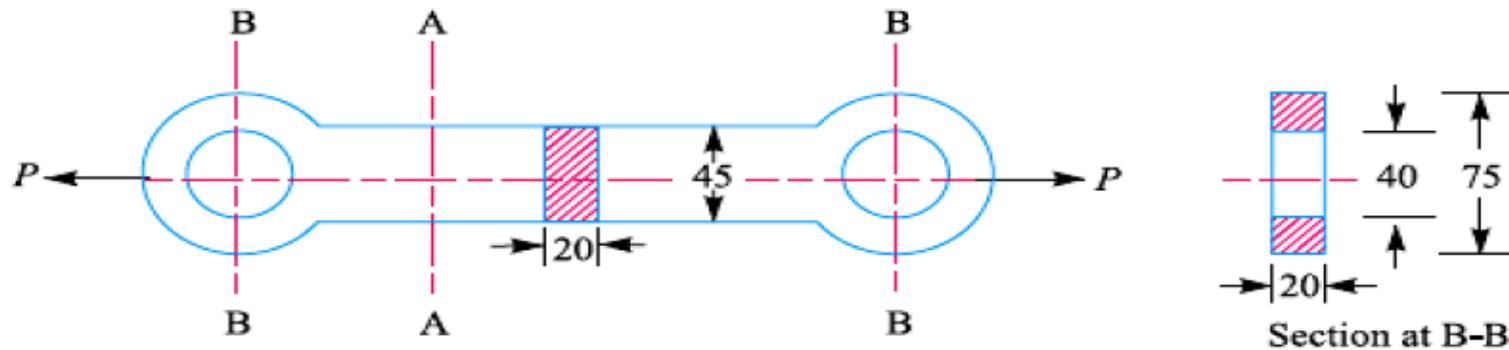
$$\sigma_{\max} = \frac{P}{A_{\min}}$$

$$A_{\min} = \frac{P}{\sigma_{\max}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{45.000 \text{ N}}{250.10^6 \text{ N/m}^2} \\ &= 0,00018 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Contoh 3.

Sambungan rantai besi cor seperti Gambar 2.2 di bawah ini dipakai untuk mentransmisikan beban tarik yang tetap sebesar 45 kN. Tentukan tegangan tarik yang terjadi dalam material rantai pada potongan A-A dan B-B.



Gambar 2.2 Seluruh dimensi dalam mm.

Penyelesaian :

Diketahui : $P = 45 \text{ kN} = 45 \cdot 10^3 \text{ N}$

Tegangan tarik σ_{t1} yang terjadi penampang A-A adalah:

$$A_1 = 20 \cdot 45 = 900 \text{ mm}^2.$$

$$\sigma_{t1} = P/A_1 = 45 \cdot 10^3 \text{ N}/900 \text{ mm}^2 = 50 \text{ N/mm}^2 = 50 \text{ MPa}$$

Tegangan tarik σ_{t2} yang terjadi penampang B-B adalah:

$$A_2 = 20 \cdot (75 - 40) = 700 \text{ mm}^2.$$

$$\sigma_{t2} = P/A_2 = 45 \cdot 10^3 \text{ N}/700 \text{ mm}^2 = 64,3 \text{ N/mm}^2 = 64,3 \text{ MPa}.$$

Regangan

Gaya aksial pada Gambar 2.1 juga menghasilkan regangan aksial ε :

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (2-2)$$

dengan δ adalah pertambahan panjang (deformasi) dan L adalah panjang balok.

Contoh 4.

Hitung regangan ε untuk pertambahan panjang $\delta = 0,038\text{cm}$ dan panjang balok $L = 1,9\text{m}$.

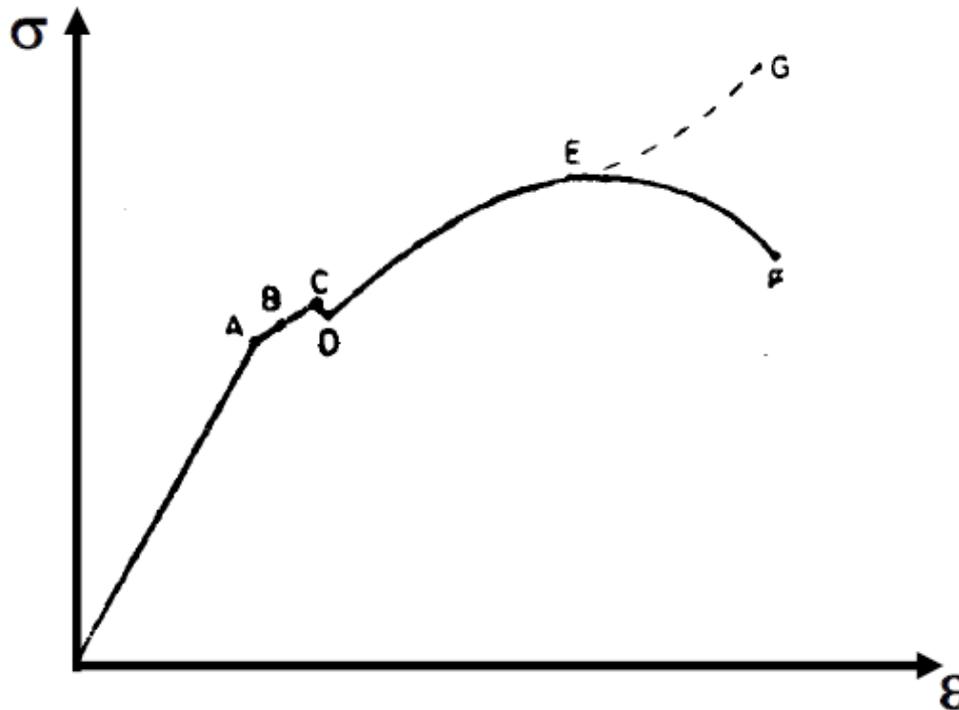
Penyelesaian :

Menghitung regangan :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{\delta}{L} = \frac{0,038\text{cm}}{1,9 \cdot 100\text{cm}} \\ &= 0,0002 \end{aligned}$$

Diagram Tegangan Regangan

- Secara umum hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat pada diagram tegangan-regangan berikut ini :



Keterangan :

- A : Batas proposional
- B : Batas elastis
- C : Titik mulur
- D : σ_y : tegangan luluh
- E : σ_u : tegangan tarik maksimum
- F : Putus

Gambar 2.3. diagram tegangan-regangan

Dari diagram tegangan regangan pada gambar di atas, terdapat tiga daerah kerja sebagai berikut :

1. Daerah elastis merupakan daerah yang digunakan dalam desain konstruksi mesin.
2. Daerah plastis merupakan daerah yang digunakan untuk proses pembentukan material.
3. Daerah maksimum merupakan daerah yang digunakan dalam proses pemotongan material.

Dalam desain komponen mesin yang membutuhkan kondisi konstruksi yang kuat dan kaku, maka perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut :

- Daerah kerja : **daerah elastis atau daerah konstruksi mesin.**
- Beban yang terjadi atau tegangan kerja yang timbul harus lebih kecil dari tegangan yang diijinkan.
- Konstruksi harus kuat dan kaku, sehingga diperlukan deformasi yang elastis yaitu kemampuan material untuk kembali ke bentuk semula jika beban dilepaskan.
- safety factor (SF) atau faktor keamanan sesuai dengan kondisi kerja dan jenis material yang digunakan.

Working Stress (tegangan kerja)

- Ketika perancangan elemen mesin, tegangan yang terjadi harus lebih rendah dari pada tegangan ultimate atau maksimum. Tegangan yang terjadi ini dinamakan working stress atau design stress. Atau dinamakan juga tegangan yang diijinkan.
- Catatan: Kegagalan desain tidak berarti bahwa material mengalami patah. Beberapa elemen mesin dikatakan gagal ketika mereka mengalami deformasi plastis, dan mereka tidak bisa melakukan fungsi mereka dengan memuaskan.

Faktor Keamanan (Sf)

Definisi umum faktor keamanan adalah perbandingan antara tegangan maksimum (maximum stress) dengan tegangan kerja (working stress), secara matematis ditulis :

Faktor keamanan didefinisikan sebagai sebagai berikut :

- a. Perbandingan antara tegangan maksimum dan tegangan kerja aktual atau tegangan ijin.

$$SF = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{kerja}}} = \frac{\sigma_{\max}}{\bar{\sigma}}$$

- b. Perbandingan tegangan luluh (σ_y) dengan tegangan kerja atau tegangan ijin.

$$SF = \frac{\sigma_y}{\bar{\sigma}}$$

- c. Perbandingan tegangan *ultimate* dengan tegangan kerja atau tegangan ijin.

$$SF = \frac{\sigma_u}{\bar{\sigma}}$$

Faktor Keamanan (Sf)

Dalam desain konstruksi mesin, besarnya angka keamanan harus **lebih besar dari 1** (satu) Faktor keamanan diberikan agar desain konstruksi dan komponen mesin dengan tujuan agar desain tersebut mempunyai ketahanan terhadap beban yang diterima.

Pemilihan SF harus didasarkan pada beberapa hal sebagai berikut :

- Jenis beban
- Jenis material
- Proses pembuatan / manufaktur
- Jenis tegangan
- Jenis kerja yang dilayani
- Bentuk komponen

Makin besar kemungkinan adanya kerusakan pada komponen mesin, maka angka keamanan diambil makin besar. Angka keamanan beberapa material dengan berbagai beban dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Harga Faktor Keamanan Beberapa Material

<i>No.</i>	<i>Material</i>	<i>Steady Load</i>	<i>Live Load</i>	<i>Shock Load</i>
1.	<i>Cast iron</i>	5 – 6	8 – 12	16 – 20
2.	<i>Wrought iron</i>	4	7	10 – 15
3.	<i>Steel</i>	4	8	12 – 16
4.	<i>Soft material & alloys</i>	6	9	15
5.	<i>Leather</i>	9	12	15
6.	<i>Timber</i>	7	10 - 15	20

Modulus Elastisitas (E)

Perbandingan antara tegangan dan regangan yang berasal dari diagram tegangan regangan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Menurut Hukum Hooke tegangan sebanding dengan regangan, yang dikenal dengan deformasi aksial :

$$\sigma = E \varepsilon$$

Thomas Young (1807) membuat konstanta kesebandingan antara tegangan dan regangan yang dikenal dengan Modulus Young (Modulus Elastitas) : E

Variasi hukum Hooke diperoleh dengan substitusi regangan ke dalam persamaan tegangan

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

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

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta L}{L}$$

$$\Delta L = \frac{F L}{A E}$$

$$\Delta L = \frac{\sigma L}{E}$$

$$\Delta L = \delta = \frac{F \cdot L}{A E}$$

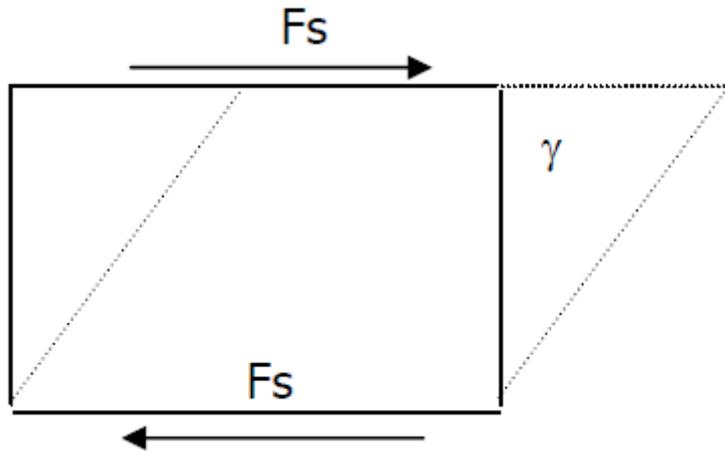
Tabel 1. Beberapa harga E dari bahan teknik

No.	Material	E (GPa)
1.	Steel and nickel	200 - 220
2.	Wrought iron	190 - 200
3.	Cast iron	100 - 160
4.	Copper	90 - 110
5.	Brass	80 - 90
6.	Aluminium	60 - 80
7.	Timber	10

Modulus Geser (G)

Modulus geser merupakan perbandingan antara tegangan geser dengan regangan geser.

$$\tau = G \gamma$$



γ : sudut geser (radian)

τ : tegangan geser

G : modulus geser

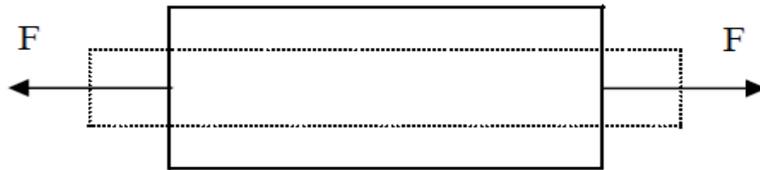
γ : regangan geser

F_s : Gaya geser

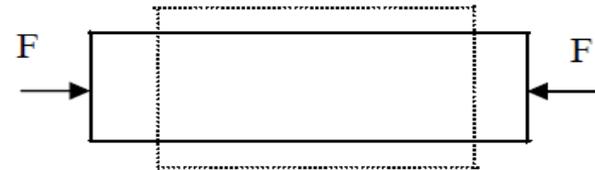
Possion Ratio (ν)

