

### 3. DIAGRAM TEGANGAN REGANGAN, KASUS PEMBEBANAN DAN TEGANGAN IZIN

#### 3.1. DIAGRAM TEGANGAN REGANGAN

Kekuatan material sangat tergantung dari jenis material, jenis material bisa keras atau getas bisa juga lunak atau ulet/*ductil* tergantung dari unsur kandungan bahan dan struktur yang terbentuknya,

Hal ini bisa dilihat dari *Diagram-Tegangan-Regangan* yang didapat dari hasil pengujian material.

*Diagram-Tegangan-Regangan* adalah diagram yang menunjukkan kekuatan suatu material dari hasil uji tarik.

Dalam pengujian tarik, benda uji di tarik dengan gaya secara bertahap sehingga batang uji akan mengalami perpanjangan sampai mulur hingga patah.

menurut *hukum Hooks*  $\sigma = \epsilon \cdot E$  batang uji tidak berubah bentuk sampai batas proporsional, karena *tegangan*  $\sigma$  berbanding lurus terhadap *regangan*  $\epsilon$ , yang disebut *modulus Elastisitas E* (ditunjukkan dalam bentuk segitiga berarsir)

- BATAS-BATAS KEKUATAN MATERIAL

**P = Batas PROPORSIONAL**

Sampai batas ini tegangan berbanding proporsional terhadap regangan, sebelum mencapai titik ini material tidak mengalami perubahan bentuk.

**E = Batas ELASTIS**

Sampai batas ini material terjadi perubahan bentuk, namun masih akan kembali ke bentuk semula.

Setelah batas E terlampaui material akan berubah bentuk dan tidak kembali ke bentuk semula (*plastis*)

**M = Batas MULUR**

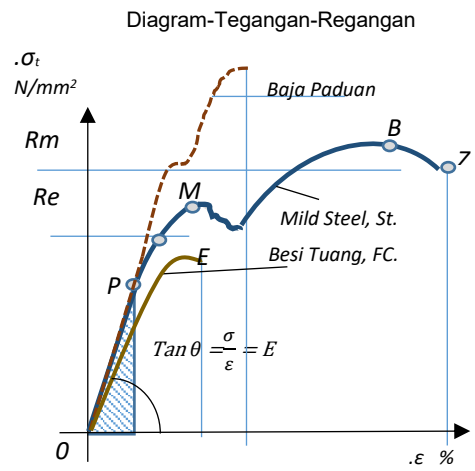
Di batas ini material akan terjadi perubahan bentuk yang signifikan, tapi masih belum terjadi patahan.

**B = Titik KRITIS (batas patah)**

Di titik ini material baru akan patah yang disebut batas kekuatan patah

**Z = Titik PATAH**

Dititik ini komponen akan patah dengan sendirinya tanpa adanya penambahan beban.



Rm = Resistance maximum,  
Kekuatan tarik maksimum sampai patah  
Re = Resistance extending  
Kekuatan tarik sampai mulur

$$\text{Regangan } \epsilon = \frac{\text{perpanjangan } \Delta l}{\text{panjang awal } l}$$

$$\text{Regangan } \epsilon = \frac{\text{perpanjangan } \Delta l}{\text{panjang awal } l_0}$$

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad \frac{\epsilon}{1} \quad \frac{\Delta l, l, l_0}{mm}$$

$\sigma_E$  = Batas elastis

$\sigma_P$  = Batas proporsional

Re = Batas mulur  
(Resistanc Extending)

Rm = Batas patah  
(Resintanc maximum)

Contoh untuk St.37 :

Rm = 370 N/mm<sup>2</sup>

Re = 240 M/mm<sup>2</sup>

### 3.2. KASUS PEMBEBANAN

Daya tahan suatu konstruksi sangat tergantung dari perlakuannya dalam menerima pembebanan, ada pembebanan tetap atau statis ada pembebanan bergerak/berubah-ubah atau dinamis.

Kasus pembebanan tergantung dari perlakuan yang diberikan, sifat pembebanan dibagi dalam 3 kasus, yaitu :

- **KASUS PEMBEBANAN I**  
*Pembebanan STATIS/TETAP*

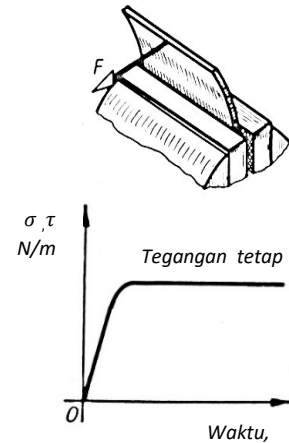
Suatu konstruksi menerima pembebanan yang sama (tarik, tekan, bengkok, geser atau puntir) dan tetap untuk selamanya.

Misal, sebuah plat dibengkokkan dengan gaya sebesar  $F$  (besar gaya tetap) ke satu arah dan ditahan selamanya.

Tegangan dari nol naik hingga maksimum dengan harga tetap untuk selamanya sampai konstruksi tersebut tidak dipakai lagi.

Contoh :

*Plat Landasan, Bodi/Dudukan mesin, Menara dll.*



- **KASUS PEMBEBANAN II**  
*Pembebanan DINAMIS BERULANG*

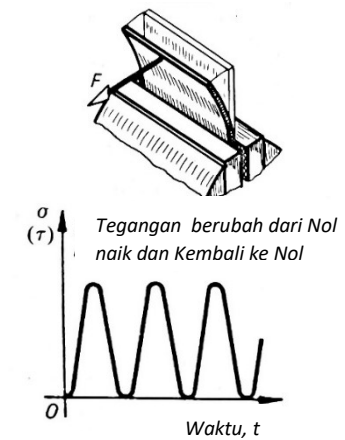
Suatu konstruksi menerima pembebanan dengan perlakuan yang sama berulang-ulang.

Misal, sebuah plat dibengkokkan dengan gaya sebesar  $F$  ke satu arah dan beban dilepas hingga kembali ke posisi semula dan terus berulang-ulang.

Tegangan dari nol naik hingga maksimum dan kembali ke nol, hal ini berulang-ulang selama alat masih difungsikan.

Contoh :

*Alat angkat, Dongkrak, Ragum, Spindel mesin press, Mesin skrap, AS tetap, dll.*



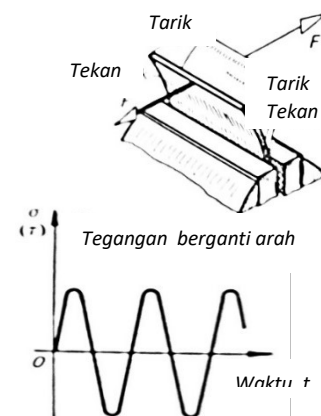
- **KASUS PEMBEBANAN III**  
*Pembebanan DINAMIS BERGANTI*

Suatu konstruksi menerima pembebanan yang sama berganti-ganti arah.

Tegangan dari nol naik hingga maksimum dan kembali ke nol, kemudian naik lagi ke arah yang berbeda.

Contoh :

*Batang torak (tarik dan tekan),poros transmisi (bengkok berganti arah dan puntir berganti arah).*



### 3.3. TEGANGAN IZIN

Suatu konstruksi dikatakan aman bila tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diizinkan, tegangan izin adalah batas tegangan yang diperbolehkan dan harga tegangan izin harus berada dibawah batas kekuatan mulur ( $Re$ ) dan tidak melebihi batas proporsional, karena suatu konstruksi yang benar tidak boleh terjadi perubahan bentuk sedikitpun yang mana akan mengakibatkan ketidak sempurnaan konstruksi.

Contoh :

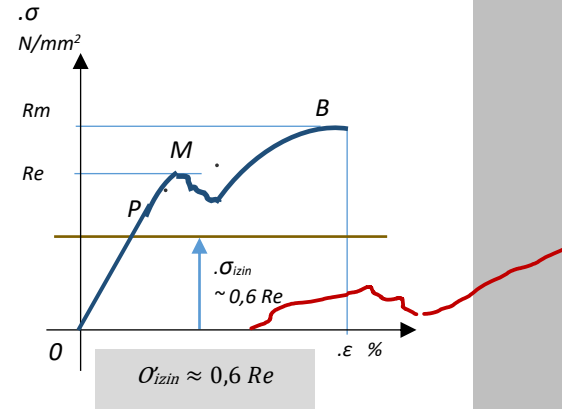
Bahan St. 37

Kekuatan tarik hingga patah  $Rm = 370 \text{ N/mm}^2$

Kekuatan tarik hingga mulur  $Re = 240 \text{ N/mm}^2$

Batas proporsional,  $P = 190 \text{ N/mm}^2$

Daya tahan suatu konstruksi sangat tergantung dari perlakuannya dalam menerima beban sesuai dengan kasus pembebanan yang diberikan (statis atau dinamis).



Tegangan yang terjadi **tidak boleh melebihi** harga tegangan yang diizinkan

#### 3.3.1. TEGANGAN IZIN PADA PEMBEBANAN STATIS

Penentuan harga tegangan izin pada pembebanan statis bisa diambil dari harga kekuatan tarik ( $Rm$  atau  $Re$ ) berdasarkan hasil pengujian bahan dengan mempertimbangkan faktor keamanan (*safety factor*).

- **Tegangan tarik izin,**

Untuk bahan ulet (*mild steel*) spt : St, Baja paduan, Aluminium atau Al-paduan, tembaga, Cu-paduan, baja tuang dlsb. bisa diambil dari kekuatan tarik sampai mulur  $Re$  (*Resistance extending*) dibagi faktor keamanan sampai mulur,  $Sf_m$ .

untuk bahan getas spt : Besi tuang, keramik diambil dari kekuatan tarik sampai patah,  $Rm$  (*Resistance maximum*) dibagi faktor keamanan sampai patah,  $Sf_B$

- **Faktor Keamanan (Safety Factor)**

Harga faktor keamanan untuk pembebanan statis umumnya diambil sbb. :

- **Faktor keamanan yang kecil**

Dipilih apabila gaya luar dapat diketahui dengan pasti dan tidak akan terjadi kerusakan yang fatal atau membahayakan.

- **Faktor keamanan Besar**

Dipilih apabila gaya luar tidak diketahui dengan pasti akibat adanya pengaruh-pengaruh sampingan dan mengakibatkan kerusakan yang fatal atau membahayakan.

$$\sigma_{yang\ terjadi} \leq \sigma_{izin}$$

$$\tau_{yang\ terjadi} \leq \tau_{izin}$$

$$\sigma_{izin} \leq \frac{Re}{Sf_m}$$

$$\sigma_{izin} \leq \frac{Rm}{Sf_B}$$

Faktor Keamanan terhadap

- kekuatan mullur ( $Re$ )

$$Sf_m = 1,2 \dots 2 \ x$$

- Kekuatan patah ( $Rm$ )

$$Sf_B = 1,5 \dots 2.5$$

• **Tegangan tekan, bengkok, geser dan puntir**

Secara empiris berdasarkan hasil pengujian, harga tegangan izin untuk pembebanan tekan, bengkok, geser dan puntir, bisa didapat dengan membandingkannya terhadap tegangan tarik izin (*lihat tabel 3-01*)

Tabel 3-01 Harga perbandingan tegangan izin pada pembebanan statis

Bahan	Tarik $\sigma_{t.izin}$	Tekan $\sigma_{d.izin}$	Bengkok $\sigma_{b.izin}$	Geser $\tau_{g.izin}$	Puntir $\tau_{p.izin}$
<i>St, St, paduan FCD Cu, Cu paduan</i>	$= \frac{Re}{Sfm}$	$= \sigma_{t.izin}$	$= \sigma_{t.izin}$	$= 0,7 \cdot \sigma_{t.izin}$	$= 0,7 \cdot \sigma_{t.izin}$
<i>Al., Al. paduan</i>		$= 1,2 \cdot \sigma_{t.izin}$	$= \sigma_{t.izin}$	$= 0,8 \cdot \sigma_{t.izin}$	$= 0,8 \cdot \sigma_{t.izin}$
<i>FC</i>	$= \frac{Rm}{SfB}$	$= 2,5 \sigma_{t.izin}$	$= \sigma_{t.izin}$	$= 1,2 \cdot \sigma_{t.izin}$	

3.3.2. TEGANGAN IZIN PADA PEMBEBANAN DINAMIS

Pada awal perhitungan sebelum kita mengetahui dimensi, kondisi permukaan dan bentuk yang mengakibatkan terjadinya konsentrasi tegangan, tegangan izin pada pembebanan dinamis (*dinamis berulan atau dinamis berganti*), secara empirik bisa didapat dari harga Kekuatan lelah sesuai dengan jenis pembebanan yang diberikan di bagi dengan faktor keamanan.

$$\sigma_{izin} \leq \frac{\sigma_D}{Sf_D}$$

Harga Kekuatan Lelah adalah harga kemampuan suatu bahan menahan beban sampai Lelah, harga ini bisa didapat dari hasil pengujian berdasarkan jenis pembebanannya, (*lihat label harga kekuatan bahan 3-02, 3-03*)

$$\sigma_D = \text{Tegangan izin pembebanan dinamis}$$

$$Sf_D = \text{Faktor Keamanan terhadap Kekuatan Lelah } \sim 2 \times$$

Pembebanan lelah berdasarkan jenis pembebanan :

- Pembebanan tarik berulang.
- Pembebanan tarik berganti.
- Pembebanan bengkok berulang.
- Pembebanan bengkok berganti.
- Pembebanan puntir berulang.
- Pembebanan puntir berganti.

Secara empiris bisa juga tegangan izin dinamis diambil dari perbandingan terhadap tegangan izin statis

$$\sigma_{iz.I} : \sigma_{iz.II} : \sigma_{iz.III} = 1 : 0,8 : 0,5$$

### Tabel Harga Kekuatan Bahan

Tabel 3-02 Harga kekuatan bahan untuk **Steel** dalam  $N/mm^2$   
 $E$  ( Modulus Eiastisitas ) =  $210.000 N/mm^2$

Bahan	Rm ( $\sigma_B$ )	Re ( $\sigma_M$ )	$\sigma_{t/d}$ ulang	$\sigma_t$ ganti	$\sigma_b$ ulang	$\sigma_b$ ganti	$\tau_p$ ulang	$\tau_p$ ganti	Kekerasan Brinel HB
St. 37	370	240	240	175	340	200	170	140	105 - 125
St. 42	420	260	260	190	360	220	180	150	120 - 140
St. 50	500	300	300	230	420	260	210	180	140 - 170
St. 60	600	340	340	270	470	300	230	210	170 - 195
St. 70	700	370	370	320	520	340	260	240	195 - 240
C. 45	700	480	410	300	500	370	380	220	205
C. 60	890	570	490	330	550	420	350	260	245
16 Mn Cr 5	890	640	520	360	590	470	360	280	205
35 Cr Mo 4	980	800	660	420	750	490	430	300	215
30 Cr Ni Mo 8	1225	1030	770	540	950	590	560	360	250

Tabel 3-03 Harga kekuatan bahan untuk **Besi Tuang** dan **Baja Tuang** dlm.  $N/mm^2$

Bahan	Modulus elastisitas E	Modulus Geser G	Rm ( $\sigma_B$ )	Re ( $\sigma_M$ )	$\sigma_{dB}$	$\sigma_{tul}$	$\sigma_{tgt}$	$\sigma_{dul}$	$\sigma_{bul}$	$\tau_{pul}$
FC 25	120.000	50.000	250	-	850	120	70	280	200	150
FC 30	120.000	60.000	300	-	960	140	80	320	220	170
FCD 50	170.000	80.000	500	320	800	250	220	310	410	180
FCD 60	175.000	100.000	600	380	870	380	270	410	500	220
FCD 70	180.000	120.000	700	440	1000	440	320	450	570	250

*Harga kekuatan bahan tersebut berlaku untuk ukuran ketebalan 15 ... 30 mm.*

*Untuk tebal < 15 mm ditambah ~ 10 %*

*Untuk tebal > 30 mm dikurangi ~ 10 %.*

## LANGKAH – LANGKAH PERHITUNGAN

Langkah 1 :

### GAYA LUAR/GAYA AKSI

- Gaya luar atau gaya aksi didapat dari beban yang diberikan
- Uraikan gaya tersebut terhadap sumbu x dan y

Langkah 2 :

### GAYA TUMPUAN/GAYA REAKSI

- Gambarkan diagram benda bebas (DBB)
- Hitung gaya di tumpuan  
Gunakan "sistem kesetimbangan" ( $\Sigma M = 0, F_A, F_B$ )

Langkah 3

### PENAMPANG KRITS

- Tentukan penampang yang dianggap kritis  
Penampang kritis terletak di daerah yang pembebanannya maksimal dan atau di penampang yang paling kecil.
- Gambarkan potongan di tiap-tiap penampang kritis tsb.

Langkah 4 :

### GAYA DALAM

- Hitung Gaya Dalam (Gaya normal  $F_n$ , Gaya tangensial  $F_t$  dan momen  $M_b, M_p$ ) yang terjadi di tiap-tiap penampang kritis gunakan hukum Newton ( $\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma M = 0$ ), sehingga kontuksi berada dalam kesetimbangan.

Langkah 5 :

### JENIS PEMBEBANAN

- Tentukan jenis pembebanan yang terjadi

Langkah 6 :

### TEGANGAN YANG TERJADI

- Tentukan jenis tegangan yang terjadi

Langkah 7 :

### TEGANGAN YANG DIIZINKAN

- Tentukan/cari tegangan yang diizinkan dengan mempertimbangkan faktor keamanan berdasarkan kasus pembebanan yang diberikan. (*statis, dinamis berulang atau dinamis berganti*)

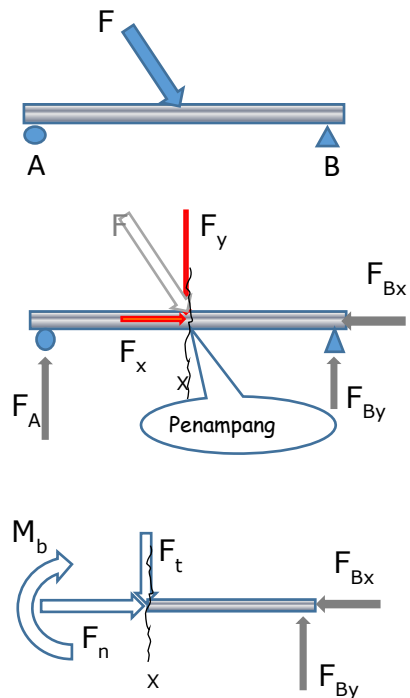
Langkah 8 :

### A. PENENTUAN DIMENSI

- Tentukan dimensi yang di perlukan berdasarkan tegangan yang terjadi lebih kecil dari tegangan yang diizinkan

### B. KONTROL

- Kontrol kekuatan kontruksi dengan membandingkan tegangan yang terjadi terhadap tegangan yang diizinkan



#### Jenis Pembebanan

- Tarik
- Tekan
- Bengkok
- Geser
- Puntir

#### Tegangan yang terjadi

- Tegangan Tarik,  $\sigma_t$
- Tegangan Tekan,  $\sigma_d$
- Tegangan Bengkok,  $\sigma_b$
- Tegangan Geser,  $\tau_g$
- Tegangan Puntir,  $\tau_p$

#### Tegangan yang diizinkan

- $\sigma_{izin} < Re/Sf$
- $\tau_{izin} \sim 0,65 \dots 0,8 \sigma_{izin}$

$$A > \frac{F_n}{\sigma_{izin}}$$

$$\sigma_{yang\ terjadi} < \sigma_{izin}$$

**CONTOH SOAL**

**KLEM TANGAN**

Sebuah klem tangan terbuat dari bahan besi tuang kelabu BTK 30 (FC 30) menerima Gaya pencekaman sebesar  $F = 3000\text{ N}$ ,

➤ Kontrol kekuatan alat tersebut

Penyelesaian :

Akibat dari gaya pencekaman yang terjadi apabila tidak kuat kita prediksi alat akan patah di potongan x - x atau y - y.

