

# **MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL**

*Dasar Perancangan Mekanikal*

**STENLY TANGKUMAN**

**UNSRAT PRESS**

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	iv
Bab 1 Pendahuluan.....	1
1.1 Tegangan .....	2
1.2 Regangan .....	3
1.3 Kriteria Kekuatan Dalam Perancangan Mekanikal.....	6
1.4 Pokok Pembahasan Dalam Buku Ini.....	7
Bab 2 Beban Aksial & Beban Geser.....	9
2.1 Beban Aksial dan Tegangan Normal.....	9
2.2 Beban Geser dan Tegangan Geser.....	10
Contoh Soal .....	12
Soal Latihan .....	28
Bab 3 Beban Puntir.....	31
3.1 Pendahuluan .....	31
3.2 Rumus Puntiran.....	31
3.3 Perancangan Struktur Berpenampang Lingkaran.....	34
3.4 Deformasi Torsional .....	36
Contoh Soal .....	38
Soal Latihan .....	47
Bab 4 Beban Lentur.....	49
4.1 Pendahuluan.....	49
4.2 Rumus Lenturan Murni .....	50
4.3 Tegangan Geser Vertikal.....	54
Contoh Soal .....	56
Soal Latihan .....	62
Bab 5 Defleksi Balok .....	65
Contoh Soal .....	67
Soal Latihan .....	68
Bab 6 Beban Gabungan .....	69

6.1 Pendahuluan.....	69
6.2 Superposisi dan Batasan-Batasannya .....	70
Contoh Soal .....	72
Bab 7 Transformasi Tegangan .....	79
7.1 Pendahuluan.....	79
7.2 Rumus Transformasi Tegangan .....	80
7.3 Lingkaran Mohr .....	84
Contoh Soal .....	87
Soal Latihan .....	94
Bab 8 Teori Kegagalan .....	95
8.1 Pendahuluan.....	95
8.2 Tegangan Tresca dan Von Mises.....	97
Contoh Soal .....	99
Daftar Pustaka .....	101

## ***BAB 1***

### **PENDAHULUAN**

Cabang ilmu fisika yang mempelajari gerakan, gaya, dan interaksi antara benda-benda fisik adalah mekanika. Mekanika merupakan salah satu cabang ilmu fisika yang paling fundamental dan memiliki penerapan luas dalam berbagai bidang. Mekanika dapat dibagi menjadi dua sub-bidang utama yaitu mekanika klasik atau mekanika Newtonian dan mekanika kuantum. Contoh mekanika Newtonian adalah statika dan dinamika.

Selain itu, mekanika juga dapat dibagi lebih lanjut menjadi beberapa cabang khusus berdasarkan area fokusnya. Beberapa di antaranya adalah mekanika fluida, mekanika terapan, mekanika relativitas dan mekanika bahan. Mekanika bahan mempelajari perilaku mekanis material termasuk elastisitas, plastisitas, kekuatan material, dan deformasi. Mekanika bahan memberikan dasar untuk desain dan analisis struktur.

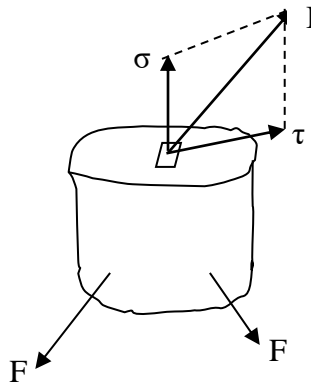
Cabang ilmu mekanika bahan yang fokus pada pemahaman perilaku kekuatan dan deformasi bahan ketika diberikan beban eksternal disebut sebagai mekanika kekuatan material (MKM). Tujuannya adalah untuk menganalisis bagaimana material akan merespons terhadap gaya, tekanan, dan beban lainnya. Cabang ini melibatkan studi tentang sifat mekanis bahan dan bagaimana bahan tersebut dapat digunakan secara aman dan efisien dalam berbagai aplikasi teknik. MKM dalam Bahasa Inggris disebut sebagai *mechanics of materials* atau juga sering disebut *strength of materials*. Metode-metode analitis yang dibahas dalam MKM, dapat menjelaskan tentang kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan kestabilan (*stability*) dari bagian-bagian struktur dengan pembebanan tertentu. Berikut ini akan dibahas konsep tegangan dan regangan yang memegang peranan penting dalam analisis MKM.

## 1.1 Tegangan

Pandanglah gambar 1 di bawah ini, gaya yang bekerja akan terdiri dari bermacam-macam besaran dan arah. Dalam praktek, intensitas gaya ( $I$ ) akan diuraikan dalam arah tegak lurus dan sejajar dengan bidang luasan yang ditinjau. Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (*normal stress*) dan dilambangkan dengan notasi  $\sigma$  (sigma), secara matematis didefinisikan sebagai berikut

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \dots\dots\dots(1.1)$$

$F$  adalah gaya yang bekerja dengan arah tegak lurus terhadap potongan atau luas penampang, sedangkan  $A$  adalah luas penampang tersebut.