- Suatu benda jika diberi gaya tarik maka akan mengalami deformasi lateral (mengecil). Jika benda tersebut ditekan maka akan mengalami pemuaian ke samping (menggelembung). Penambahan dimensi lateral diberi tanda (+) dan pengurangan dimensi lateral diberi tanda (-).
- Possion ratio merupakan perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial dalam harga mutlak.

$$\nu = \left| \frac{\text{regangan lateral}}{\text{regangan aksial}} \right| = - \frac{\text{regangan lateral}}{\text{regangan aksial}}$$



(-)



(+)

Possion Ratio (ν)

- Harga ν berkisar antara : 0,25 s/d 0,35. Harga ν tertinggi adalah dari bahan karet dengan nilai 0,5 dan harga ν terkecil adalah beton dengan nilai : 0,1.
- Efek ν yang dialami bahan tidak akan memberikan tambahan tegangan lain, kecuali jika deformasi melintang dicegah.

$$\nu = \frac{\epsilon_e}{\epsilon_a}$$

Tabel 2. Harga ν Beberapa Material

No.	Material	ν
1.	<i>Steel</i>	0,25 – 0,33
2.	<i>Cost iron</i>	0,23 – 0,27
3.	<i>Copper</i>	0,34 – 0,34
4.	<i>Brass</i>	0,32 – 0,42
5.	<i>Aluminium</i>	0,32 – 0,36
6.	<i>Concrete</i>	0,08 – 0,18
7.	<i>Rubber</i>	0,45 – 0,50

Tiga konstanta kenyal dari bahan isotropic E, G, V saling berkaitan satu dengan yang lain menjadi persamaan :

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

Contoh soal

Sebuah batang dengan panjang 100 cm dengan profil segi empat ukuran 2 cm x 2 cm diberi gaya tarik sebesar 1000 kg. Jika modulus elastisitas bahan 2×10^6 kg/cm². Hitung pertambahan panjang yang terjadi.

Jawab :

$$L = 100 \text{ cm}$$

$$A = 2 \times 2 = 4 \text{ cm}^2$$

$$F = 1000 \text{ kg} = 10\,000 \text{ N}$$

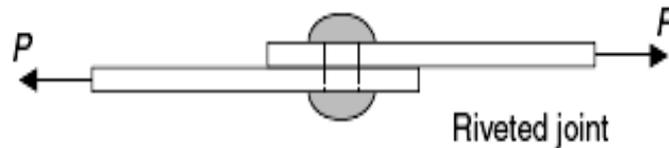
$$E = 2 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2 = 2 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$$

- Pertambahan panjang :

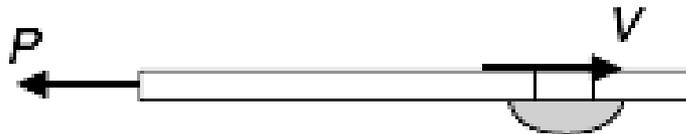
$$\Delta L = \delta = \frac{F \cdot L}{A \cdot E} = \frac{10000 \cdot 100}{4 \times 2 \cdot 10^7} = \mathbf{0,0125 \text{ cm}}$$

Geser murni

- Sambungan balok dengan paku keling tunggal seperti pada gambar di bawah ini:



- **Tegangan.** Jika keling dipotong pada bagian tengah sambungan untuk mendapatkan luas penampang A dari keling, kemudian menghasilkan diagram benda bebas pada gambar dibawah ini.

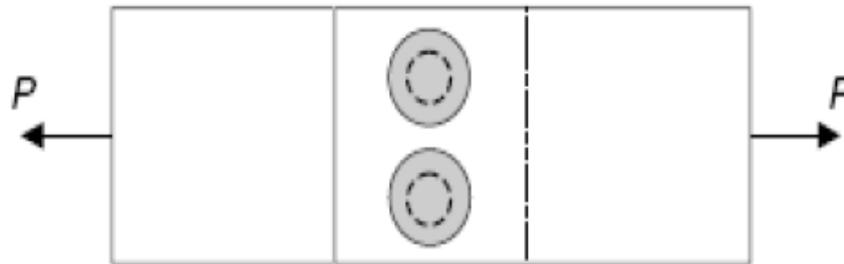


- Gaya geser V memberikan aksi pada bagian penampang keling dan oleh keseimbangan statis sama dengan besarnya gaya P . Tegangan geser τ dalam keling adalah:

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{P}{A_{keling}}$$

Satuan tegangan geser sama dengan tegangan normal, yaitu pound per square inch (psi) dan N/m^2 atau Pascal (Pa).

Andaikata dua sambungan keeling ditarik secara bersamaan seperti di bawah ini:



Jika kedua keling dipotong bagian tengah sambungan untuk mendapatkan luas penampang A dari keling, kemudian menghasilkan diagram benda bebas pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Diagram benda bebas

Tegangan geser τ dalam keling adalah:

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{P/2}{A_{keling}} = \frac{P}{2A_{keling}} \quad (2-5)$$

Jumlah paku keling bertambah, maka tegangan geser setiap keling menjadi berkurang.

Contoh soal

Contoh 5.

Tentukan tegangan geser τ dalam salah satu dari empat sambungan keling jika diketahui $P = 45 \text{ kN}$ dan diameter $D = 0,6 \text{ cm}$.

Penyelesaian :

Diketahui: $P = 45 \text{ kN} = 45.000 \text{ N}$

$$D = 0,6 \text{ cm} = 0,006 \text{ m}$$

Menghitung penampang setiap keling A :

$$\begin{aligned} A &= \pi D^2 / 4 \\ &= 3,14 \cdot (0,006 \text{ m})^2 / 4 \\ &= 0,00003 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Di sini 4 keling harus menahan gaya P , gaya geser V untuk tiap keling adalah:

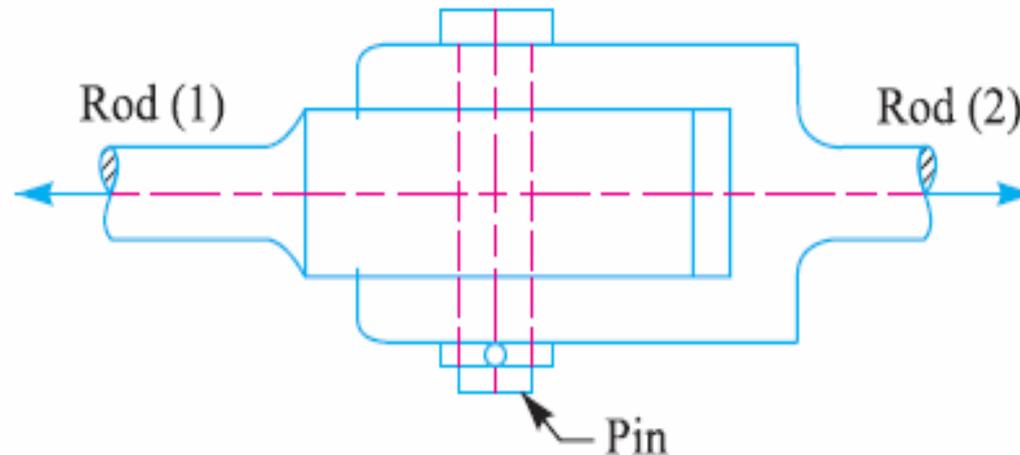
$$\begin{aligned} 4V &= P \\ V &= P/4 = 45.000 \text{ N} / 4 = 11.250 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung tegangan geser tiap keling adalah:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{V}{A_{keling}} = \frac{11.250 \text{ N}}{0.00003 \text{ m}^2} \\ &= 375.000.000 \text{ N} / \text{m}^2 = 375 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Soal-soal latihan

1. Dua batang bundar berdiameter 50 mm dihubungkan oleh pin, seperti pada gambar di bawah ini, diameter pin 40 mm. Jika sebuah tarikan 120 kN diberikan pada setiap ujung batang, tentukan tegangan tarik dalam batang dan tegangan geser dalam pin.



Soal-soal latihan

2. Diameter piston mesin uap adalah 300mm dan tekanan uap maksimum adalah $0,7 \text{ N/mm}^2$. Jika tegangan tekan yang diijinkan untuk material batang piston adalah 40 N/mm^2 , tentukan ukuran batang piston.
3. Batang balok persegi 20mm x 20mm membawa sebuah beban. Batang tersebut dihubungkan ke sebuah bracket dengan 6 baut. Hitung diameter baut jika tegangan maksimum dalam batang balok adalah 150 N/mm^2 dan dalam baut 75 N/mm^2 .

Bab II

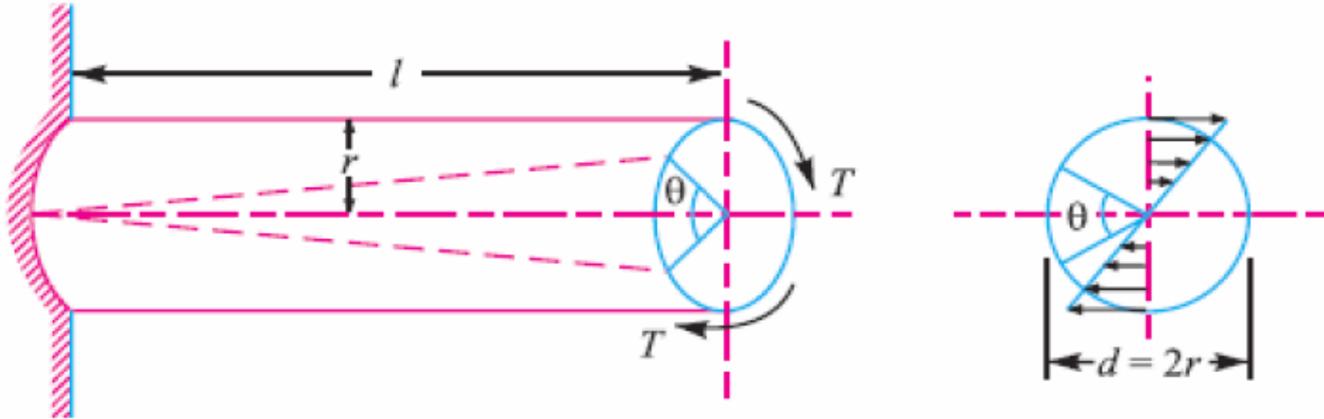
TEGANGAN TORSI DAN BENDING

Kadang-kadang elemen mesin menerima torsi murni atau bending murni, atau kombinasi tegangan bending dan torsi. Kita akan membahas secara detail mengenai tegangan tegangan ini :

Tegangan Geser Torsi

- ❑ Ketika bagian mesin menerima aksi dua kopel yang sama dan berlawanan dalam bidang yang sejajar (atau momen torsi), kemudian bagian mesin ini dikatakan menerima torsi.
- ❑ Tegangan yang diakibatkan oleh torsi dinamakan **tegangan geser torsi**. Tegangan geser torsi adalah nol pada pusat poros dan maksimum pada permukaan luar.
- ❑ Jika sebuah poros yang dijepit pada salah satu ujungnya dan menerima torsi pada ujung yang lain seperti pada Gambar di bawah ini.
- ❑ Akibat torsi ini, setiap bagian yang terpotong menerima tegangan geser torsi.
- ❑ Tegangan geser torsi adalah nol pada pusat poros dan maksimum pada permukaan luar poros dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\tau}{r} = \frac{T}{J} = \frac{C.\theta}{l}$$



τ = Tegangan geser torsi pada permukaan luar poros atau Tegangan geser maksimum.

r = Radius poros,

T = Momen puntir atau torsi,

J = Momen inersia polar,

C = Modulus kekakuan untuk material poros,

l = Panjang poros,

θ = Sudut puntir dalam radian sepanjang l .

- Catatan
- Tegangan geser torsi pada jarak x dari pusat poros adalah:

$$\frac{\tau_x}{x} = \frac{\tau}{r}$$

Dari persamaan sebelumnya diperoleh

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r} \quad \text{atau} \quad T = \tau \frac{J}{r}$$

Untuk poros pejal berdiameter d , momen inerti polar J adalah

$$J = I_{XX} + I_{YY} = \frac{\pi}{64} \cdot d^4 + \frac{\pi}{64} \cdot d^4 = \frac{\pi}{32} \cdot d^4$$

$$T = \tau \cdot \frac{\pi}{32} \cdot d^4 \cdot \frac{2}{d} = \frac{\pi}{16} \cdot \tau \cdot d^3$$

- Untuk poros berlubang dengan diameter luar d_o dan diameter dalam d_i , momen inersia polar J adalah:

$$J = \frac{\pi}{32} [(d_o)^4 - (d_i)^4] \text{ dan } r = \frac{d_o}{2}$$

$$T = \tau \cdot \frac{\pi}{32} [(d_o)^4 - (d_i)^4] \cdot \frac{2}{d_o} = \frac{\pi}{16} \cdot \tau \left[\frac{(d_o)^4 - (d_i)^4}{d_o} \right]$$

$$= \frac{\pi}{16} \cdot \tau (d_o)^3 (1 - k^4) \quad \text{dimana } k = \frac{d_i}{d_o}$$

Daya yang ditransmisikan oleh poros (dalam watt) adalah :

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{60} = T \cdot \omega$$

T = torsi yang ditransmisikan (dalam N-m) dan ω = kecepatan sudut (rad/detik)

Contoh soal

1. Sebuah poros mentransmisikan daya 100kW pada putaran 160rpm. Tentukan diameter poros jika torsi maksimum yang ditransmisikan melebihi rata-rata 25%. Ambil tegangan geser maksimum yang diijinkan adalah 70 MPa.

$$P = 100 \text{ kW} = 100.10^3 \text{ W};$$

$$N = 160 \text{ rpm};$$

$$T_{\max} = 1,25.T_{\text{rata}} ;$$

$$\tau = 70 \text{ MPa} = 70 \text{ N/mm}^2,$$

Daya yang ditransmisikan P adalah:

$$100.10^3 = \frac{2.\pi.N.T_{\text{rata}}}{60} = \frac{2.3,14.160.T_{\text{rata}}}{60} = 16,76.T_{\text{rata}}$$

$$T_{\text{rata}} = \frac{100.10^3}{16,76} = 5966,6 \text{ N} - \text{m}$$

Torsi maksimum yang ditransmisikan T_{\max} adalah:

$$\begin{aligned}T_{\max} &= 1,25 \cdot T_{\text{rata}} = 1,25 \cdot 5966,6 \text{ N-m} \\ &= 7458 \text{ N-m} = 7458 \cdot 10^3 \text{ N-mm}\end{aligned}$$

Diameter poros d ketika torsi maksimum adalah:

$$\begin{aligned}T_{\max} &= \frac{\pi}{16} \cdot \tau \cdot d^3 \\ 7458 \cdot 10^3 &= \frac{3,14}{16} \cdot 70 \cdot d^3 \\ d^3 &= 542,4 \cdot 10^3 \\ d &= 81,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Contoh 2.

Poros baja berdiameter 35 mm dan panjang 1,2 m dijepit pada satu ujungnya oleh hand wheel berdiameter 500mm dikunci pada ujung yang lain. Modulus kekakuan dari baja adalah 80 GPa.

1. Berapa beban yang dipakai untuk menahan piringan roda yang menghasilkan tegangan geser torsi 60 MPa?
2. Berapa derajat roda memuntir ketika beban dipakai?

Penyelesaian:

$d = 35 \text{ mm}$ atau $r = 17,5 \text{ mm}$; untuk poros

$l = 1,2 \text{ m} = 1200 \text{ mm}$;

$D = 500 \text{ mm}$ atau $R = 250 \text{ mm}$; untuk roda.

$C = 80 \text{ GPa} = 80 \text{ kN/mm}^2 = 80 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$;

$\tau = 60 \text{ MPa} = 60 \text{ N/mm}^2$.

1. Beban yang dipakai untuk menahan piringan roda (W).

Torsi yang dipakai untuk hand wheel (T),

$$T = W.R = W.250 = 250 W \text{ N-mm}$$

Momen inersia polar poros J adalah:

$$J = \frac{\pi}{32} .d^4 = \frac{3,14}{32} .35^4 = 147,34.10^3 \text{ mm}^4$$

Kita mengetahui bahwa: $\frac{T}{J} = \frac{\tau}{r}$

$$\frac{250W}{147,34.10^3} = \frac{60}{17,5}$$

$$W = 2020 \text{ N}$$

2. Berapa derajat θ roda memuntir ketika beban $W = 2020\text{N}$ dipakai.

Kita mengetahui bahwa: $\frac{T}{J} = \frac{C.\theta}{l}$

$$\theta = \frac{T.l}{J.C} = \frac{250.2020.1200}{147,34.10^3.80.10^3} = 0,05^\circ$$

Contoh 3:

Sebuah poros mentransmisikan daya 97,5 kW pada 180 rpm. Jika tegangan geser yang diijinkan pada material adalah 60 MPa, tentukan diameter yang sesuai untuk poros. Poros tidak boleh memuntir lebih dari 1° pada panjang 3 meter. Ambil $C = 80 \text{ GPa}$.

Penyelesaian:

Diketahui: $P = 97,5 \text{ kW}$; $N = 180 \text{ rpm}$; $\tau = 60 \text{ MPa} = 60 \text{ N/mm}^2$;

$\theta = 1^\circ = \pi/180 = 0,0174 \text{ rad}$; $l = 3 \text{ m} = 3000 \text{ mm}$; $C = 80 \text{ GPa} = 80 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2 = 80 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$.

Misalkan $T =$ Torsi yang ditransmisikan oleh poros dalam Nm, dan
 $d =$ diameter dalam mm.

Kita mengetahui bahwa daya yang ditransmisikan oleh poros (P),

$$97,5 \cdot 10^3 = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{60} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 180 \cdot T}{60} = 18,852 \cdot T$$

$$T = 97,5 \cdot 10^3 / 18,852 = 5172 \text{ Nm} = 5172 \cdot 10^3 \text{ Nmm}.$$

Sekarang mari kita menentukan diameter poros berdasarkan pada kekuatan dan kekakuan.

1. Pertimbangan kekuatan poros

Kita mengetahui bahwa torsi yang ditransmisikan (T),

$$5172.10^3 \text{ Nmm} = \pi/16 \cdot \tau \cdot d^3 = \pi/16 \cdot 60 \cdot d^3 = 11,78 \cdot d^3$$

$$d^3 = 5172.10^3 / 11,78 = 439.10^3$$

$$d = 76 \text{ mm.}$$

2. Pertimbangan kekakuan poros

Momen inersia polar dari poros,

$$J = \pi/32 \cdot d^4 = 0,0982 \cdot d^4$$

Kita mengetahui bahwa: $\frac{T}{J} = \frac{C \cdot \theta}{l}$

$$\frac{5172.10^3}{0,0982 \cdot d^4} = \frac{80.10^3 \cdot 0,0174}{3000}$$

$$\frac{52,7.10^6}{d^4} = 0,464$$

$$d^4 = 439000$$

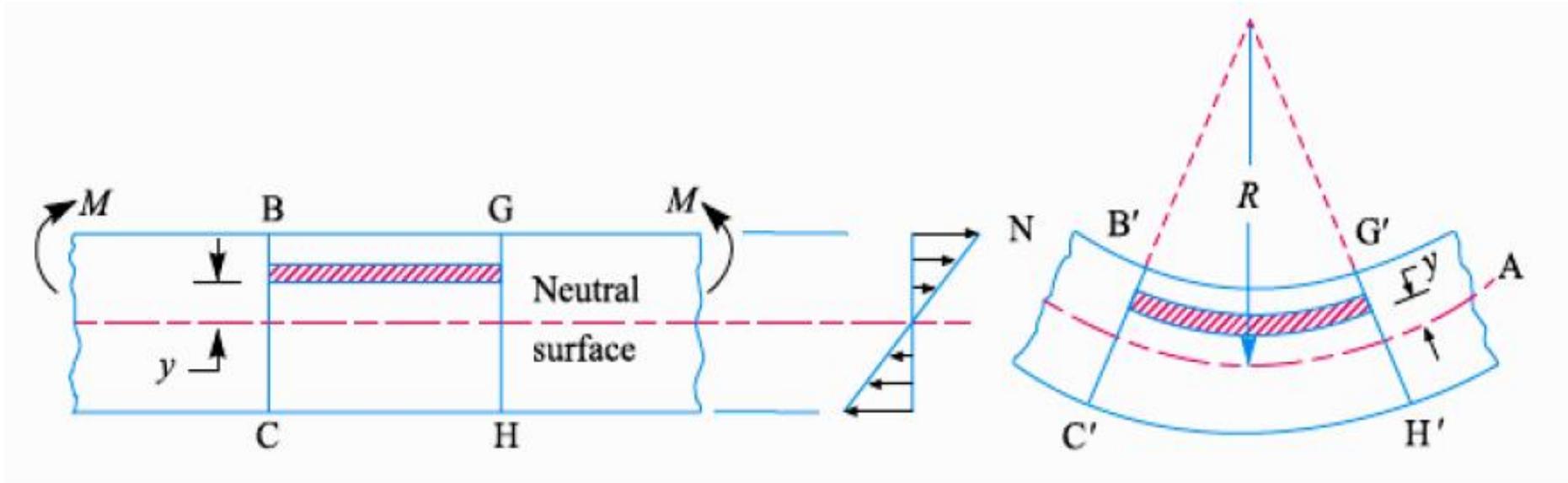
$$d = 103 \text{ mm}$$

Ambil yang lebih besar dari dua nilai di atas, kita akan peroleh $d = 103 \text{ mm}$ dibulatkan menjadi 105mm.

3.2 Tegangan Bending dalam Balok Lurus

Dalam praktik keteknikan, bagian-bagian mesin dari batang struktur yang mengalami beban statis atau dinamis yang selain menyebabkan tegangan bending pada bagian penampang juga ada tipe tegangan lain seperti tegangan tarik, tekan dan geser.

Balok lurus yang mengalami momen bending M seperti pada gambar di bawah ini.



Ketika balok menerima momen bending, bagian atas balok akan memendek akibat kompresi dan bagian bawah akan memanjang akibat tarikan. Ada permukaan yang antara bagian atas dan bagian bawah yang tidak memendek dan tidak memanjang, permukaan itu dinamakan permukaan netral (neutral surface). Titik potong permukaan netral dengan sembarang penampang balok dinamakan sumbu netral (neutral axis). Distribusi tegangan dari balok ditunjukkan dalam gambar di atas. Persamaan bending adalah :

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{R}$$

Yang mana, M = aksi momen bending pada bagian yang diberikan,
 σ = tegan bending,
 I = Momen inersia dari penampang terhadap sumbu netral,
 y = Jarak dari sumbu netral ke arsiran,
 E = Modulus elastisitas material balok,
 R = Radius kelengkungan balok.

Dari persamaan di atas, rumus tegangan bending adalah:

$$\sigma = y \cdot \frac{E}{R}$$

Karena E dan R adalah konstan, oleh karena itu dalam batas elastis, tegangan pada sembarang titik adalah berbanding lurus terhadap y, yaitu jarak titik ke sumbu netral.

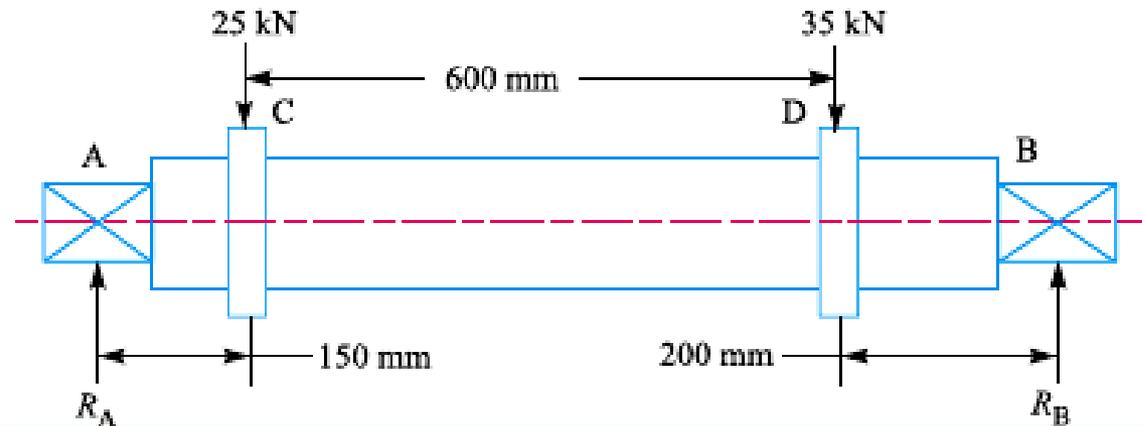
Juga dari persamaan di atas, tegangan bending adalah:

$$\sigma = \frac{M}{I} \cdot y = \frac{M}{I/y} = \frac{M}{Z}$$

Rasio I/y diketahui sebagai modulus penampang (section modulus) dan dinotasikan Z.

Contoh 4:

Sebuah poros pompa ditunjukkan pada Gambar 3.3. Gaya-gaya diberikan sebesar 25 kN dan 35 kN pusatkan pada 150mm dan 200mm berturut-turut dari kiri dan kanan bantalan. Tentukan diameter poros, jika tegangan tidak boleh melebihi 100 Mpa.



Penyelesaian:

Diketahui: $\sigma_b = 100 \text{ MPa} = 100 \text{ N/mm}^2$

R_A dan $R_B =$ Reaksi pada A dan B.