Bahan BTK (FC) 30,  $R_m = 300\text{ N/mm}^2$   
 Kasus Pembenanan II (Dinamis berulang),  
 $S_f = 1,5 \dots 2,5$  diambil  $\sim 2$

Tegangan izin  $\sigma_{izin} = R_m/S_f = 300/2 = 150\text{ N/mm}^2$

▪ **Potongan x-x**

Buatkan DBB di pot. x-x, cari gaya dalam dan momen dengan hukum kesetimbangan

( $\sum F = 0$  dan  $\sum M_S = 0$ ), maka didapat :

- Gaya tangensial,  $F_t = 3000\text{ N}$
- Momen bengkok,  $M_b = 600000\text{ Nmm}$

Dengan adanya Gaya tangensial dan Momen bengkok, maka di pot. x-x terjadi Tegangan gabungan  $\sigma_{gab}$  antara Tegangan bengkok  $\sigma_b$  dan Tegangan geser  $\tau_g$ ,

- Tegangan geser  $\tau_g = 2,5\text{ N/mm}^2$
- Tegangan bengkok  $\sigma_b = 75\text{ N/mm}^2$
- Tegangan gabungan  $\sigma_{gab} = 75,12\text{ N/mm}^2 < \sigma'_{izin} = 150\text{ N/mm}^2$

▪ **Potongan y-y**

dari DBB di pot. y-y, didaoot :

- Gaya normal,  $F_n = 3000\text{ N}$
- Momen bengkok,  $M_b = 900000\text{ Nmm}$

▪ **Tegangan tarik**

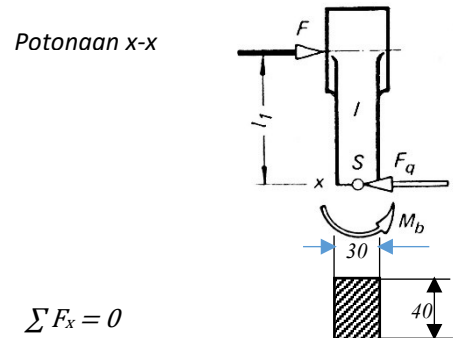
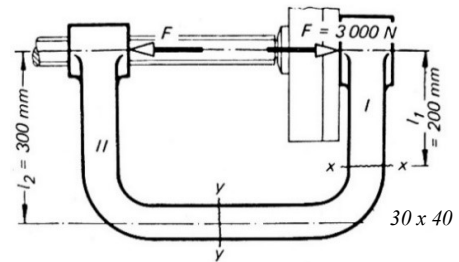
$$\sigma_t = \frac{F}{A} = \frac{3000}{45 \cdot 35} = 1,9\text{ N/mm}^2$$

▪ **Tegangan bengkok**

$$\sigma_b = \frac{M_b}{w} = \frac{900000 \cdot 6}{45 \cdot 35^2} = 98\text{ N/mm}^2$$

▪ **Tegangan gabungan**

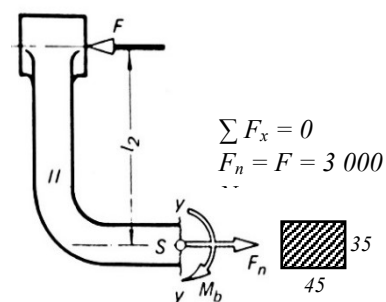
$$\sigma'_{gab} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_p^2} = \sqrt{98^2 + 3 \cdot 1,9^2} = 98,1\text{ N/mm}^2 < \sigma'_{izin} \text{ KUAT}$$



$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ F_t &= F = 3000\text{ N} \\ \sum M_S &= 0 \\ -F \cdot l_1 + M_b &= 0 \\ M_b &= F \cdot l_1 = 3000\text{ N} \cdot 200\text{ mm} \\ &= 600000\text{ Nmm} \\ \tau_g &= \frac{F}{A} = \frac{3000}{30 \cdot 40} = 2,5\text{ N/mm}^2 \\ \sigma_b &= \frac{M_b}{w} = \frac{600000 \cdot 6}{30 \cdot 40^2} = 75\text{ N/mm}^2 \\ \sigma'_{gab} &= \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_p^2} \\ &= \sqrt{75^2 + 3 \cdot 2,5^2} = 75,12\text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

KUAT

Potongan y-y



$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ F_n &= F = 3000 \\ \sum M_S &= 0 \quad -F \cdot l_2 + M_b = 0 \\ M_b &= F \cdot l_2 = 3000\text{ N} \cdot 300\text{ mm} \\ &= 900000\text{ Nmm} \end{aligned}$$

## SOAL – SOAL LATIHAN

### 1. Tegangan izin

Dibawah ini ada beberapa bahan dengan jenis & kasus Pembebanan yang berbeda.

➤ Tentukan Tegangan yang diizinkan untuk :

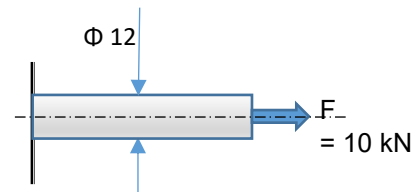
No	Bahan	Jenis Pembebanan	Kasus pembebanan
1.1	St. 37	Tarik	Statis
1.2	St. 50	Bengkok	Statis
1.3	St. 70	Bengkok	Din. Berulang
1.4	FC 30	Tekan	Statis
1.5	16MnCr5	Puntir	Din. Berganti

### 2. Faktor keamanan

Hitung faktor keamanan yang ada dan tentukan jenis/kasus pembebanan yang boleh diberikan

Bahan : St 42

- Cari Faktor keamanan yang ada :
- Terhadap kekuatan mulur
  - Terhadap kekuatan patah
  - Jenis dan kasus pembebanan

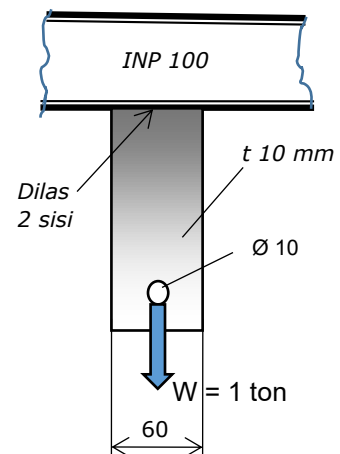


### 3. Plat Gantungan

Plat gantungan terbuat dari bahan St.37 dilas pada batang profil INP 100 diberi beban sebesar 1 ton.

HITUNG

- Tegangan Tarik yang terjadi pada plat gantungan tsb.
- Tegangan Tarik pada kampuh las, bila ukuran kampuh  $a = 4 \text{ mm}$

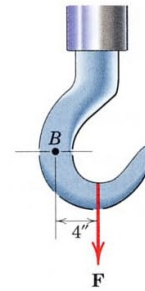




#### 4. PENGAIT /HOOK

Sebuah Hook terbuat dari bahan FCD 60 menerima beban 5 ton, diameter penampang di potongan B 8 mm,

- Hitung tegangan yang terjadi di penampang Potongan B

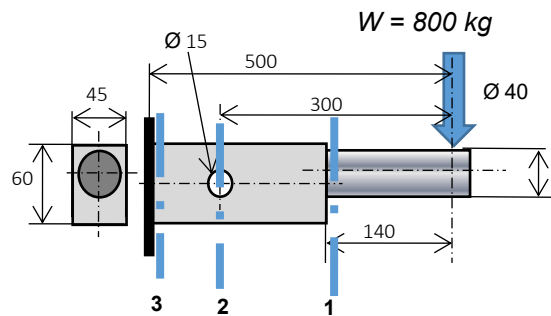


#### 5. Plat Gantungan

Batang Penyangga dibuat dari bahan : St. 50 menerima beban sebesar  $W = 800 \text{ kg}$ .  
Pembebanan STATIS

TUGAS ANDA

- Hitung Tegangan yang terjadi di Potongan 1,2 dan 3!
- Kuatkah konstruksi menahan beban?
- Berapa Faktor keamanan yang ada terhadap kekuatan mulur ?



#### 6. Batang pengangkat

Batang Profil INP 140 Panjang 1,8 m diangkat menggugi Tali Baja/Sling  $\varnothing 6 \text{ mm}$   
Sudut tali  $\theta 30^\circ$   
Mengangkat beban 2 ton

Bahan :

- Batang Profil St. 37.
- Rantai ST 60.
- Bahan Sling/tali baja : Kawat Baja ( $R_m 2500 \text{ N/mm}^2$ )

TUGAS ANDA

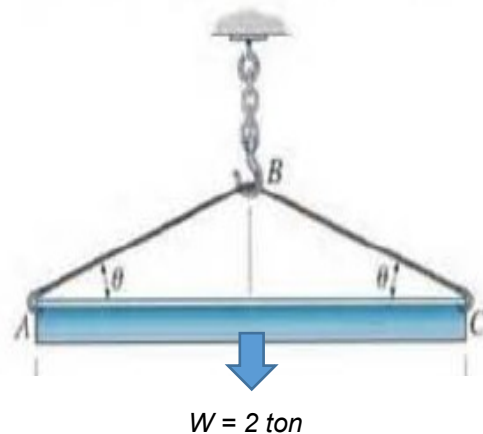
- Cari Gaya pada Rantai dan Tali baja
- Tentukan Diameter mata Rantai
- Kontrol kekuatan Tali baja  $\varnothing 6 \text{ mm}$

Batang Profil INP 140

- Kontrol kekuatan batang

Faktor keamanan

- Berapa factor keamanan yang ada pada rantai, tali baja dan batang profil terhadap kekuatan mulur ?

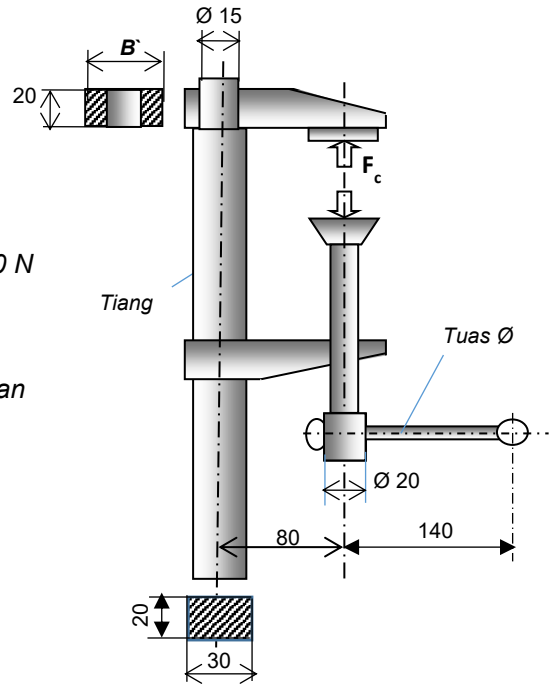


### 7. KLEM TANGAN

Klem tangan terbuat dari bahan : St. 60,  
diputar pada ujung tuasnya dengan Gaya tangan  
sebesar  $F_h = 100 \text{ N}$

TUGAS ANDA :

- Tentukan diameter Tuas
- Bila gaya cekam yang dihasilkan sebesar  $F_c = 5.000 \text{ N}$   
Tentukan lebar  $B$  Rahang Atas
- Kontrol Kekuatan Tiang,
- Berapa factor keamanan yang ada terhadap Kekuatan mulur?



### 8. BATANG BERTINGKAT

Batang bertingkat terbuat dari bahan St. 37  
( $\sigma_{izin} \approx 100 \text{ N/mm}^2$ )

menerima beban  $F_1 = 1 \text{ ton}$  dan  $F_2 = 500 \text{ kg}$ .

TUGAS ANDA

1. BATANG 1, Tentukan diameter Batang
2. BATANG 2. Bila lebar batang  $b = 50$   
Tentukan Tinggi  $h$