Gambar 1.1 Intensitas gaya dan komponennya

Komponen intensitas gaya yang sejajar dengan bidang luasan disebut sebagai tegangan geser (*shear stress*) dan dilambangkan dengan notasi  $\tau$ , secara matematis didefinisikan sebagai berikut (Popov, 1984)

$$\tau = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \dots\dots\dots(1.2)$$

Perlu diingat di sini bahwa gaya  $F$  adalah gaya yang sejajar dengan luas penampang  $A$ .

## 1.2 Regangan

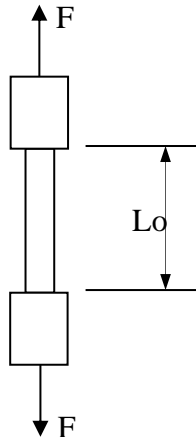
Pandanglah sebuah spesimen (benda uji) pada mesin uji tarik seperti pada gambar 1.2. Pada saat spesimen ditarik dengan gaya  $F$ , maka akan muncul tegangan normal pada spesimen. Selain itu akibat tarikan gaya  $F$  spesimen akan mengalami penambahan panjang, sehingga panjang akhir tidak lagi  $L_0$  melainkan  $L$ . Tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1.1). Perbandingan antara penambahan panjang dan panjang mula-mula disebut **regangan**, dirumuskan sebagai berikut (Popov, 1984).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots( 1.3 )$$

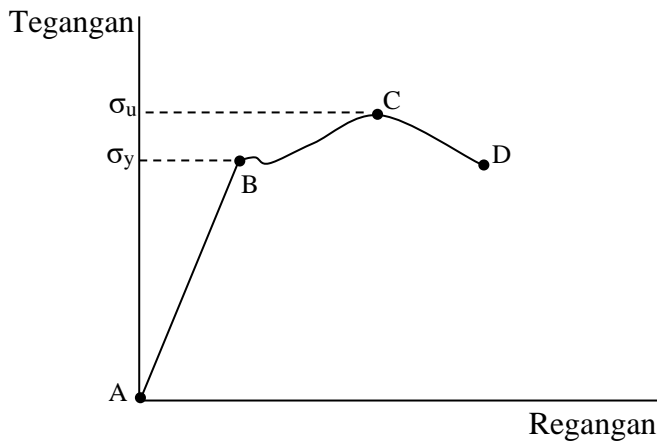
Keterangan rumus di atas yaitu

- $\varepsilon$  = regangan;
- $\Delta L$  =  $L - L_0$  = penambahan panjang;
- $L_0$  = panjang mula-mula;
- $L$  = panjang akhir.

Selama terjadi penarikan pada spesimen akan muncul tegangan dan regangan secara bersamaan sampai pada akhirnya spesimen putus. Fenomena tegangan dan regangan yang terjadi pada spesimen tersebut dapat dilihat pada diagram tegangan-regangan seperti nampak pada gambar 1.3.



*Gambar 1.2 Spesimen uji tarik*



*Gambar 1.3 Diagram Tegangan-Regangan Baja*

Besarnya tegangan normal yang terjadi dapat dihitung sebagai perbandingan gaya  $F$  dengan luas penampang melintang spesimen saat itu. Dari persamaan (1.1) perhitungan tegangan normal tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots( 1.4 )$$

Keterangan rumus di atas yaitu

$\sigma$  = tegangan normal (tarik) yang terjadi;

F = gaya tarik;

A = luas penampang benda (spesimen).

Pada gambar 1.3 terlihat bahwa dari posisi A sampai pada posisi B pertambahan tegangan dan regangan berlangsung secara proporsional. Selang AB adalah daerah elastis, dimana material masih dapat kembali ke bentuk asal setelah beban dihilangkan (sesuai dengan **Hukum Hooke**). Perbandingan antara tegangan dan regangan selalu menghasilkan nilai yang sama atau tetap, fenomena ini analog dengan gradien pada persamaan garis lurus dalam matematika. Nilai tersebut dikenal sebagai **Modulus Young**. Selanjutnya Hukum Hooke dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\sigma = E\varepsilon \dots\dots\dots( 1.5 )$$

Keterangan rumus tersebut adalah

$\sigma$  = tegangan normal (tarik);

E = modulus elastisitas (modulus *Young*);

$\varepsilon$  = regangan.

Tegangan pada titik B disebut sebagai **tegangan luluh** (*yield stress*). Titik B merupakan batas daerah elastis dan daerah plastis, sehingga keadaan setelah titik B adalah daerah plastis. Daerah plastis merupakan suatu keadaan dimana material tidak akan kembali pada bentuk semula walaupun beban atau gaya sudah dihilangkan (terjadi deformasi plastis). Di lain pihak, pada titik C terjadi tegangan terbesar atau disebut sebagai **tegangan ultima** (*ultimate stress*).