Momen pada A adalah:

$$R_B \cdot 950 = (35 \cdot 750) + (25 \cdot 150) = 30.000$$

$$R_B = 30.000/950 = 31,58 \text{ kN} = 31,58 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Dan $R_A = (25 + 35) - 31,58 = 28,42 \text{ kN} = 28,42 \cdot 10^3 \text{ N}$

Momen bending pada C adalah:

$$= R_A \cdot 150 = 28,42 \cdot 10^3 = 4,263 \cdot 10^6 \text{ Nmm.}$$

Dan bending pada D $= R_B \cdot 200 = 31,58 \cdot 10^3 \cdot 200 = 6,316 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

Kita melihat bahwa momen bending maksimum adalah pada D, oleh karena itu momen bending maksimum, $M = 6,316 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$.

Sedangkan $d =$ diameter poros,

Section modulus, Z adalah:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\pi}{32} \cdot d^3 \\ &= 0,0982 \cdot d^3 \end{aligned}$$

Kita mengetahui bahwa tegangan bending (σ_b),

$$100 = M/Z$$

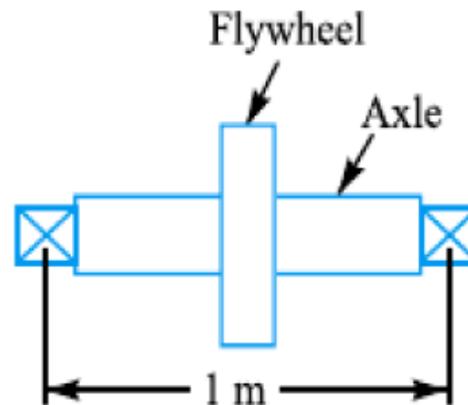
$$100 = 6,316 \cdot 10^6 / (0,0982 \cdot d^3) = 64,32 \cdot 10^6 / d^3$$

$$d^3 = 64,32 \cdot 10^6 / 100 = 643,2 \cdot 10^3$$

$$d = 86,3 \text{ mm} \approx \mathbf{90 \text{ mm.}}$$

Contoh 5.

Sebuah poros roda panjangnya 1 meter mendukung bantalan pada ujungnya dan pada bagian tengahnya menahan beban fly wheel sebesar 30 kN. Jika tegangan (bending) tidak boleh melebihi 60 MPa, tentukan diameter poros tersebut. Poros roda ditunjukkan Gambar 3.4.



Gambar 3.4

Penyelesaian:

Diketahui: $L = 1 \text{ m} = 10000 \text{ mm}$; $W = 30 \text{ kN} = 30 \cdot 10^3 \text{ N}$; $\sigma_b = 60 \text{ MPa} = 60 \text{ N/mm}^2$.

Misalkan d = Diameter poros dalam mm.

Section modulus,

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot d^3$$

Momen bending pada pusat poros,

$$M = \frac{W \cdot L}{4} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 1000}{4} = 7,5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Kita mengetahui tegangan bending (σ_b),

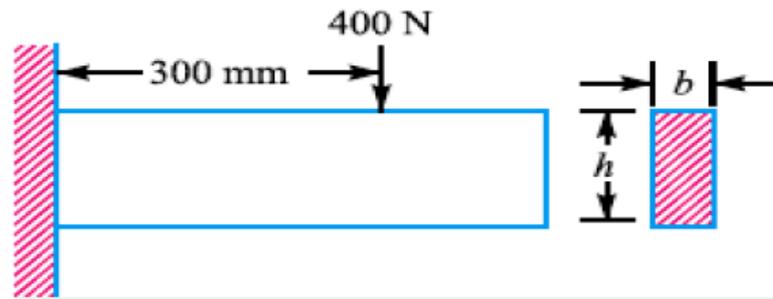
$$60 = \frac{M}{Z} = \frac{7,5 \cdot 10^6}{0,0982 d^3} = \frac{76,4 \cdot 10^6}{d^3}$$

$$d^3 = 76,4 \cdot 10^6 / 60 = 1,27 \cdot 10^6$$

$$d = 108,3 \approx \mathbf{110} \text{ mm}$$

Contoh 6.

Sebuah balok berpenampang persegi pada salah satu ujungnya dijepit dan menahan sebuah motor listrik dengan berat 400 N pada jarak 300 mm dari ujung jepit. Tegangan bending maksimum pada balok adalah 40 MPa. Tentukan lebar dan tebal balok jika tebalnya adalah dua kali lebar. Balok ditunjukkan Gambar 3.5.



Gambar 3.5

Penyelesaian:

Diketahui: $W = 400 \text{ N}$; $L = 300 \text{ mm}$; $\sigma_b = 40 \text{ MPa} = 40 \text{ N/mm}^2$; $h = 2.b$

Misalkan $b =$ Lebar balok dalam mm, dan

$h =$ Tebal balok dalam mm.

Section modulus,

$$Z = \frac{b.h^2}{6} = \frac{b.(2.b)^2}{6} = \frac{2.b^3}{3} \text{ mm}^3$$

Momen bending maksimum (pada ujung jepit),

$$M = W.L = 400.300 = 120.10^3 \text{ Nmm}$$

Kita mengetahui tegangan bending (σ_b),

$$40 = \frac{M}{Z} = \frac{120.10^3.3}{2.b^3} = \frac{180.10^3}{b^3}$$

$$b^3 = 180.10^3/40 = 4,5.10^3$$

$$b = 16,5 \text{ mm}$$

$$h = 2.b = 2.16,5 = \mathbf{33 \text{ mm.}}$$

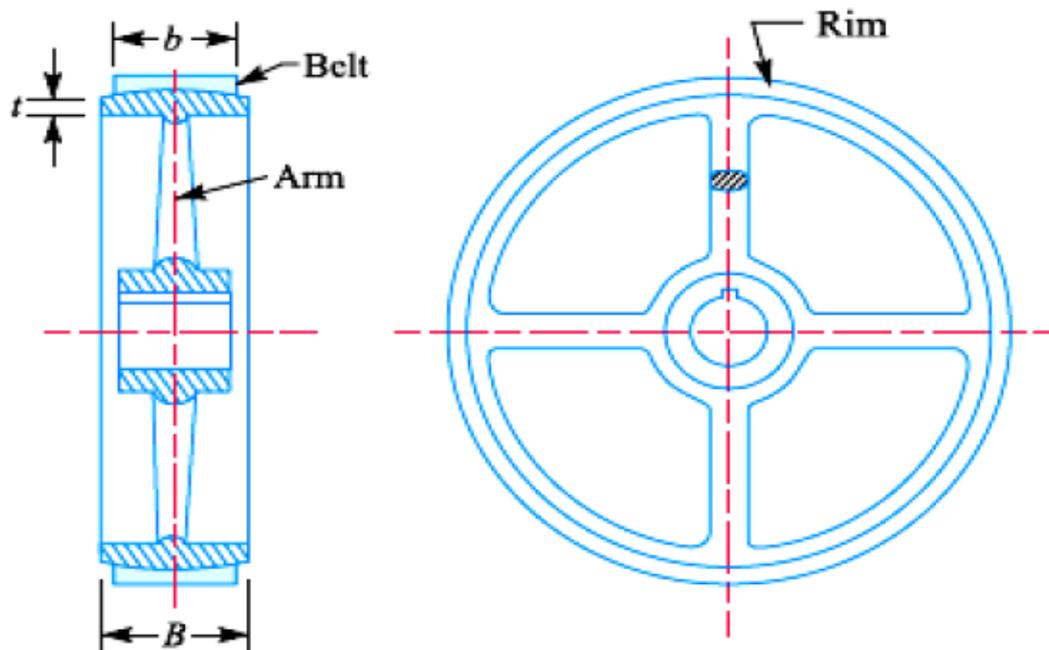
Contoh 7.

Sebuah pulley besi cor mentransmisikan daya 10 kW pada 400 rpm. Diameter pulley adalah 1,2 meter dan mempunyai 4 lengan lurus berbentuk elip, dimana poros mayor adalah dua kali poros minor. Tentukan dimensi dari lengan jika tegangan bending adalah 15 MPa.

Penyelesaian:

Diketahui: $P = 10 \text{ kW} = 10 \cdot 10^3 \text{ W}$; $N = 400 \text{ rpm}$; $D = 1,2 \text{ m} = 1200 \text{ mm}$ atau
 $R = 600 \text{ mm}$; $\sigma_b = 15 \text{ MPa} = 15 \text{ N/mm}^2$.

Misalkan $T =$ Torsi yang ditransmisikan pulley.



Kita mengetahui bahwa daya yang ditransmisikan oleh pulley (P),

$$10.10^3 = \frac{2.\pi.N.T}{60} = \frac{2.\pi.400.T}{60} = 42.T$$

$$T = 10.10^3/42 = 238 \text{ Nm} = 238.10^3 \text{ Nmm.}$$

Karena torsi adalah produk dari beban tangensial dan radius pulley, oleh karena itu beban tangensial pada pulley adalah:

$$= \frac{T}{R} = \frac{238.10^3}{600} = 396,7 \text{ N}$$

Karena pulley mempunyai empat lengan, oleh karena itu beban tangensial setiap lengan,

$$W = 396,7/4 = 99,2 \text{ N}$$

Dan momen bending maksimum pada lengan,

$$M = W.R = 99,2.600 = 59520 \text{ Nmm}$$

Misalkan $2b =$ poros minor dalam mm, dan

$$2a = \text{poros mayor dalam mm} = 2.2b = 4b$$

Section modulus untuk penampang elip,

$$Z = \frac{\pi}{4}.a^2b = \frac{\pi}{4}(2b)^2.b = \pi.b^3 \text{ mm}^3$$

Kita mengetahui bahwa tegangan bending (σ_b),

$$15 = \frac{M}{Z} = \frac{59520}{\pi.b^3} = \frac{18943}{b^3}$$

$$b^3 = 18943/15 = 1263$$

$$b = 10,8 \text{ mm}$$

Poros minor, $2b = 2.10,8 = \mathbf{21,6}$ mm

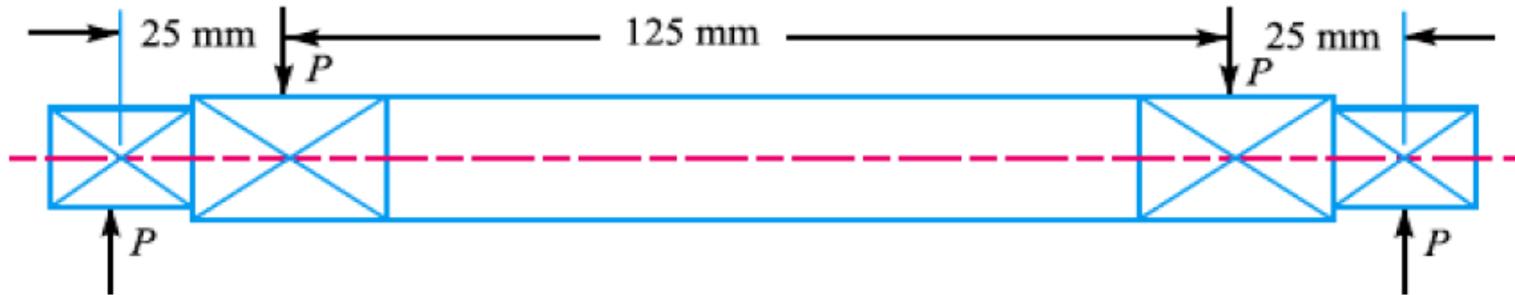
Poros mayor, $2a = 4.b = 4.10,8 = \mathbf{43,2}$ mm.

Latihan I:

1. Sebuah poros baja diameter 50 mm dan panjang 500 mm dikenai momen punter 1100 N-m, total sudut punter $0,6^\circ$. Tentukan tegangan geser maksimum yang terjadi pada poros dan modulus kekakuan.
2. Sebuah poros mentransmisikan daya 100 kW pada 180 rpm. Jika tegangan yang diijinkan dalam material adalah 60 MPa, tentukan diameter dalam poros. Poros tidak boleh memuntir lebih dari 1° pada panjang 3 meter. Ambil $C = 80$ GPa.
3. Desain diameter yang sesuai untuk sebuah poros bundar yang diperlukan untuk mentransmisikan 90 kW pada 180 rpm. Tegangan geser dalam poros tidak boleh melebihi 70 MPa dan torsi maksimum melebihi rata-rata 40%. Juga tentukan sudut puntir pada panjang poros 2 meter. Ambil $C = 90$ GPa.

Latihan II

1. Sebuah spindle seperti pada Gambar 3.6, adalah elemen dari rem industri dan dibebani seperti pada gambar. Setiap beban P adalah sama dengan 4 kN dan diterapkan pada tengah titik bantalannya. Tentukan diameter spindle, jika tegangan bending maksimum adalah 120 MPa.



Gambar 3.6: Spindel

2. Sebuah pulley besi cor mentransmisikan 20 kW pada 300 rpm. Diameter pulley 550 mm dan mempunyai empat lengan lurus berpenampang elip yang mana poros mayor adalah 2 kali poros minor. Tentukan dimensi lengan, jika tegangan bending yang diijinkan adalah 15 MPa.