

BAB 2**BEBAN, TEGANGAN DAN FAKTOR KEAMANAN**

Beban merupakan muatan yang diterima oleh suatu struktur/konstruksi/komponen yang harus diperhitungkan sedemikian rupa sehingga struktur/konstruksi/komponen tersebut aman.

1. Jenis Beban

Jenis beban yang diterima oleh elemen mesin sangat beragam, dan biasanya merupakan gabungan dari beban dirinya sendiri dan beban yang berasal dari luar.

a. Beban berdasarkan sifatnya

1. Beban konstan (*steady load*)
2. Beban tidak konstan (*unsteady load*)
3. Beban kejut (*shock load*)
4. Beban tumbukan (*impact*)

b. Beban berdasarkan cara kerja

1. Gaya aksial (F_a) = gaya tarik dan gaya tekan
2. Gaya radial (F_r)
3. Gaya geser (F_s)
4. Torsi (momen puntir) T
5. Momen lentur (M)

2. Tegangan (σ)

Tegangan (*stress*) secara sederhana dapat didefinisikan sebagai gaya persatuan luas penampang.

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

F : gaya (N)

A : luas penampang (mm²)

- a. Tegangan tarik (σ_t) : tegangan akibat gaya tarik
- b. Tegangan geser (τ) : tegangan akibat gaya geser.

3. Regangan

Regangan (*strain*) merupakan pertambahan panjang suatu struktur atau batang akibat pembebanan.

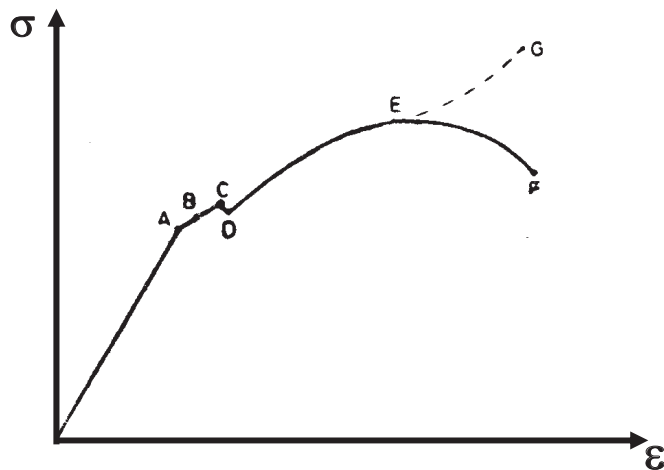
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

ΔL : Pertambahan panjang (mm)

L : Panjang mula-mula (mm)

4. Diagram Tegangan Regangan

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



Gambar 1. Diagram Tegangan Regangan

Keterangan :

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

Dari diagram tegangan regangan pada Gambar 1 di atas, terdapat tiga daerah kerja sebagai berikut :

- **Daerah elastis** merupakan daerah yang digunakan dalam desain konstruksi mesin.
- **Daerah plastis** merupakan daerah yang digunakan untuk proses pembentukan material.
- **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.
- Perlu **safety factor (SF)** atau faktor keamanan sesuai dengan kondisi kerja dan jenis material yang digunakan.

5. Modulus Elastisitas (E)

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

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

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

$$\sigma = E \epsilon$$

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.

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

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

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

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

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

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

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

Syarat yang harus dipenuhi dalam pemakaian persamaan di atas adalah sebagai berikut :

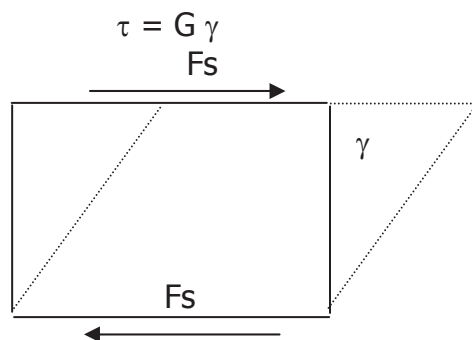
- Beban harus merupakan beban aksial
- Batang harus memiliki penampang tetap dan homogen
- Regang tidak boleh melebihi batas proporsional

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

6. Modulus Geser (G)

Modulus geser merupakan perbandingan antara tegangan geser dengan regangan geser.



γ : sudut geser (radian)

τ : tegangan geser

G : modulus geser

γ : regangan geser

F_s : Gaya geser

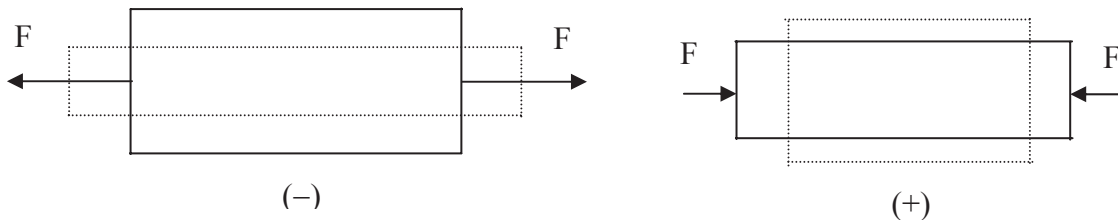
Gambar 2. Gaya Geser

7. Poission 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 (-).

Poission ratio merupakan perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial dalam harga mutlak.