### 1.3 Kriteria Kekuatan dalam Perancangan Mekanikal

Kriteria kekuatan dalam perancangan mekanikal merupakan suatu kriteria yang harus dipenuhi agar struktur atau komponen tidak akan mengalami kegagalan saat dioperasikan. Sebuah elemen atau komponen mekanikal harus dirancang agar tidak mengalami kegagalan pada kondisi operasinya. Dengan kata lain elemen atau komponen tersebut harus **kuat** menanggung beban-beban yang dikenakan padanya. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa **besarnya beban yang ada harus berada dalam batas kekuatan komponen yang bersangkutan**.

Pada dasarnya beban-beban yang ditanggung tersebut harus dapat ditahan oleh material/bahan yang mana elemen atau komponen tersebut dibuat, karena setiap komponen memiliki **batas kekuatan** yang sangat dipengaruhi oleh jenis bahan/materialnya. Perubahan dimensi pada komponen pasti terjadi namun harus dijaga agar tidak bersifat permanen, artinya material komponen tersebut harus tetap elastis. Parameter yang dapat dijadikan acuan dalam hal batas kekuatan dan elastisitas bahan adalah **tegangan luluh (*yield strength*)** yang biasa disimbolkan dengan  $\sigma_y$ . Di lain pihak, akibat adanya beban-beban yang bekerja pada elemen/komponen mesin maka **akan terjadi tegangan (*stress*)**, yang tidak lain adalah manifestasi antara beban dan luas penampang. Sehingga **kriteria kekuatan** dapat dituliskan sebagai berikut.

#### **tegangan yang terjadi $\leq$ tegangan luluh**

Dalam kegiatan perancangan merupakan keharusan menambahkan faktor keamanan pada analisis tegangan. Faktor keamanan digunakan dalam desain struktural untuk memastikan bahwa material dan struktur yang digunakan memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang diberikan tanpa kegagalan. Faktor keamanan tersebut ditambahkan pada bagian tegangan luluh, sehingga istilah tegangan luluh dapat

digantikan dengan tegangan ijin bahan. Kriteria kekuatan dalam perancangan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{tegangan yang terjadi} \leq \text{tegangan ijin}$$

Jadi, dapat dikatakan bahwa kriteria kekuatan dalam perancangan adalah **tegangan yang terjadi harus kurang dari atau sama dengan tegangan ijin**. Selanjutnya kriteria kekuatan dapat disimbolkan sebagai berikut.

$$\sigma \leq \sigma_{ijin} \dots\dots\dots(1.6)$$

#### 1.4 Pokok Pembahasan Dalam Buku Ini

Berdasarkan kriteria kekuatan yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, diketahui ada dua faktor penting yaitu **tegangan yang terjadi** dan **tegangan ijin**. Tegangan ijin yang tidak lain adalah tegangan luluh bisa diperoleh dari tabel material yang merupakan hasil-hasil pengujian material (uji tarik) yang dapat diperoleh pada buku-buku teknik mapun secara *online* di *website* perusahaan tertentu. Jadi nilai tegangan luluh bisa diperoleh dari tabel material yang sudah tersedia. Berbeda dengan tegangan ijin, **tegangan yang terjadi (tegangan aktual)** harus bisa dihitung oleh seorang perancang atau insinyur. Cara lain mendapatkan tegangan yang terjadi adalah menggunakan perangkat lunak (*software*) berbasis metode elemen hingga, tetapi cara ini tidak termasuk dalam cakupan pembahasan buku ini.

Agar seorang perancang atau insinyur dapat menghitung tegangan yang terjadi maka diperlukan mempelajari materi mekanika kekuatan material. **Jadi, pokok pembahasan dalam buku ini adalah bagaimana cara menghitung tegangan yang terjadi (tegangan aktual).**

Selanjutnya diketahui bahwa parameter tegangan bergantung pada jenis beban yang terdapat pada struktur atau komponen mesin. Dengan demikian untuk jenis beban berbeda maka tegangan yang terjadi juga akan berbeda. Dengan kata lain jenis beban berbeda maka penggunaan rumus tegangan juga berbeda.

Jenis-jenis beban berdasarkan tegangan yang akan terjadi dapat dibedakan atas empat jenis berikut ini.

- **Beban aksial;**  
Beban aksial akan menghasilkan tegangan normal.
- **Beban geser;**  
Beban geser akan menghasilkan tegangan geser.
- **Beban puntir;**  
Beban puntir akan menghasilkan tegangan geser.
- **Beban lentur;**  
Beban lentur akan menghasilkan tegangan normal dan juga tegangan geser.

Jadi secara umum tegangan yang terjadi dapat dibedakan sebagai tegangan normal dan tegangan geser.

Pada bab-bab selanjutnya akan dijelaskan satu per satu cara menghitung tegangan yang terjadi untuk keempat jenis beban tersebut. Pembahasan akan dilanjutkan dengan kasus adanya dua jenis beban atau lebih, pembahasan ini dikenal sebagai analisis **beban gabungan**. Pada akhirnya, dijelaskan juga kriteria kekuatan untuk kasus beban gabungan tersebut. Perlu diingat bahwa kriteria kekuatan yang telah dijelaskan sebelumnya pada Persamaan/Rumus (1.6) tidak berlaku untuk kasus beban gabungan.