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



Gambar 3. Perubahan Bentuk Akibat Gaya Tarik & Tekan

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.	Steel	0,25 – 0,33
2.	Cast iron	0,23 – 0,27
3.	Copper	0,34 – 0,34
4.	Brass	0,32 – 0,42
5.	Aluminium	0,32 – 0,36
6.	Concrete	0,08 – 0,18
7.	Rubber	0,45 – 0,50

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

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

8. Faktor Konsentrasi Tegangan

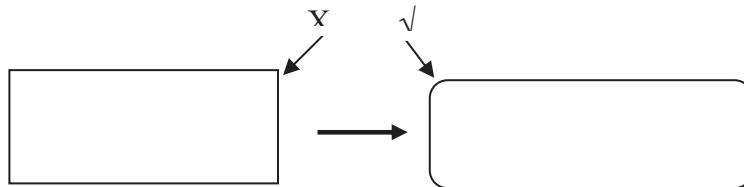
Pembahasan persamaan tegangan di atas diasumsikan bahwa tidak ada penambahan tegangan. Hal ini karena deformasi yang terjadi pada elemen-elemen yang berdampingan dengan tingkat keseragaman yang sama. Jika keseragaman dari luas penampang tidak terpenuhi maka dapat terjadi suatu gangguan pada tegangan tersebut. Oleh karena itu perlu

diperhitungkan harga faktor konsentrasi tegangan (K) yang hanya tergantung pada perbandingan geometris dari struktur / benda / komponen.

Dalam desain dengan menggunakan metode tegangan maksimum, nilai faktor konsentrasi tegangan (K) diperhitungkan dalam persamaan.

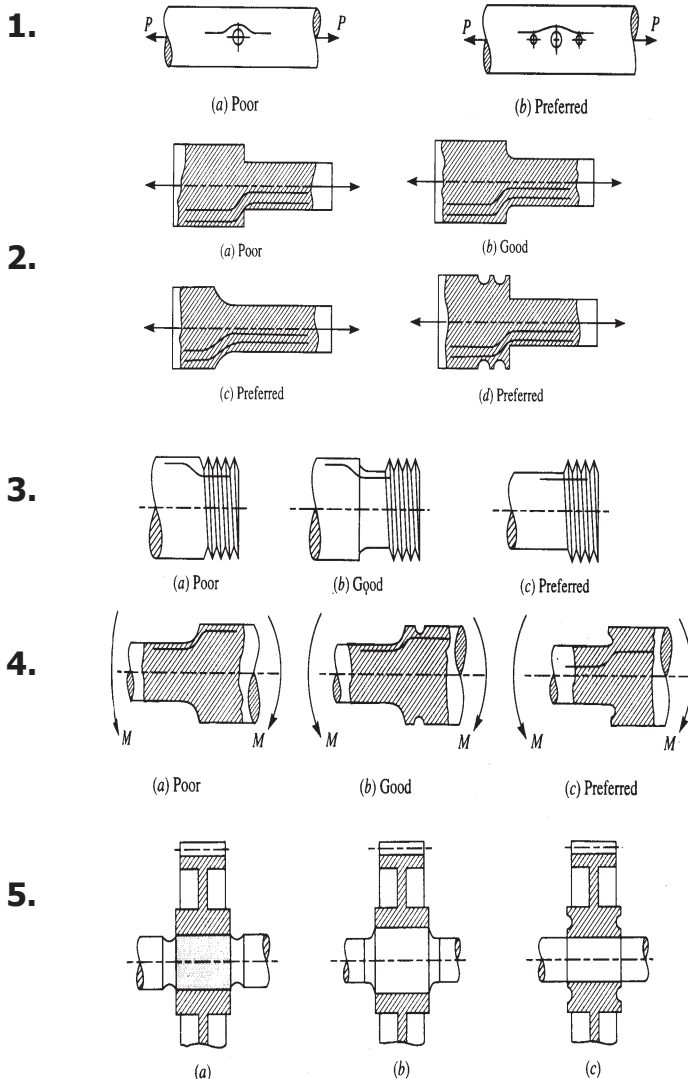
$$\sigma_{\max} = K \frac{F}{A}$$

Untuk mengurangi besarnya konsentrasi tegangan, maka dalam mendesain komponen mesin harus dihindari bentuk-bentuk yang dapat memperbesar konsentrasi tegangan. Sebagai contoh dengan membuat *camfer* dan *fillet*, pada bagian-bagian yang berbentuk siku atau tajam.



Gambar 4. Pembuatan *Fillet*

Contoh lain bentuk-bentuk yang disarankan untuk mengurangi konsentrasi tegangan.



9. Faktor Keamanan (SF)

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.

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

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

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

Faktor keamanan adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi keamanan dari suatu bagian mesin. Misalnya sebuah mesin diberi efek yang disebut sebagai F, diumpamakan bahwa F adalah suatu istilah yang umum dan bisa saja berupa gaya.

Kalau F dinaikkan, sampai suatu besaran tertentu, sedemikian rupa sehingga jika dinaikkan sedikit saja akan mengganggu kemampuan mesin tersebut, untuk melakukan fungsinya secara semestinya. Jika menyatakan batasan ini sebagai batas akhir, harga F sebagai F_u , maka faktor keamanan dapat dinyatakan sebagai berikut: