

MEKANIKA BAHAN DALAM TEKNIK MESIN

Zainal Sudirman

Rianto Wibowo

Rahma Nindya Ayu Hapsari

Amalia Ma'rifatul Maghfiroh

Zainuddin

Ludvi Arif Wibowo

Ansarullah Lawi

Ryan Effendi

Luluk Edahwati

Shanti Kumbarasari

Subekti

Iman Pradana A. Assagaf



GET PRESS INDONESIA

MEKANIKA BAHAN DALAM TEKNIK MESIN

Penulis :

Zainal Sudirman
Rianto Wibowo
Rahma Nindya Ayu Hapsari
Amalia Ma'rifatul Maghfiroh
Zainuddin
Ludvi Arif Wibowo
Ansarullah Lawi
Ryan Effendi
Luluk Edahwati
Shanti Kumbarasari
Subekti
Iman Pradana A. Assagaf

ISBN :

Editor : Diana Purnama Sari., S.E M.E

Penyunting : Tri Putri Wahyuni,S.Pd

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Januari 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Mekanika Bahan Dalam Teknik Mesin ini.

Buku ini membahas Pengantar Mekanika Bahan, Tegangan dan Deformasi, Diagram Tegangan-Regangan, Pegas dan Hukum Hooke, Tegangan pada Beban Aksial, Regangan pada Beban Aksial, Analisis Tegangan dan Deformasi, Pengukuran Tegangan dan Deformasi, Tegangan pada Benda Lentur, Regangan pada Benda Lentur, Defleksi dan Gaya Reaksi, Aplikasi Desain.

Proses penulisan buku ini berhasil diselesaikan atas kerjasama tim penulis. Demi kualitas yang lebih baik dan kepuasan para pembaca, saran dan masukan yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan.

Penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyelesaian buku ini. Terutama pihak yang telah membantu terbitnya buku ini dan telah mempercayakan mendorong, dan menginisiasi terbitnya buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi masyarakat Indonesia.

Padang, Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1 PENGANTAR MEKANIKA BAHAN	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Tujuan Mekanika Bahan.....	1
1.2.1 Stress (Tegangan).....	1
1.2.2 Strain (Regangan).....	2
1.2.3 Hukum Hooke	3
1.2.4 Modulus Elastisitas (Modulus Young)	3
1.2.5 Torsion (Torsi)	4
1.2.6 Kegagalan Material	6
1.2.6 Fatigue (Kelelahan)	7
1.2.7 Deformasi Plastis	8
DAFTAR PUSTAKA.....	10
BAB 2 TEGANGAN DAN DEFORMASI	11
2.1 Pendahuluan	11
2.2 Tegangan	12
2.2.1 Tegangan Normal	12
2.2.2 Tegangan Geser	15
2.3 Deformasi.....	16
2.3.1 Deformasi Elastis	17
2.3.2 Deformasi Plastis	18
DAFTAR PUSTAKA.....	21
BAB 3 DIAGRAM TEGANGAN-REGANGAN	23
3.1 Pendahuluan	23
3.2 Tegangan dan regangan	23
3.2.1 Tegangan.....	23
3.2.2 Regangan.....	24
3.3 Diagram Tegangan Regangan	25
3.4 Pengujian Tarik.....	26
3.5 Bahan Liat dan Bahan Getas.....	28
3.6 Hukum Hooke	28
3.7 Modulus Elastisitas	28

3.8 Titik Leleh atau Titik Mulur	29
3.9 Kekuatan Mulur	29
3.10 Batas Elastis	30
3.11 Deformasi Plastis	30
3.12 Batas proporsional	31
3.13 Tegangan maksimum	31
3.14 Modulus of Resilience	31
3.15 Modulus of Toughness	31
DAFTAR PUSTAKA	32
BAB 4 PEGAS DAN HUKUM HOOKE	33
4.1 Tegangan dan Regangan	33
4.1.1 Tegangan	33
4.1.2 Regangan	34
4.1.3 Hubungan Tegangan dan Regangan	36
4.1.4 Kurva Tegangan dan Regangan	40
4.2 Elastisitas dan Plastisitas	43
4.2.1 Elastisitas	43
4.2.2 Plastisitas	44
4.3 Gaya Pegas	45
4.2.1 Susunan Pegas Seri	46
4.2.2 Susunan Pegas Paralel	47
DAFTAR PUSTAKA	48
BAB 5 TEGANGAN PADA BEBAN AXIAL	49
5.1 Tegangan	49
5.2 Tegangan Akibat Berat Sendiri	52
5.3 Contoh Soal	52
DAFTAR PUSTAKA	58
BAB 6 REGANGAN PADA BEBAN AKSIAL	59
6.1 Regangan	59
6.2 Regangan Normal Pada Beban Aksial	65
DAFTAR PUSTAKA	71
BAB 7 ANALISIS TEGANGAN DAN DEFORMASI	73
7.1 Pendahuluan	73
7.2 Prinsip-prinsip Analisis Stress dan Deformasi	74
7.2.1 Analisis Gaya dan Momen	74
7.2.2 Representasi Stress pada Elemen Stress	75
7.2.3 Jenis-jenis Analisis Stress dan Deformasi	75

7.3 Analisis Tegangan	76
7.3.1 Tegangan Normal	76
7.3.2 Tegangan Geser	77
7.3.3 Tegangan Kombinasi	77
7.3.4 Contoh Soal	77
7.4 Analisis Deformasi	78
7.4.1 Deformasi Normal	78
7.4.2 Deformasi Geser	79
7.4.3 Deformasi Kombinasi	79
7.4.4 Contoh Soal	79
7.5 Analisis Torsional	80
7.5.1 Beban Torsional	80
7.5.2 Kecepatan Rotasi dan Daya	80
7.5.3 Hubungan antara Daya, Torsional, dan Kecepatan Rotasi	81
7.6 Beberapa Contoh Kasus	82
7.7 Kesimpulan	83
DAFTAR PUSTAKA	85
BAB 8 PENGUKURAN TEGANGAN DAN DEFORMASI	89
8.1 Pendahuluan	89
8.2 Metode Pengukuran Tegangan	90
8.2.1 Pengukuran Tegangan <i>Uniaxial</i>	90
8.2.2 Pengukuran Tegangan <i>Multiaxial</i>	91
8.3 Pengukuran Tegangan	92
8.3.1 Tegangan Tarik	92
8.3.2 Tegangan Tekan	95
8.3.3 Tegangan Geser	96
8.4 Pengukuran Deformasi	97
8.4.1 Deformasi Linier	97
8.4.2 Deformasi Volumetrik	98
8.5 Alat Pengukur Tegangan dan Deformasi	100
8.5.1 <i>Strain Gauge</i>	100
8.5.2 <i>Extensometer</i>	101
8.5.3 Metode Optik	103
DAFTAR PUSTAKA	105
BAB 9 TEGANGAN PADA BENDA LENTUR	107
9.1 Pendahuluan	107

9.2 Tegangan dan Regangan	108
9.3 Diagram Tegangan-Regangan.....	111
9.4 Elastisitas.....	116
9.5 Modulus Elastisitas atau Modulus Young.....	117
DAFTAR PUSTAKA.....	123
BAB 10 REGANGAN PADA BENDA LENTUR.....	125
10.1 REGANGAN	125
10.1.1 Regangan Normal.....	127
10.1.2 Regangan Geser	128
10.1.3 Regangan Volumetric	128
10.1.4 Regangan pada Tegangan Biaksial serta Triaksial	129
10.2 Regangan Pada Benda Lentur	131
10.3 Pengujian Kelenturan.....	133
10.3.1 Kekuatan Lentur.....	133
10.3.2 Kuat Leleh Offset Lentur.....	133
10.3.3 Regangan Lentur.....	133
10.3.4 Modulus Lentur.....	134
DAFTAR PUSTAKA.....	135
BAB 11 GAYA REAKSI DAN DEFLEKSI.....	137
11.1 Pendahuluan	137
11.2 Gaya Reaksi dan Defleksi	137
11.2.1 Gaya Reaksi.....	137
11.2.2 Defleksi	144
DAFTAR PUSTAKA.....	148
BAB 12 APLIKASI DESAIN.....	149
12.1 Pendahuluan	149
12.2 Computer Aided Design (CAD).....	149
12.3 <i>Computer Aided Manufacturing</i> (CAM)	152
12.4 Software CAD/CAM	154
12.4.1 Auto Cad.....	154
12.4.2 Solidworks	156
12.4.2 Software CAM	157
DAFTAR PUSTAKA.....	159
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Arah vektor tegangan normal dan tegangan geser	12
Gambar 2.3. Tegangan Normal Tarik / Positif.....	14
Gambar 2.4. Tegangan Normal Tekan / Negatif	14
Gambar 2.5. Tegangan Normal sentris	14
Gambar 2.6. Tegangan Normal Eksentris.....	15
Gambar 2.7. Tegangan Geser	15
Gambar 2.8. Daerah elastis dan plastis	18
Gambar 2.9. Nilai Kekuatan Tarik (M)	19
Gambar 2.10. Zona keuletan bahan.....	20
Gambar 3.1. Diagram Tegangan Regangan Baja	25
Gambar 3.2. Ilustrasi pengujian tarik baja.....	27
Gambar 3.3. Diagram kondisi perpindahan kondisi plastis ke elastis.....	30
Gambar 4.1. Tegangan Normal (Normal Stress).....	33
Gambar 4.2. Diagram Tegangan-Regangan	38
Gambar 4.3. Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal.....	40
Gambar 4.4. Kurva <i>True stress</i> dan <i>True strain</i>	41
Gambar 4.5. Jenis-jenis Kurva <i>Stress – Strain</i>	43
Gambar 4.6. Garis Modulus.....	44
Gambar 4.7. Pegas yang mengalami tegangan	45
Gambar 4.8. Susunan pegas seri.....	46
Gambar 4.9. Susunan pegas paralel.....	47
Gambar 5.1. Distribusi Tegangan.....	50
Gambar 6.1. (a) Berbagai jenis respons regangan terhadap tegangan yang diberlakukan di mana T_g = temperatur transisi kaca dan T_m = titik leleh. (b) Relaksasi tegangan pada material viskoelastis. Perhatikan sumbu vertikal adalah tegangan. Regangan konstan	61
Gambar 6.2. Diagram Regangan.....	62
Gambar 6.3. Diagram Tegangan – Regangan Material Logam.....	63

Gambar 6.4. Diagram Tegangan – Regangan Material Polimer	64
Gambar 6.5. Pertambahan Panjang (Deformasi) Pada Batang Dengan Beban Aksial	65
Gambar 6.6. Diagram Beban Deformasi	66
Gambar 6.7. Luas Penampang Batang Berbeda (2A)	67
Gambar 6.8. Batang Lebih Panjang (2L)	68
Gambar 6.9. Deformasi Dengan Beban Aksial Pada Luas Penampang Yang Berbeda	69
Gambar 7.1. Tekanan tarik pada batang bulat	77
Gambar 8.1. Bentuk spesimen uji tarik sesuai DIN 50125	93
Gambar 8.2. Ilustrasi pengujian tarik	93
Gambar 8.3. Skematis mesin uji tarik	94
Gambar 8.4. Ilustrasi pengujian tekan	95
Gambar 8.5. Baut dengan tegangan geser tunggal	96
Gambar 8.6. <i>Strain gauge</i>	100
Gambar 8.7. <i>Extensometer</i>	102
Gambar 9.1. (A) Batang yang mengalami defleksi (kekuatan bahan), (B) batang yang mengalami penekukan (kestabilan bahan)	108
Gambar 9.2. Batang yang mengalami gaya aksial tarik	110
Gambar 9.3. Tegangan pada batang	111
Gambar 9.4. Kurva Tegangan - Regangan dari Baja Struktural	112
Gambar 9.5. Hubungan Tegangan Vs Regangan dari Baja KarbonMedium	114
Gambar 9.6. Hubungan Tegangan Vs Regangan	116
Gambar 9.7. Hubungan Tegangan Vs Regangan dari Baja Campuran dari Baja Karbon Tinggi	116
Gambar 9.8. Hubungan antara Tegangan Vs Regangan dari Besi Kasar	115
Gambar 9.9. Hubungan Tegangan Vs Regangan dari Karet	116
Gambar 9.10. Batang penggaris yang dijepit dan ujung yang lain diayunkan	116

Gambar 10.1. Hubungan antara Tegangan (Stress) dan Regangan (Strain).....	125
Gambar 10.2. Diagram skema tegangan (stress) – regangan (strain) elastis non linier.....	126
Gambar 10.3. Pengujian Tarik.....	127
Gambar 10.4. Tegangan geser	128
Gambar 10.5. Tegangan biaksial.....	130
Gambar 10.6. Tegangan triaksial.....	131
Gambar 10.7. Pegas	132
Gambar 10.8. Pengujian Modulus Bahan Struktural ASTM E111	134
Gambar 11.1. Sebuah beban terdistribusi merata	132
Gambar 11.2. Sebuah beban terdistribusi merata	132
Gambar 11.3. Sebuah beban terdistribusi merata	140
Gambar 11.4. Sebuah beban terdistribusi merata	141
Gambar 11.5. Sebuah beban terdistribusi merata	141
Gambar 11.7. Sebuah beban terdistribusi merata	142
Gambar 11.8. Balok dengan beban seragam	145
Gambar 11.9. defleksi dan sudut defleksi pada balok dengan beban seragam persamaan diferensial kurva defleksi.....	145
Gambar 12.1. Contoh Gambar 2 Dimensi.....	150
Gambar 12.2. Contoh Gambar 3 Dimensi.....	151
Gambar 12.3. Proses simulasi dan hasil simulasi CAM part Hinge Elevator	153
Gambar 12.4. Gambar (a) Loading Library File AutoCAD 2018 (b) Jendela Utama AutoCAD 2018.....	155
Gambar 12.4. Contoh Gambar tampilan pada SOLIDWORKS	157
Gambar 12.5. Perusahaan Software CAM.....	158

DAFTAR TABEL

Tabel 9.1. Modulus elastisitas bahan.....	118
Tabel 10.1. Koefisien Elastisitas volume (K), Modulus Young (E),Modulus Kekakuan (μ) dan Perbandingan Poisson (ν) dari Benda Padat Isotropik.....	129
Tabel 10.2. Modulus Young.....	132
Tabel 11.1. Jenis-Jenis titik tumpu	138

BAB 1

PENGANTAR MEKANIKA BAHAN

Oleh Zainal Sudirman

1.1 Pendahuluan

Mekanika Bahan adalah cabang ilmu rekayasa yang mempelajari perilaku deformasi dan kekuatan material di bawah beban eksternal. Dalam pengembangan struktur dan komponen material, pemahaman mekanika bahan sangat penting untuk memastikan kehandalan dan keamanan produk (Mansyur, 2020). Berikut adalah pengantar singkat tentang konsep dasar mekanika bahan.

Tujuan mekanika bahan ialah menentukan tegangan dan regangan pada struktur suatu komponen akibat beban yang bekerja. Maka mekanika bahan adalah sebuah materi dasar yang begitu banyak pada ilmu teknik (Gere et al 2000).

1.2 Tujuan Mekanika Bahan

Tujuan mekanika bahan ialah menentukan tegangan dan regangan pada struktur suatu komponen akibat beban yang bekerja. Maka mekanika bahan adalah sebuah materi dasar yang begitu banyak pada ilmu teknik (Gere et al 2000). Berikut adalah beberapa konsep dasar yang perlu dipahami dalam pengantar mekanika bahan untuk teknik mesin:

1.2.1 Stress (Tegangan)

Stress adalah gaya yang bekerja pada suatu material per satuan luas. tegangan adalah gaya dalam dibagi dengan luas penampang di mana gaya itu bekerja (Asroni, 2015). Terdapat dua jenis stress utama: tegangan normal (normal stress) dan tegangan geser (*shear stress*).

Tegangan Normal (σ): Tegangan normal adalah gaya per unit area yang tegak lurus terhadap suatu bidang dalam bahan.

Dinyatakan dalam satuan tekanan seperti Pascals (Pa) atau psi (pound per square inch).

Tegangan Geser (τ): Tegangan geser adalah gaya per unit area yang sejajar dengan bidang atau permukaan bahan. Ini juga dinyatakan dalam satuan tekanan seperti Pascals atau psi.

1.2.2 Strain (Regangan)

Strain mengukur perubahan bentuk suatu material. Regangan dapat bersifat normal (normal strain) atau geser (shear strain). Terdapat beberapa jenis regangan yang umumnya digunakan untuk menganalisis perilaku bahan. Dalam satuan internasional, strain memiliki lambang ε dengan satuan mm/mm atau % (M.S Baruqi 2009).

Regangan Lateral (ε): Regangan lateral mengukur perubahan lebar atau diameter suatu bahan sebagai akibat beban yang diterapkan. Regangan lateral (ε) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta D}{D_0}$$

Di mana ΔD adalah perubahan lebar atau diameter, dan D_0 adalah lebar atau diameter awal.

Regangan Aksial (ε): Regangan aksial mengukur perubahan panjang suatu bahan sepanjang arah yang diterapkan beban. Regangan aksial (ε) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Di mana ΔL adalah perubahan panjang, dan L_0 panjang awal.

Regangan Geser (γ): Regangan geser mengukur deformasi yang terjadi sepanjang bidang geser dalam bahan akibat gaya geser. Regangan geser (γ) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\gamma = \tan \theta$$

di mana θ adalah sudut geser.

Regangan Volumetrik (ε_V): Regangan volumetrik mengukur perubahan volume suatu bahan. Jika ε_1 , ε_2 , ε_3 adalah regangan aksial dalam tiga arah ortogonal, regangan volumetrik dapat dihitung sebagai:

$$\varepsilon_V = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

atau menggunakan perubahan volume relatif:

$$\varepsilon_v = - \frac{\Delta V}{V_0}$$

di mana ΔV adalah perubahan volume, dan V_0 adalah volume awal.

1.2.3 Hukum Hooke

Hukum Hooke menyatakan bahwa regangan (σ) suatu material linear berbanding lurus dengan stress yang dikenakan, selama material tersebut berada dalam batas elastisitasnya (ε). Hukum Hooke memberikan gambaran tentang perilaku deformasi elastis suatu bahan di bawah beban. Prinsip ini dinamakan sesuai dengan ilmuwan Inggris, Robert Hooke, yang pertama kali merumuskan konsep ini. Hukum Hooke untuk deformasi aksial (linear elastis) dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

di mana:

σ adalah tegangan (stress),

E adalah modulus elastisitas (modulus Young atau modulus elastisitas longitudinal),

ε adalah regangan (strain).

Penting untuk dicatat bahwa hukum Hooke hanya berlaku dalam rentang deformasi elastis suatu bahan. Jika tegangan melewati batas elastis, deformasi yang dihasilkan mungkin bersifat plastis, dan bahan tidak akan kembali ke bentuk asalnya setelah beban dihilangkan.

Hukum Hooke memberikan dasar yang kuat dalam analisis elastisitas bahan dan digunakan secara luas dalam rekayasa struktur, desain material, dan berbagai aplikasi teknik lainnya.

1.2.4 Modulus Elastisitas (Modulus Young)

Modulus elastisitas mengukur seberapa kaku atau elastis suatu material. Modulus Young adalah parameter yang digunakan untuk material yang mengalami tegangan normal. Modulus Young (E) dinyatakan sebagai rasio antara tegangan aksial (σ) dan regangan aksial (ε). jika regangan sudah diketahui maka besarnya modulus elastisitas (E) (Z sudirman, 2020).

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

Di bawah hukum Hooke, ini adalah karakteristik material elastis linear, yang berarti bahwa hubungan antara tegangan dan regangan adalah proporsional dan reversible dalam rentang elastis material. Para ahli mekanika bahan mengakui pentingnya Modulus Young sebagai indikator kaku elastisitas suatu material. Beberapa konsep kunci terkait Modulus Young meliputi:

Robert Hooke: Robert Hooke sendiri adalah seorang ilmuwan dan insinyur pada abad ke-17 yang merumuskan hukum elastisitas (Hukum Hooke) yang menyebutkan bahwa regangan suatu material proporsional dengan tegangan yang dihasilkan.

Thomas Young: Modulus Young dinamai sesuai dengan ilmuwan Inggris, Thomas Young, yang pada awal abad ke-19 secara khusus menyelidiki hubungan antara tegangan dan regangan dalam bahan elastis linear. Young memperkenalkan konsep ini dan memainkan peran penting dalam mengembangkan pemahaman kita tentang perilaku material.

Pengakuan Industri dan Ilmiah: Modulus Young adalah parameter yang penting dalam karakterisasi sifat mekanik bahan, dan penentuan nilai E sering dilakukan dalam uji laboratorium untuk berbagai material. Informasi ini penting dalam desain struktur, rekayasa material, dan manufaktur.

Modulus Young dapat bervariasi antara berbagai jenis material. Misalnya, logam umumnya memiliki Modulus Young yang tinggi, menunjukkan kekakuan yang baik, sementara material yang lebih elastis seperti karet memiliki Modulus Young yang lebih rendah. Informasi ini kritis dalam memilih material untuk aplikasi tertentu dan merancang struktur yang efisien.

1.2.5 Torsion (Torsi)

Torsi terjadi ketika suatu batang berputar akibat aplikasi gaya torsi. Mekanika bahan juga mempelajari respons material terhadap torsi. Beban torsi ini menyebabkan elemen-elemen dalam bahan mengalami deformasi geser dan rotasi sepanjang panjangnya. Torsi biasanya terjadi pada elemen struktural seperti poros, batang silinder, atau elemen-elemen lain yang mengalami putaran. Berikut

adalah beberapa konsep penting terkait dengan torsi dalam mekanika bahan:

Gaya Torsi (T): Gaya torsi merupakan gaya yang menciptakan rotasi pada suatu objek. Satuan torsi adalah Newton-meter (Nm) atau pound-foot (lb-ft).

Regangan Geser (τ): Regangan geser merupakan perubahan bentuk yang terjadi sepanjang bidang geser suatu bahan. Regangan geser dihitung sebagai rasio perubahan sudut rotasi terhadap panjang elemen. Rumus regangan geser (τ) dapat ditulis sebagai:

$$\tau = \frac{T \cdot r}{I}$$

di mana T adalah gaya torsi, r adalah jari-jari elemen, dan I adalah momen inersia elemen terhadap sumbu rotasi.

Momen Inersia (I): Momen inersia merupakan ukuran distribusi massa dari suatu objek terhadap sumbu rotasi. Dalam konteks torsi, momen inersia (I) digunakan untuk mengukur resistensi suatu elemen terhadap rotasi. Semakin besar momen inersia, semakin besar resistensi terhadap rotasi. Momen ini juga disebut Momen

Gaya Pertama. Jika momen ini bekerja pada suatu elemen luas dA dan dipengaruhi oleh tekanan yang didistribusikan (σ), maka produk gaya (F) (Darmanto dkk 2018).

Deformasi Geser Spiral: Deformasi geser yang terjadi pada torsi sering kali berbentuk spiral atau heliks sepanjang panjang elemen struktural. Pola deformasi ini dapat dijelaskan menggunakan teori elastisitas.

Batas Elastis Torsi (T_{yield}) : Analog dengan batas elastis pada tegangan-regangan, batas elastis torsi menunjukkan titik di mana bahan mengalami deformasi plastis permanen setelah melewati batas elastis.

Aplikasi dalam Desain Mesin: Torsi memiliki peran krusial dalam desain mesin dan sistem permesinan. Poros mesin, roda gigi, dan elemen-elemen lain yang mengalami rotasi seringkali harus dirancang untuk menanggung beban torsi yang berbeda.

1.2.6 Kegagalan Material

Kegagalan akibat beban siklik atau berulang pada material, yang dapat mempengaruhi komponen mesin dalam jangka waktu tertentu. Kegagalan dapat terjadi karena berbagai alasan, dan pemahaman tentang mekanisme kegagalan material sangat penting dalam rekayasa untuk menghindari kegagalan yang tidak diinginkan. Berikut adalah beberapa jenis kegagalan material yang umum:

Kegagalan Tarik (*Tensile Failure*): Terjadi ketika material mengalami tegangan tarik yang melebihi kekuatan tarik maksimumnya. Kegagalan ini dapat terjadi dalam bentuk retakan, patah, atau perpanjangan permanen pada material.

Kegagalan Geser (*Shear Failure*): Terjadi ketika material mengalami tegangan geser yang melebihi kekuatan geser maksimumnya. Kegagalan ini sering terkait dengan pergeseran relatif antar lapisan material.

Kegagalan Tekuk (*Bending Failure*): Terjadi ketika material mengalami momen tekuk yang melebihi kapasitas tekuknya. Bisa berupa patah atau deformasi permanen pada daerah yang mengalami tekanan atau regangan tinggi.

Kegagalan Lontar (*Torsional Failure*): Terjadi ketika poros atau elemen struktural mengalami torsi yang melebihi kapasitas torsi materialnya. Kegagalan ini dapat menyebabkan perputaran tak terkontrol atau patah pada elemen struktural.

Kegagalan Kelelahan (*Fatigue Failure*): Terjadi ketika material mengalami beban siklik berulang (*cycling loading*) dan akhirnya pecah atau mengalami retakan. Pada umumnya terjadi pada jumlah siklus beban yang tinggi meskipun amplitudo beban relatif rendah.

Kegagalan Kekakuan (*Stiffness Failure*): Terjadi ketika material mengalami deformasi permanen atau penurunan kekakuan yang signifikan akibat beban yang diterapkan berulang kali.

Kegagalan Korosi (*Corrosion Failure*): Terjadi ketika material mengalami degradasi struktural akibat reaksi kimia dengan lingkungannya. Korosi dapat menyebabkan penipisan material, pembentukan celah, dan akhirnya kegagalan struktural.

Kegagalan Puntir (*Buckling Failure*): Terjadi ketika struktur atau elemen tertentu mengalami kegagalan karena momen buckling yang melebihi kapasitas strukturalnya.

Kegagalan material seringkali melibatkan kombinasi beberapa jenis beban atau beban yang kompleks, dan sering kali terjadi secara bertahap seiring waktu. Analisis kegagalan dan pemahaman mekanisme kegagalan sangat penting untuk mengetahui hal-hal yang mempengaruhi efisiensi kerja suatu material (Karimah et al., 2022). Metode uji material dan simulasi numerik seperti analisis elemen hingga digunakan untuk memahami dan memprediksi perilaku kegagalan material dalam berbagai kondisi beban.

1.2.6 Fatigue (Kelelahan)

Kelelahan (fatigue) dalam mekanika bahan merupakan kegagalan material akibat beban siklik atau beban yang berulang-ulang. Meskipun tegangan maksimum yang diterapkan pada suatu bahan mungkin berada di bawah batas tarik atau geser maksimumnya, material masih bisa mengalami kegagalan karena beban siklik yang berulang melebihi kapasitas kelelahan material tersebut. Kelelahan dapat menyebabkan pecah atau terjadinya retakan mikroskopis yang dapat berkembang menjadi retakan makroskopis yang lebih besar seiring waktu. Beberapa aspek penting terkait dengan kelelahan dalam mekanika bahan meliputi:

Siklus Beban: Kelelahan terjadi karena siklus beban yang berulang-ulang pada suatu material. Siklus beban dapat berupa beban tarik, beban geser, atau kombinasi berbagai beban.

Retakan Inisiasi: Kelelahan sering dimulai dengan retakan mikroskopis di dalam material. Retakan ini biasanya terjadi pada lokasi tertentu seperti permukaan, cacat material, atau sudut tajam.

Retakan Perluasan: Retakan yang telah dimulai akan berkembang seiring dengan jumlah siklus beban. Jika kelelahan terus berlanjut, retakan dapat berkembang hingga mencapai ukuran yang cukup besar sehingga menyebabkan kegagalan material.

Batasan Kekuatan: Material yang mengalami kelelahan biasanya memiliki batas kekuatan yang lebih rendah dibandingkan

dengan kekuatan tarik atau geser maksimumnya. Batas ini dikenal sebagai batas kelelahan atau batas kekuatan kelelahan.

Faktor Pengaruh: Faktor-faktor seperti geometri komponen, kualitas permukaan, dan lingkungan penggunaan dapat mempengaruhi kelelahan material. Permukaan kasar, cacat permukaan, atau lingkungan korosif dapat mempercepat retakan dan kegagalan.

Manajemen Kelelahan: Manajemen kelelahan melibatkan pemodelan, prediksi, dan pengendalian kelelahan dalam struktur dan komponen. Teknik-teknik seperti analisis elemen hingga dan uji kelelahan membantu dalam merancang komponen yang tahan lama dan andal. Pemahaman dan manajemen kelelahan menjadi sangat penting untuk mencegah kegagalan tak terduga dan untuk memastikan keandalan komponen dalam aplikasi yang melibatkan beban siklik.

1.2.7 Deformasi Plastis

Ketika material melewati batas elastisitasnya, deformasi yang tidak dapat pulih secara penuh terjadi, dan ini dikenal sebagai deformasi plastis. Ketika bahan mengalami deformasi plastis, ikatan antar atom atau molekul dalam bahan tersebut mengalami perubahan permanen. Deformasi plastis dapat terjadi dalam berbagai macam bahan, termasuk logam, plastik, dan keramik (Sukanto *et al*, 2023). beberapa terkait dengan deformasi plastis:

Batas Elastis: Deformasi plastis biasanya dimulai setelah batas elastis suatu material tercapai. Batas elastis adalah titik di mana material mulai mengalami deformasi yang dapat pulih (elastisitas).

Perubahan Struktur Kristal: Deformasi plastis terkait erat dengan perubahan struktur kristal dalam material. Ketika material mengalami deformasi plastis, terjadi pergeseran atau perubahan posisi atom-atom dalam struktur kristal.

Pembentukan Dislokasi: Dislokasi adalah cacat kristal atau ketidakaturan dalam susunan atom. Deformasi plastis sering kali melibatkan pembentukan dan pergerakan dislokasi.

Tegangan Plastis: Tegangan plastis adalah tegangan di luar batas elastis, di mana material mengalami deformasi plastis.

Tegangan ini dapat diukur setelah beban dihilangkan dan deformasi plastis terjadi.

Strain Plastis: Strain plastis adalah regangan yang bersifat permanen. Ini terjadi setelah batas elastis terlampaui, dan material tidak kembali ke bentuk asalnya.

Pengaruh Suhu: Suhu juga dapat mempengaruhi deformasi plastis. Pada umumnya, material menjadi lebih malleable (mudah dideformasi) pada suhu yang lebih tinggi.

Aplikasi dalam Manufaktur: Deformasi plastis adalah fenomena yang penting dalam proses manufaktur seperti pengecoran logam, pembentukan logam, dan proses pembentukan lainnya.

Deformasi plastis umumnya dihindari dalam struktur yang membutuhkan kekakuan dan integritas bentuk yang tinggi, seperti dalam rekayasa struktural. Namun, dalam beberapa konteks manufaktur, deformasi plastis dapat diarahkan dan dimanfaatkan untuk membentuk dan membentuk material sesuai kebutuhan. Pemahaman deformasi plastis adalah kunci dalam merancang material dan struktur yang dapat menahan beban dan mengatasi tantangan deformasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A. 2015. Stress Analysis Pada Stand Shock Absorbers Sepeda Motor Dengan Menggunakan Software Inventor 2015. Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 4(1).
- Baruqi, M. S., Sholihah, S. Z., Sugiharto, A., Martonio, B. C., Sulthoni, A., Supriyanto, D., ... & Suryaningrum, W. 2009. Pengukuran Tensile Strength, Compressive Strength Dan Modulus Elastisitas Benda Padat. Universitas Airlangga. Surabaya.
- Darmanto, D., Wijaya, D. A., & Syafa'at, I. 2018. Analisis Momen Lentur Material Aluminium Dengan Variasi Momen Inersia Dan Beban Tekan. Majalah Ilmiah Momentum, 10(2).
- Gere, J. M., Timoshenko, S. P., Hardani, W., & Suryoatmono, B. 2000. Mekanika bahan. Erlangga.
- Karimah, A. L., Mawarda, M. I., Pauru', W., Ramadhan, Y., & Amalia, Y. 2022. Analisis Kegagalan Material Pada Sayap Pesawat Terbang (Review). *Jumantara Jurnal Manajemen Dan Teknologi Rekayasa*, 1(1), 26. <https://doi.org/10.28989/jumantara.v1i1.1266>
- Sudirman, Z. 2020. OPTIMASI PENGARUH PERENDAMAN TERHADAP SIFAT MEKANIS KOMPOSIT BERPENGUAT ANYAMAN STRIP BAMBU PETUNG (Dendrocalamus Asper) (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Sukanto, K. et al. 2023. 'Material Teknik', in. GET PRESS INDONESIA, p. 2023.

BAB 2

TEGANGAN DAN DEFORMASI

Oleh Rianto Wibowo

2.1 Pendahuluan

Beban luar (*external forces*) yang bekerja pada sebuah sistem struktur akan menimbulkan terjadinya Gaya Dalam (*internal forces*) pada elemen-elemen penyusun struktur tersebut. Keberadaan Gaya Dalam fungsinya adalah menahan beban pada struktur, sehingga memenuhi hukum keseimbangan (*equilibrium*).

Pertambahan besarnya Gaya Dalam berakibat pada bertambahnya Tahanan Dalam elemen struktur, dan akan bertambah hingga mencapai nilai maksimum. Bila penambahan beban berlangsung terus menerus, maka kegagalan akan terjadi pada elemen struktur.

Batas kemampuan elemen struktur dalam memberikan Tahanan Dalam untuk melawan besarnya beban luar yang bekerja disebut dengan Kekuatan Struktur. Besarnya kekuatan struktur sangat tergantung pada jenis material, sistem struktur, jenis pembebanan, temperatur, dan waktu pembebanan.

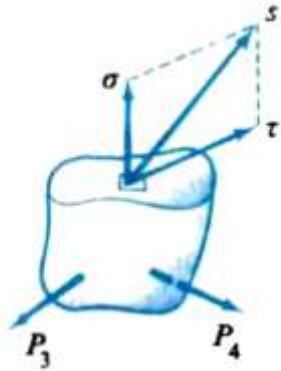
Kriteria nilai kekuatan struktur juga berhubungan dengan besarnya gaya interaksi antar partikel penyusun material, yaitu besarnya gaya interaksi berupa gaya tarik-menarik atau gaya tolak-menolak antar atom-atom penyusun material yang digunakan pada elemen struktur sebagai hasil dari perubahan jarak antar atom (*interatomic spacing*) akibat bekerjanya gaya luar.

Analisis kekuatan struktur juga harus memperhatikan besarnya Intensitas Gaya Dalam yang muncul guna menahan adanya beban luar yang bekerja terhadap elemen struktur. Besarnya Intensitas Gaya Dalam pada setiap titik pada bahan disebut dengan istilah tegangan, dan nilai tegangan maksimum pada saat terjadinya kegagalan disebut sebagai kekuatan bahan. (Popov, 2010)

2.2 Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai *besarnya intensitas Gaya Dalam pada elemen struktur merupakan reaksi atas adanya deformasi yang timbul akibat adanya beban luar*, umumnya intensitas Gaya Dalam ini arahnya miring pada bidang potongan.

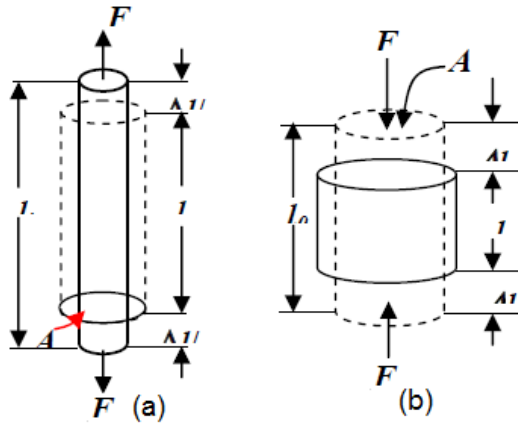
Pada bidang teknik, vektor intensitas Gaya Dalam diuraikan menjadi dua vektor gaya dengan arah tegak lurus dan sejajar terhadap irisan bidang yang dianalisis. Penguraian vektor intensitas gaya ini seperti terlihat pada Gambar 2.1, sehingga didapatkan tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ).



Gambar 2.1. Arah vektor tegangan normal dan tegangan geser
(Sumber : Popov,2010)

2.2.1 Tegangan Normal

Tegangan Normal didefinisikan sebagai *besarnya intensitas gaya yang bekerja pada arah normal atau arah tegak lurus terhadap bidang irisan yang mengalami tegangan*, dan disimbolkan dengan σ (sigma). Jika gaya-gaya luar yang bekerja pada suatu batang sejajar terhadap sumbu utamanya dan potongan penampang batang tersebut konstan, maka tegangan internal yang dihasilkan memiliki arah sejajar terhadap sumbu tersebut. Gaya-gaya seperti itu selanjutnya disebut dengan Gaya Aksial, dan tegangan yang dihasilkan disebut Tegangan Aksial.



Gambar 2.2. Tegangan normal (Sumber : Angry,2021)

Besarnya tegangan normal dihitung menurut persamaan :

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

dimana F = beban atau gaya pada benda (N)

A = Luas penampang benda (m^2)

Dalam satuan sistem S.I., satuan tegangan biasanya dinyatakan dalam Pascal (Pa), dimana $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ atau satuan yang lebih besar yaitu megapascal (MPa) dan gigapascal (GPa). Nilai konversinya adalah $1 \text{ MPa} = 1 \times 10^6 \text{ Pa} = 1 \text{ N/mm}^2$ dan $1 \text{ GPa} = 1 \times 10^9 \text{ Pa} = 1 \text{ kN/mm}^2$.

Dalam satuan sistem british, tegangan biasanya dinyatakan dalam pound per inci persegi (psi) atau kips per inci persegi (ksi) di mana $1 \text{ kips} = 1.000 \text{ lb}$.

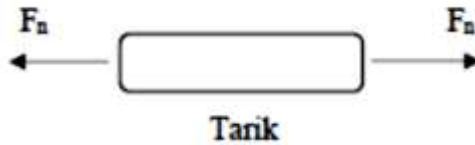
Tegangan Normal yang bekerja pada penampang bahan dengan arah keluar disebut sebagai tegangan tarik dan nilainya bertanda positif, sedangkan tegangan normal yang menuju ke arah potongan tampang disebut tegangan tekan dan nilainya bertanda negatif.

Tegangan normal dapat berbentuk:

1. Tegangan Tarik (*Tensile Stress*)

Tegangan tarik dihasilkan jika terdapat sepasang gaya aksial menarik suatu bahan, dan menyebabkan bahan menjadi bertambah panjang. Maka gaya aksial tersebut menghasilkan

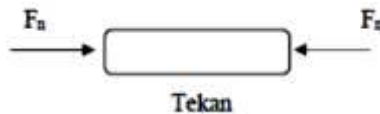
tegangan tarik pada bahan di suatu bidang yang arahnya tegak lurus terhadap penampang bidang atau normal terhadap sumbunya.



Gambar 2.3. Tegangan Normal Tarik / Positif
(Sumber : Anggry, 2021)

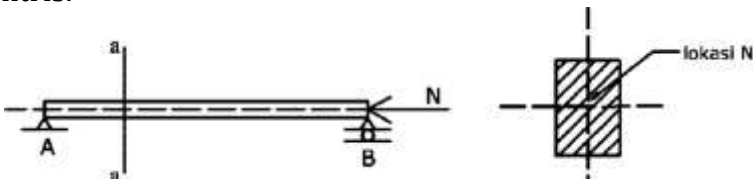
2. Tegangan Tekan (*Compressive Stress*)

Tegangan tekan terjadi saat terdapat sepasang gaya aksial menekan suatu bahan, sehingga bahan ini cenderung untuk menjadi lebih pendek. Maka gaya aksial tersebut menghasilkan tegangan tekan terhadap bahan di suatu bidang yang arahnya secara tegak lurus terhadap penampang bidang atau normal terhadap sumbunya.



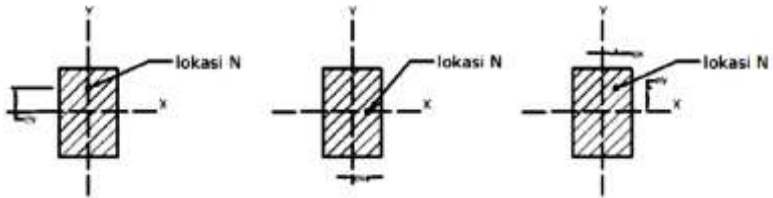
Gambar 2.4. Tegangan Normal Tekan / Negatif
(Sumber : Anggry, 2021)

Pada saat gaya normal bekerja tepat pada titik berat penampang sebuah batang, maka dikatakan bahwa gaya normal tersebut bekerja sentries. Tegangan Normal yang dihasilkan selanjutnya disebut dengan Tegangan Normal Sentris.



Gambar 2.5. Tegangan Normal sentris
(Sumber: Sucipta, 2016)

Pada saat gaya normal bekerja tidak tepat pada titik berat penampang, maka dikatakan bahwa gaya normal tersebut eksentris. Gaya normal yang bekerja pada titik yang terletak pada sumbu X atau Y, maka dikatakan gaya normal eksentris tegak. Gaya normal yang bekerja tidak pada sumbu X atau sumbu Y, dikatakan gaya normal eksentris serong (miring).



Gambar 2.6. Tegangan Normal Eksentris
(Sumber: Sucipta,2016)

2.2.2 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah besarnya intensitas gaya yang sejajar dengan potongan tampang melintang, dan besarnya tegangan ini dapat dihitung dengan persamaan :

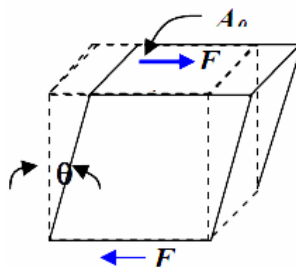
$$\tau = \frac{F_s}{A}$$

Dimana

τ = tegangan geser

F_s = gaya geser

A = luas penampang



Gambar 2.7. Tegangan Geser (Sumber : Amrinsyah,2013)

Saat benda mengalami dua gaya yang besarnya sama dan berlawanan arah, serta bekerja secara tangensial melintasi bagian

penampang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, akibatnya benda cenderung untuk melepaskan bagian tersebut, maka tegangan yang diinduksi disebut **tegangan geser**.

2.3 Deformasi

Gaya yang diberikan pada sebuah bahan dapat menyebabkan terjadinya deformasi pada bahan tersebut. Saat deformasi terjadi, maka bahan akan menyerap energi akibat gaya yang bekerja selama proses deformasi terjadi. Sekecil apapun gaya yang bekerja, maka bahan tersebut akan mengalami perubahan bentuk dan ukuran.

Perubahan besarnya dimensi atau ukuran bahan ini disebut **deformasi**. Deformasi bahan terdiri atas dua macam yaitu deformasi elastis dan deformasi plastis. Deformasi elastis merupakan deformasi yang terjadi akibat adanya beban dan bila beban diiadakan, maka bahan tersebut akan kembali pada ukuran mula-mula. Deformasi plastis merupakan deformasi yang bersifat permanen meskipun bebannya telah diiadakan.

Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena saat kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika bahan tetap mendapatkan beban, maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) dan selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah.

Penempatan beban luar dan akibat adanya perubahan temperatur merupakan fenomena yang dapat menyebabkan elemen struktur akan berubah bentuk secara geometris. Bentuk-bentuk deformasi yang sering terjadi pada bahan / material antara lain berupa perubahan ukuran panjang (*elongation*), terjadi momen lentur (*bending*), terjadi pergeseran (*shearing*) dan puntir (*twisting*).

Analisis peristiwa deformasi pada suatu elemen batang dinyatakan dengan parameter yang diukur pada suatu garis sistem batang. Garis sistem batang ditentukan berimpit dengan garis berat, yaitu garis yang melewati titik-titik pusat berat penampang melintang. Penampang melintang yang dimaksud merupakan potongan fiktif berupa bidang datar dengan garis sistem sebagai

sumbu normal. Asumsi yang digunakan dalam analisis struktur berbentuk rangka batang (truss, beam, frame, grid) adalah sebagai berikut :

1. Pada elemen batanga yang penampang permukaannya datar sebelum deformasi, maka akan penampanganya tetap datar sesudah terjadi deformasi.
2. Pada elemen batang yang tersusun atas lapisan-lapisan serat yang sejajar terhadap garis sistem, maka dapat dipastikan bahwa tidak akan terjadi deformasi pada arah ortogonal serat.
3. Pada elemen batang yang mengalami deformasi akibat geser dan lentur dianggap kecil sehingga dapat diabaikan, maka yang diperhitungkan hanya besarnya deformasi aksial akibat tegangan normal pada penampang.

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\delta/L}$$

Sehingga deformasi (δ) dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\delta = \frac{F \times L}{A \times E}$$

Dimana :

F = beban (N)

A = luas permukaan (m²)

L = panjang awal (m)

E = modulus elastisitas (N/m²)

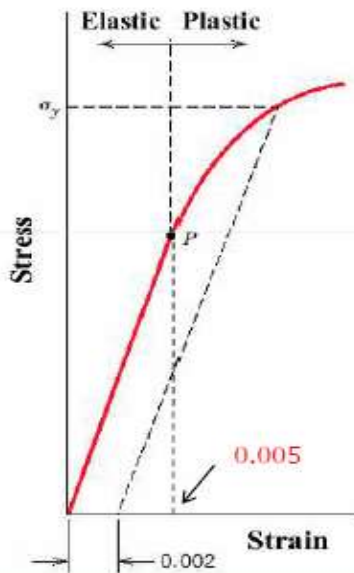
2.3.1 Deformasi Elastis

Deformasi elastis pada sebuah bahan adalah perubahan bentuk bahan akibat gaya luar, dan apabila gaya luar dilepas maka bahan tersebut akan kembali ke bentuk dan ukuran semula.

Pada logam, deformasi elastis hanya terjadi sampai pada nilia regangan sebesar 0.005. Jika bahan terdeformasi hingga melewati batas elastis, maka tegangan tidak lagi proporsional terhadap regangan.

Pada grafik hubungan antara tegangan dan regangan (gambar 2.8) terlihat bahwa akhir batas elastisitas bahan adalah

pada akhir daerah linier atau merupakan batas proporsional (pada titik P).



Gambar 2.8. Daerah elastis dan plastis
(Sumber : Isworo,2018)

2.3.2 Deformasi Plastis

Deformasi plastis pada sebuah bahan yaitu perubahan bentuk yang disebabkan oleh gaya luar dan apabila gaya luar dilepas maka bahan tidak akan kembali ke bentuk dan ukuran semula.

Pada tinjauan mikro, terjadinya deformasi plastis ditunjukkan dengan putusnya ikatan sebuah atom dengan atom terdekat dan selanjutnya terjadi ikatan yang baru dengan atom yang lainnya. Jika beban di lepaskan, atom ini tidak kembali ke ikatan awalnya.

Saat bahan mengalami deformasi plastik, beberapa karakteristik yang dapat diketahui dari bahan tersebut antara lain :

1. Kekuatan Luluh

Titik luluh bahan hasil uji tarik terlihat pada daerah dimana terjadinya deformasi plastis pada logam. Grafik σ - ϵ menunjukkan grafik berbelok secara bertahap, dan titik luluh ditentukan dari awal perubahan kurva σ - ϵ dari linier

ke lengkung. Pada titik ini selanjutnya disebut batas proporsional (titik p).

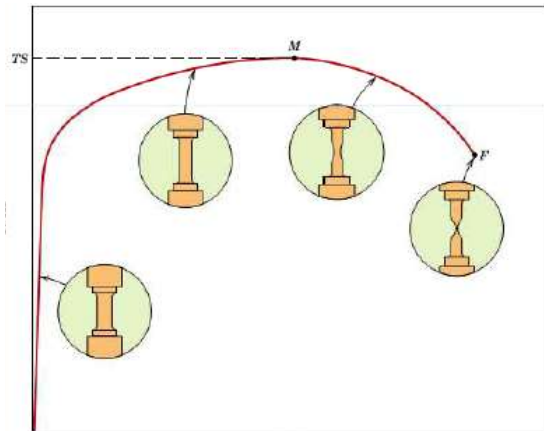
Kesepakatan di buat dimana di tarik garis lurus yang paralel dengan kurva σ - ϵ dengan harga $\epsilon = 0.002$. Perpotongan garis ini terhadap kurva σ - ϵ mendapatkan sebuah titik yang disebut sebagai kekuatan luluh (σ_y).

2. Kekuatan Tarik

Berdasar grafik terlihat bahwa setelah titik luluh, berlanjutnya deformasi plastis seiring naiknya tegangan hingga titik maksimum dan kemudian menurun sampai akhirnya patah.

Kekuatan tarik bahan merupakan nilai tegangan maksimum (titik M) pada kurva σ - ϵ .

Tegangan maksimum merupakan nilai kekuatan tarik yang bisa di tahan oleh struktur pada kondisi tarik.

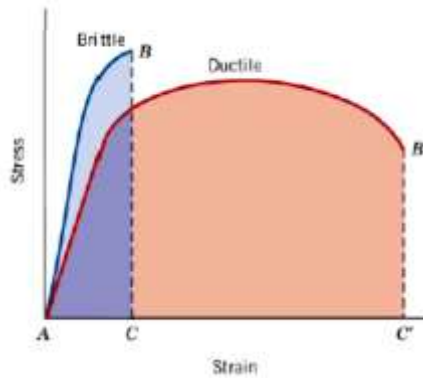


Gambar 2.9. Nilai Kekuatan Tarik (M)
(Sumber : Isworo,2018)

3. Keuletan

Mengukur derajat deformasi plastis pada saat patah.

Bahan yang mengalami sedikit atau tidak sama sekali deformasi plastis di sebut rapuh.



Gambar 2.10. Zona keuletan bahan
(Sumber : Isworo,2018)

4. Kelenturan (*Resilience*)

Adalah kapasitas material untuk menyerap energi ketika mengalami deformasi elastis dan ketika beban dilepaskan, energi ini juga dilepaskan.

Modulus resilience (U_r) merupakan energi regang persatuan volume yang diperlukan sehingga material mendapat tegangan dari kondisi tidak berbeban ketitik luluh.

Material yang mempunyai sifat resilience adalah material yang mempunyai tegangan luluh tinggi (σ_y) dan modulus elastisitas rendah. Contoh : alloy untuk pegas.

5. Ketangguhan (*Toughness*).

Adalah kemampuan bahan untuk menyerap energi sampai patah. Satuan ketangguhan yang digunakan sama dengan satuan resilience.

Kesimpulan dari karakteristik bahan, bahwa Bahan ulet dapat dipastikan merupakan bahan tangguh. Sedangkan Bahan getas adalah merupakan bahan tidak tangguh.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggry, A. 2021. Kekuatan Bahan : Tegangan dan Regangan Batang. Bangka Belitung : Politeknik Manufaktur Bangka Belitung.
- Amrinsyah. 2013. Mekanika Kekuatan Material. Medan : Universitas Medan Area.
- Isworo, H. 2018. Mekanika Kekuatan Material I. Banjarmasin : Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat.
- Sucipta, I.N. 2016. Kekuatan Bahan. Denpasar: Universitas Udayana.
- Yunus, A.D. 2011. Mekanika Kekuatan Material. Jakarta: Universitas Darma Persada

BAB 3

DIAGRAM TEGANGAN-REGANGAN

Oleh Rahma Nindya Ayu Hapsari

3.1 Pendahuluan

Prinsip mendasar dalam ilmu mekanika bahan meliputi konsep tegangan dan regangan. Mekanika bahan memiliki tujuan untuk menentukan besarnya nilai tegangan, regangan, dan pergeseran yang terjadi pada suatu struktur dan juga komponennya yang diakibatkan oleh beban yang dikenakan padanya. Dengan diagram tegangan-regangan, kita dapat memahami perilaku mekanis struktur tersebut. Konsep ini sangat penting untuk merancang suatu struktur secara aman.

3.2 Tegangan dan regangan

Pengamatan tegangan dan regangan digambarkan melalui suatu elemen struktural lurus yang mengalami pembebanan aksial, memiliki penampang yang konsisten sepanjang panjangnya, sementara gaya aksial merupakan beban dengan arah sejajar sumbu elemen yang menyebabkan gaya tarik atau tekan pada batang.

3.2.1 Tegangan

Tegangan adalah besaran fisik yang mengukur distribusi pembagian gaya per satuan luas pada suatu benda atau material. Secara matematis, tegangan

(σ) dapat dihitung sebagai rasio dari gaya yang bekerja pada suatu objek dibandingkan dengan luas penampangnya. Rumus tegangan umumnya dinyatakan sebagai:

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

(Pers 3.1)

Di sini, σ adalah tegangan, F adalah gaya yang dikenakan pada suatu benda, sedangkan A adalah luas penampang dari benda

tersebut. Satuan tegangan dalam sistem internasional diukur dalam pascal (Pa) atau N/m^2 .

Tegangan bisa terjadi dalam berbagai konteks, seperti tegangan mekanik pada benda padat, tegangan listrik pada konduktor, atau tegangan termal pada material yang mengalami perubahan suhu. Dalam konteks mekanika bahan, tegangan sering kali diukur untuk memahami respons material terhadap beban atau gaya eksternal. Tegangan ini dapat diukur dalam berbagai kondisi, termasuk tegangan normal (tegangan tarik atau tekan) dan tegangan geser (*shear stress*) tergantung pada jenis beban yang diterapkan pada material.

3.2.2 Regangan

Pada suatu batang lurus yang dibebani secara aksial dapat terjadi perubahan panjang, yaitu akan menjadi bertambah panjang apabila dikenakan gaya tarik, dan berubah menjadi pendek jika dikenakan gaya tekan.

Perubahan panjang pada batang yang dikenai gaya aksial tersebut dapat diukur untuk setiap kali terjadinya kenaikan nilai tertentu dari gaya aksial, maka dari itu konsep perubahan panjang ini disebut pertambahan panjang per satuan panjang, atau disebut juga sebagai regangan.

Notasi pertambahan panjang pada batang adalah delta yang disimbolkan dengan Δ , yang mana tiap satu satuan panjang dari batang mempunyai perpanjangan yang sama dengan $1/L$ kali dari perpanjangan total Δ . Perhitungan regangan dapat diselesaikan dengan persamaan berikut:

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

(Pers 3.2)

Dimana:

- ε = regangan
- ΔL = perubahan panjang pada batang
- L = panjang awal batang

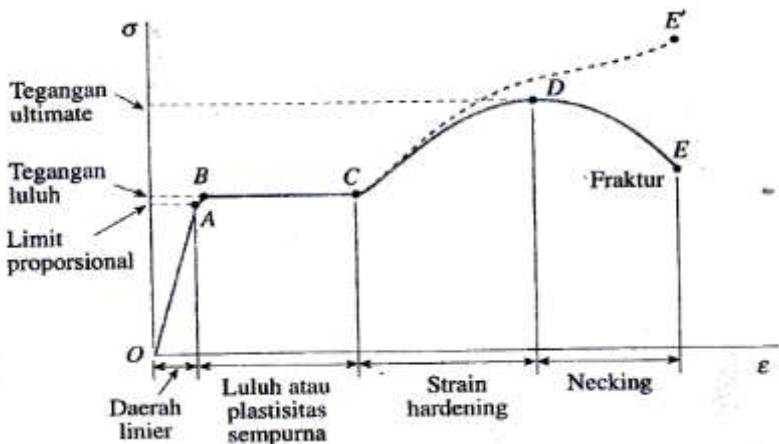
3.3 Diagram Tegangan Regangan

Kekuatan yang dimiliki oleh suatu material sangat bergantung dari jenis material. Suatu jenis material dapat bersifat keras atau getas, dan dapat juga lunak atau *ductile* bergantung dari unsur kandungan bahan dan struktur yang membentuk material tersebut. Sifat dari suatu material dapat dilihat dari Diagram Tegangan-Regangan yang dihasilkan dari pengujian suatu material. Diagram Tegangan Regangan adalah diagram yang menunjukkan kekuatan suatu bahan dari hasil uji tarik. Pada proses pengujian tarik bahan, benda uji ditarik dengan suatu besaran gaya yang dinaikkan secara bertahap hingga benda uji mengalami pertambahan panjang dan akhirnya patah.

Setelah melakukan pengujian tarik yang kemudian menunjukkan hasil tegangan dan regangan dari berbagai besaran pembebanan, kita dapat melihat tampilan diagram tegangan-regangan. Diagram ini akan menampilkan karakteristik dari suatu bahan yang telah diuji dan memberikan data penting mengenai sifat mekanis dan jenis perilaku dari material tersebut.

Material baja merupakan material logam yang paling umum digunakan saat ini sebagai komponen struktur.

Diagram tegangan-regangan hasil pengujian tarik baja dapat diamati pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1. Diagram Tegangan Regangan Baja

Diagram akan diawali dari suatu garis dari pusat sumbu 0 ke titik A, yang menunjukkan bahwa hubungan antara tegangan dengan regangan pada daerah ini masih bersifat linear dan juga proporsional, Fase dimana bahan tidak mengalami perubahan bentuk ketika beban diberikan disebut batas elastis. Fase yang terjadi di A disebut limit proporsional, dan OA disebut daerah elastis.

Seiring semakin bertambahnya besaran tegangan yang melampaui limit proporsional, maka nilai regangan mulai bertambah secara lebih cepat untuk setiap kali penambahan nilai tegangan. sehingga diagram tegangan-regangan mempunyai kemiringan yang semakin kecil sampai pada titik B, yang mana garis diagram tersebut menjadi horizontal. Kemudian mulai dari titik B terjadi peningkatan dimensi yang besar pada benda uji tanpa diiringi dengan adanya peningkatan gaya tarik (dari B ke C), fase ini disebut leleh dari bahan, dan titik B disebut titik leleh. Di daerah antara titik B dan C, terjadi kondisi plastis sempurna, hal tersebut menunjukkan bahwa bahan terdeformasi tanpa adanya peningkatan besaran beban. Setelah terjadinya regangan besar yang terjadi selama masa pelelehan di daerah BC, baja mengalami pengerasan regangan (*strain hardening*). Kenaikan nilai dimensi benda uji di daerah ini membutuhkan peningkatan beban tarik, sehingga diagram tegangan-regangan mempunyai kemiringan positif dari titik C ke titik D, dan nilai beban pada akhirnya mencapai nilai maksimum, dan tegangan di titik D disebut tegangan ultimit. Selanjutnya penarikan batang akan disertai dengan pengurangan beban dan kemudian akhirnya terjadi fase patahnya bahan di suatu titik yaitu pada titik E.

3.4 Pengujian Tarik

Suatu bahan perlu diuji untuk mengetahui sifat kelenturan dan regangan, serta berbagai sifat mekanis yang ada padanya, dengan mengetahui sifat mekanisnya kita dapat mengetahui karakteristik pada bahan tersebut.

Pada umumnya dilakukan pengujian tarik baja menggunakan mesin uji tarik. Uji tarik itu sendiri pengertiannya adalah pengujian untuk mencari nilai kekuatan suatu bahan dengan

cara memberikan beban gaya yang sejajar sumbu bahan, setelah dilakukan pengujian akan didapatkan data yang dapat menjadi acuan untuk kepentingan pada kontruksi bangunan atau pada industri pabrik.

Pengujian tarik distandarkan dengan ASTM Standard E8 dan E 8M “Standard Test Method for Tension Testing of Metallic Materials” Mesin uji yang digunakan untuk pengujian tarik adalah Universal Testing Machine (UTM).

Hal-hal yang terjadi pada saat pengujian tarik pada bahan adalah:

1. Terjadinya gaya tarik pada spesimen.
2. Terjadi perubahan panjang.
3. Terekamnya reaksi material ketika ditarik, ouput adalah kurva gaya vs perubahan panjang.

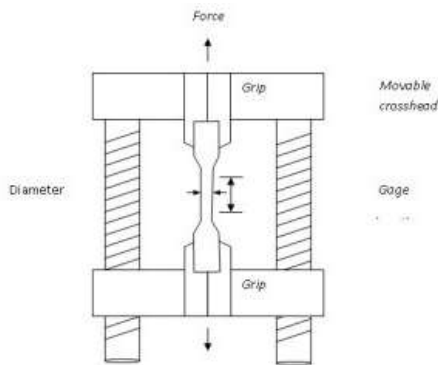
Data yang dibutuhkan untuk perhitungan kuat leleh dan kuat putus bahan adalah:

1. Diameter (d), untuk menghitung luas penampang awal
2. Panjang awal (l_0)

Kemudian data yang didapat dari mesin uji tarik yaitu:

1. Besarnya gaya yang diberikan (F)
2. Besarnya perubahan panjang yang terjadi (Δl)

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang baik, pengujian harus memperhatikan bentuk, dimensi, dimensi spesimen uji dan juga grip bahan.



Gambar 3.2. Ilustrasi pengujian tarik baja

Gambar diatas merupakan pengujian tarik pada baja, dalam pelaksanaan uji tarik juga harus memperhatikan mengenai modulus elastisitas agar baja tetap bersifat lentur ketika memikul beban lebih, makin besar nilai elastisitas suatu bahan maka akan semakin kecil nilai regangan elastisnya. Maka dari itu, nilai modulus elastisitas tidak dapat diubah, sifat ini dapat berubah jika diberi bahan panduan, perlakuan panas dan perlakuan dingin.

3.5 Bahan Liat dan Bahan Getas

Material logam umumnya dapat diklasifikasikan sebagai material yang liat (ductile) atau material yang getas (brittle). Material yang liat memiliki kecenderungan untuk mengalami regangan tarik yang cukup besar sebelum mencapai titik kegagalan, seperti contohnya baja atau aluminium. Di sisi lain, material yang getas memiliki regangan tarik yang relatif kecil hingga mencapai titik kegagalan yang sama, seperti besi cor dan beton. Batas regangan sebesar 0,05 sering digunakan sebagai parameter pemisah antara material yang liat dan material yang getas.

3.6 Hukum Hooke

Robert Hooke mengklasifikasikan jenis benda menjadi benda yang bersifat plastis dan juga elastis. Suatu benda dikatakan bersifat plastis jika tidak mengalami perubahan saat diberi gaya (tarik). Kemudian benda dikatakan bersifat elastis jika benda tersebut mengalami perubahan saat diberi gaya, namun dapat kembali ke bentuk semula setelah tidak diberi gaya.

Ketika nilai regangan relatif kecil, hubungan antara tegangan dan regangan bersifat linier. Robert Hooke menegaskan fenomena ini dalam apa yang dikenal sebagai Hukum Hooke, di mana pertambahan panjang suatu material berkaitan secara linier dengan gaya aksial yang diterapkan padanya.

3.7 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas, juga dikenal sebagai Modulus Young, merujuk pada rasio tegangan terhadap regangan suatu material. Setiap bahan memiliki nilai modulus elastisitas yang berbeda-beda.

Hal tersebut karena masing-masing material memiliki nilai tegangan dan regangan yang berbeda-beda.

Modulus elastisitas memiliki nilai satuan yang sama dengan nilai satuan tegangan, yaitu pascal (Pa) atau N/m^2 . Nilai modulus elastisitas dapat memberikan informasi tentang seberapa cepat atau lambat material dapat merespons perubahan tegangan atau beban yang diterapkan padanya. Semakin tinggi nilai modulus elastisitas, semakin kekakuan elastisitasnya, dan semakin kecil deformasi yang terjadi dalam respons terhadap beban.

Modulus elastisitas khususnya penting dalam menganalisis dan merancang struktur, karena memahami seberapa baik material dapat menahan tegangan dan kembali ke bentuk asalnya setelah beban dihilangkan.

Semakin besar nilai modulus elastisitas suatu bahan maka bahan tersebut akan bersifat semakin kaku, atau semakin kecil regangan elastis untuk suatu beban yang dikenakan. Pada sebagian besar bahan teknik, nilai modulus elastisitas dalam kondisi tekan cenderung mendekati nilai modulus elastisitas dalam kondisi tarik.

3.8 Titik Leleh atau Titik Mulur

Titik Mulur adalah kondisi dimana suatu bahan mengalami perubahan panjang atau mulur ketika tidak ada pertambahan nilai beban, yang mana beban sebenarnya berkurang ketika terjadi mulur. Kurva tegangan-regangan menggambarkan ciri khas bahan yang dibebani awalnya memiliki tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses pembuatan. Setelah mencapai titik leleh atau mulur, terjadi kelelahan pada bahan. Yang kemudian sesudah beban diulang, tegangan sisa menjadi hilang dan kurva tegangan-regangan menjadi lurus.

Kekuatan leleh (*yield strength*) mencirikan regangan yang tetap terjadi pada bahan ketika beban dipindahkan, sering kali diambil pada regangan 0,0035.

3.9 Kekuatan Mulur

Kekuatan mulur dari suatu bahan sangat berkaitan dengan titik mulur. Untuk bahan yang tidak memiliki karakteristik mulur yang baik, metode pergeseran dapat digunakan untuk mendapatkan

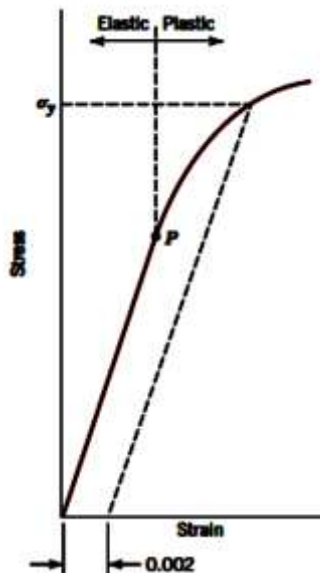
nilai kekuatan mulur. Metode ini dilakukan dengan cara penarikan suatu garis sejajar ke garis singgung awal kurva tegangan-regangan. Garis sejajar ini dimulai pada pergeseran regangan, besar pergeseran biasanya 0,2% atau 0,002 mm.

3.10 Batas Elastis

Elastisitas adalah kemampuan suatu bahan untuk kembali ke bentuk aslinya segera setelah gaya yang diberikan pada objek tersebut dihapus atau dilepaskan. Sementara itu, batas elastis merujuk pada tingkat tegangan di mana materi tidak dapat pulih ke bentuk semula setelah beban dilepaskan.

3.11 Deformasi Plastis

Ketika suatu bahan telah mengalami deformasi melewati daerah elastisnya, hubungan antara tegangan dan regangannya sudah tidak lagi bersifat proporsional. Bahan akan mengalami deformasi plastis yang bersifat tetap, yang jika bebannya dihilangkan, material tetap terdeformasi dan tidak akan kembali ke bentuk awalnya.



Gambar 3.3. Diagram kondisi perpindahan kondisi plastis ke elastis

3.12 Batas proporsional

Batas proporsional merujuk pada tegangan maksimum yang terjadi saat suatu beban diterapkan, di mana tegangan bergantung secara linier pada regangan. Batas proporsional sangat penting karena semua teori yang berhubungan dengan sifat benda elastis akan didasarkan pula kepada kesebandingan tegangan dan regangan.

3.13 Tegangan maksimum

Tegangan maksimum adalah tegangan terbesar yang terjadi pada pembebanan suatu bahan. Tegangan maksimum ini terjadi di titik puncak pada kurva dan disebut sebagai tegangan maksimum atau tegangan puncak. Setelah melewati tegangan maksimum, suatu bahan akan menemui tegangan putus, yang terjadi pada titik di mana bahan mengalami kegagalan.

3.14 Modulus of Resilience

Modulus Kekenyalan (*modulus of resilience*) atau suatu ukuran kemampuan suatu bahan dalam menyerap energi selama selang elastisnya. Pengertian dari batas kekenyalan adalah usaha yang dilakukan oleh suatu unit volume bahan saat mengalami tarikan bertahap dari nol hingga mencapai batas proporsional.

3.15 Modulus of Toughness

Modulus Kekerasan (*modulus of toughness*) adalah usaha yang dilakukan oleh suatu unit bahan hingga akhirnya mengalami keruntuhan, dan menggambarkan kemampuan bahan dalam menyerap energi di waktu selang plastis.

Tingkat kekerasan merupakan istilah yang sebenarnya sulit didefinisikan dengan pasti, karena setiap bidang ilmu memiliki sudut pandang dan keperluannya masing-masing. Karena itu pula, ada bermacam-macam cara untuk pengujian kekerasan suatu bahan. Ada beberapa pengujian kekerasan terstandar yang biasa digunakan secara meluas untuk menguji kekerasan logam, diantaranya pengujian Brinell, Rockwell, Vickers dan banyak lagi pengujian lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ferdinand L. Singer. 1995. *Kekuatan Bahan (Teori Kokoh – Strength of Materials)*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sifat-sifat Bahan Teknik. Program PPG Teknik Mesin. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Hajar Isworo, 2018. *Mekanika Kekuatan Material*. Universitas Lambung Mangkurat.
- Rumus Elastisitas Zat Padat dan Hukum Hooke
<https://katadata.co.id/safrezi/berita/61481b73499a4/rumus-elastisitas-zat-padat-dan-hukum-hooke-materi-fisika-kelas-xi>
- Pengujian Struktur Baja dengan menggunakan Uji Tarik
<https://www.alatuji.com/article/detail/927/pengujian-struktur-baja-dengan-menggunakan-uji-tarik>

BAB 4

PEGAS DAN HUKUM HOOKE

Oleh Amalia Ma'rifatul Maghfiroh

4.1 Tegangan dan Regangan

Pada bagian ini penulis menyajikan tentang pengertian tegangan dan regangan secara sederhana agar mudah dipahami.

4.1.1 Tegangan

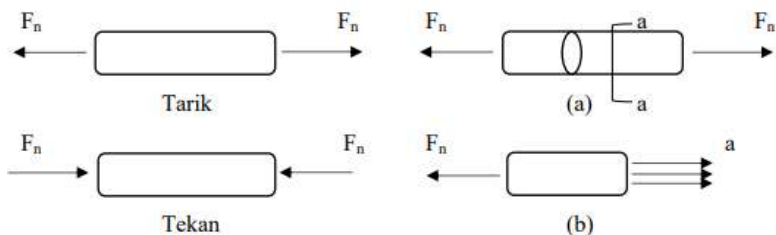
Sears dan Zemansky (2004) menyatakan bahwa tegangan tarik adalah kekuatan dari gaya yang menyebabkan penarikan suatu kawat yang dapat dinyatakan pada bentuk gaya persatuan luas. Tegangan adalah besaran dari hasil pengukuran gaya (F) atau reaksi yang ada per satuan luas (A), sehingga tegangan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F_n}{A} \quad \dots 4.1$$

Keterangan :

σ = tegangan (N/m^2)
 F_n = gaya yang bekerja (N)
 A = luas penampang (m^2)

Tegangan normal bertanda positif apabila timbul karena adanya gaya tarik (*tensile*) dan bertanda negatif jika menimbulkan gaya tekan (*compression*). Tegangan normal (σ) adalah tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang luas (Timoshenko dan Goodier, 1986).



Gambar 4.1. Tegangan Normal (Normal Stress)

Pada gambar 4.1 (a) dan (b) diasumsikan bahwa tegangan terbagi rata pada seluruh bagian penampang, dapat dilihat bahwa resultan gaya F_n harus sama dengan intensitas tegangan dikalikan dengan luas penampang.

Menurut Marciniak, dkk. (2002), tegangan dibedakan menjadi dua macam yaitu *true stress* dan *engineering stress*. *Engineering stress* adalah pengukuran besarnya nilai gaya reaksi yang bekerja dibagi dengan las permukaan mula-mula, dan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\sigma_{eng} = \frac{F}{A_0} \qquad \dots 4.2$$

dengan :

- σ_{eng} = *Engineering stress* (N/m²)
- F = Gaya (N)
- A₀ = Luas permukaan mula-mula (m²)

Sedangkan yang dimaksud *true stress* yaitu tegangan yang dihasilkan dari pengukuran besarnya nilai gaya reaksi dibagi luas permukaan material sebenarnya (actual). *True stress* dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \qquad \dots (4.3)$$

keterangan :

- σ = *True stress* (N/m²)
- F = gaya tarik yang bekerja (N)
- A = luas penampang (m²)

4.1.2 Regangan

Jika suatu benda diberi gaya tarik maupun tekan sebesar P, gaya P yang bekerja pada benda menimbulkan tegangan antar partikel dalam elemen benda tersebut yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini mengakibatkan adanya pergeseran struktur benda berupa regangan ataupun himpitan yang besarnya juga berbanding lurus. Pergeseran struktur benda ini yang mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) pada benda, misalnya perubahan panjang yang awalnya L₀ menjadi L.

Perbandingan antara perpanjangan dengan panjang awal ini yang disebut dengan regangan (*strain*).

Regangan (*Strain*) adalah perubahan bentuk (deformasi) relatif yang disebabkan suatu tegangan. Regangan diperoleh dengan mengukur perbandingan antara perubahan sesuatu dimensi benda dengan dimensi sebelumnya. Regangan dilambangkan dengan " ϵ " (*epsilon*). Oleh karena itu, persamaan regangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad \dots (4.4)$$

Keterangan:

ϵ = regangan
 ΔL = pertambahan panjang (m)
 L = panjang awal (m)

Nilai perbandingan antara tegangan dan regangan merupakan karakteristik dari bahan pembuat kawat (dalam arah panjang). Karakteristik inilah yang disebut dengan modulus Young (modulus elastisitas) (Kharida, et al., 2009: 84).

Menurut Singer (1995), nilai regangan dapat dicari dengan membagi perpanjangan total ($L-L_0$) dengan panjang awal (L_0), dan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{(L-L_0)}{L_0} \quad \dots (4.5)$$

Keterangan:

ϵ = regangan
 $(L-L_0)$ = perubahan panjang (m)
 L_0 = panjang awal (m)

Jika suatu benda diberi gaya tarik, maka regangannya disebut regangan tarik (*tensile strain*) yang ditunjukkan dengan terjadinya perpanjangan pada benda. Sedangkan jika suatu benda diberi gaya tekan, maka regangannya juga disebut regangan tekan (*compressive strain*) dan ditunjukkan dengan adanya perpendekan pada benda tersebut. Regangan tarik diberi tanda positif dan regangan tekan

diberi tanda negatif. Regangan disebut juga regangan normal karena regangan berini berkaitan dengan tegangan normal. (Gere dan Timososhenko, 1997).

Regangan menurut Marciniak dkk. (2002) dibedakan menjadi dua macam, yaitu *true strain* dan *engineering strain*. *Engineering strain* merupakan regangan yang dihitung berdasarkan dimensi benda mula-mula (panjang mula-mula). Oleh karena itu, untuk mencari nilai *engineering strain* dapat dilakukan dengan membagi perpanjangan yang terjadi dengan panjang mula-mula. *Engineering strain* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\varepsilon_{eng} = \frac{l-l_0}{l_0} \times 100\% = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100\% \quad \dots (4.6)$$

Keterangan:

Δl = pertambahan panjang
 l_0 = panjang awal
 l = panjang setelah diberi gaya

Sedangkan *true strain* adalah regangan yang dihitung secara bertahap (*increment strain*), dengan regangan dihitung berdasarkan pada kondisi dimensi material saat itu (sebenarnya), bukan berdasarkan panjang awal dimensi material. Oleh karena itu, *true strain* (ε) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad \dots (4.7)$$

Keterangan:

ε = true strain
 l_0 = panjang awal
 l = panjang setelah diberi gaya

4.1.3 Hubungan Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat disebut dengan modulus elastisitas atau *Modulus Young*. *Modulus Young* menggambarkan sifat kekenyalan zat dalam arah panjang. Jika kawat atau batang sepanjang L dengan luas penampang A , diketahui

memanjang sebanyak ΔL apabila gaya F dierjakan pada ujungnya maka:

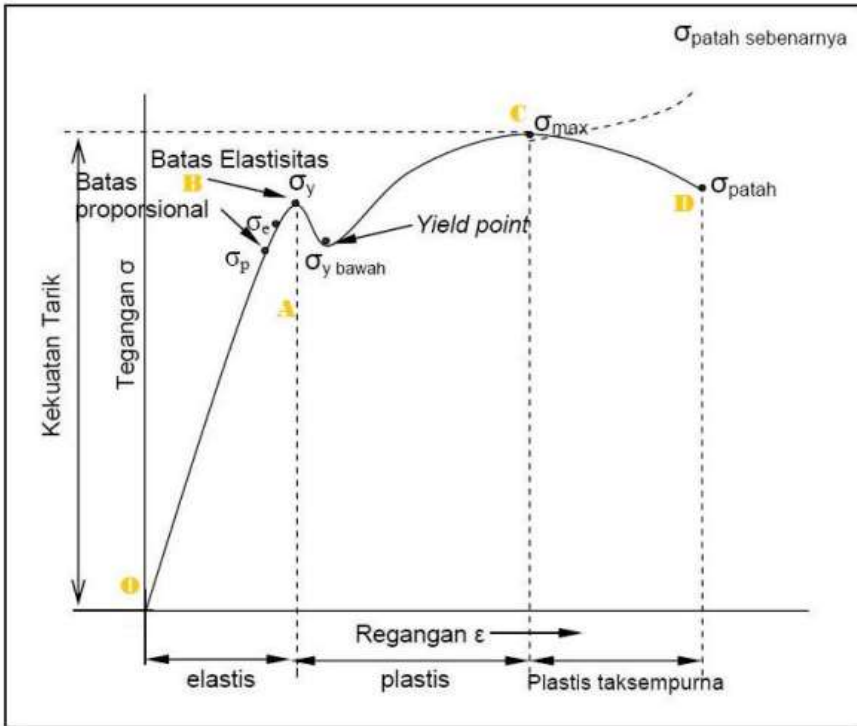
Tegangan regangan $= \frac{F}{A}$, dan regangan rentang $= \frac{\Delta L}{L}$

Menjadi perbandingan,

$$\text{Modulus young} = Y = \frac{\text{Tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F L}{A \Delta L} \quad \dots (4.7)$$

Satuan modulus young dalam SI adalah Pa. Nilai modulus Young tidak bergantung pada ukuran benda, tetapi hanya bergantung pada jenis zat (Bueche, 1992: 109)

Sebuah spesimen uji yang diberikan beban secara bertahap dan dilakukan terus-menerus akan mengalami deformasi. Pada tahap-tahap awal pembebanan suatu spesimen uji akan mengalami deformasi elastis, namun sampai batas kondisi tertentu spesimen uji akan mengalami deformasi plastis. Untuk tahap-tahap awal pembebanan spesimen uji berada di bawah kekuatan leleh material sehingga masih dapat kembali pada bentuk benda seperti sebelum dibebani, hal ini disebabkan sifat elastisnya suatu material. Penambahan beban yang melebihi kekuatan leleh (*yield point*) yang dimiliki spesimen uji akan menyebabkan terjadinya deformasi plastis, sehingga spesimen uji tidak dapat kembali ke bentuk semula. Hal tersebut dapat dilihat pada diagram tegangan-regangan seperti gambar berikut.



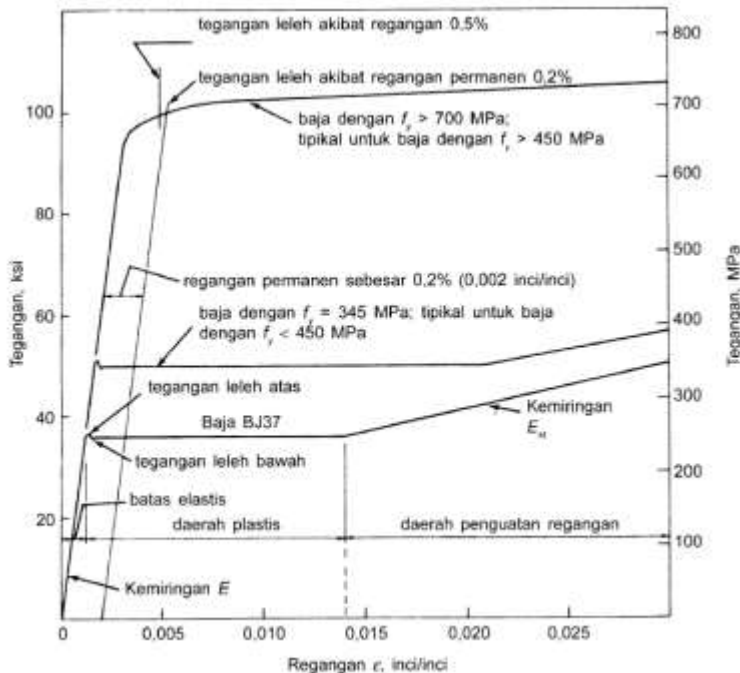
Gambar 4.2. Diagram Tegangan-Regangan

Perbandingan yang linier antara gaya tarik yang diberikan dengan regangan yang terjadi hanya berlaku sampai pada kondisi batas tegangan tarik tertentu, yang sering disebut dengan batas proporsional, dimana batas ini dipengaruhi oleh sifat-sifat suatu material. Dalam penelitian untuk mengetahui sifat-sifat mekanis di atas batas proporsional, hubungan tegangan-regangan material sering dilakukan dengan menggambarkan secara grafik dari suatu hasil pengujian tarik. Dalam hal ini regangan yang terjadi digambarkan sebagai sumbu horisontal dan tegangan-regangan yang terjadi digambarkan dengan titik-titik O, A, B, C, dan D. Tegangan dari titik O sampai titik A adalah daerah proporsional. Di atas titik A mulai terjadi penyimpangan, sehingga titik A adalah batas proporsional. Penambahan beban yang berkelanjutan mengakibatkan pertambahan panjang (regangan) pada titik B sehingga grafik menjadi melengkung. Titik B adalah titik leleh (*yield*

point) yang ditandai dengan regangan spesimen uji yang terus bertambah dengan penambahan gaya tarik yang sedikit. Pemberian gaya tarik pada spesimen uji yang terus diperbesar akan mengakibatkan adanya perlawanan internal oleh molekul material hingga mencapai titik C, pada titik inilah terjadi gaya tarik maksimum yang dapat ditahan oleh spesimen uji. Tegangan yang terjadi merupakan kekuatan tertinggi (*ultimate strength*) dari material yang diuji. Setelah melewati titik C regangan spesimen uji masih terus bertambah walaupun beban yang diberikan semakin berkurang dan pada akhirnya spesimen uji mengalami pengecilan ukuran (*necking*) dan akhirnya patah (*fracture*) yang terjadi di titik D.

Kekuatan leleh adalah nilai tegangan terendah disaat elemen material mulai terjadi deformasi plastis. Titik σ_y atas merupakan titik leleh atas dan titik σ_y bawah merupakan titik leleh bawah yang ditandai dengan pengurangan beban yang terjadi tiba-tiba, kemudian diikuti oleh perpanjangan yang meningkat dan kemudian peningkatan nilai beban yang terjadi tiba-tiba. Peristiwa ini disebut sebagai melelehnya suatu bahan, yang ditandai dengan adanya perubahan bentuk yang plastis dan naik-turunnya beban yang terjadi.

Pada titik leleh tersebut grafik hubungan tegangan-regangan sudah tidak linier lagi, namun sifat elastis masih sedikit terjadi di atas batas proporsional. Batas proporsional adalah tegangan tertinggi yang terjadi pada kondisi material masih mengalami deformasi elastis dan belum mengalami deformasi plastis. Pada umumnya batas daerah plastis dan daerah elastis sulit untuk ditentukan. Oleh sebab itu, didefinisikanlah kekuatan leleh (*yield strength*). Titik leleh (*yield point*) adalah titik perpindahan dari daerah elastis ke daerah plastis. Di bagian titik leleh ini material mulai mengalami deformasi plastis yang sifatnya permanen, jika beban mulai dilepas material tidak dapat kembali ke bentuk semula.



Gambar 4.3. Hubungan Tegangan-Regangan Tipikal

Sumber: Salmon & Johnson, *Steel Structures Design and Behavior*, 4th ed.

Gambar 4.3 merupakan hubungan tegangan-regangan tipikal untuk beberapa jenis mutu baja. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin tinggi mutu baja, maka material baja akan semakin getas, dimana hal tersebut ditandai dengan perbedaan antara tegangan leleh dengan tegangan puncak tidak terlalu jauh.

4.1.4 Kurva Tegangan dan Regangan

Menurut Marciniak dkk. (2002) ada beberapa hal yang harus diketahui mengenai tegangan-regangan dalam mekanis suatu bahan, yaitu:

1. Kurva *True stress* and *True strain*

Proses pengepresan (*stamping*) atau sheet metal forming menggunakan sifat plastis (*plasticity*) dari suatu material logam yang mengakibatkan suatu pelat menjadi bentuk baru apabila

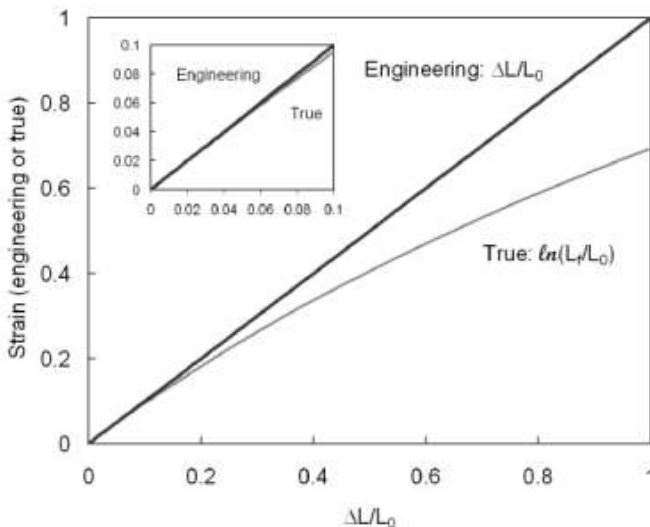
diberikan regangan melebihi batas elastisnya (*elasticity*) sehingga terjadi deformasi permanen.

Hal yang mendasar dari proses pengepresan adalah memanfaatkan sifat plastisitas dari material saat pelat diberi gaya. Oleh karena itu, dengan memanfaatkan plastisitas tersebut proses pembentukan dapat dicapai, dimana bentuk pelat akan sesuai dengan bentuk cetakan yang diinginkan (Rao, 1987). Konsep ini terdapat pada kurva tegangan-regangan sebenarnya (*true strain- true stress*). Menurut Timoshenko dan Goodier (1986) Daerah plastis berada pada garis kurva di atas titik leleh yang merupakan batas tegangan dimana material tidak bisa kembali ke bentuk seperti semula meskipun beban dihilangkan dan akan terjadi deformasi permanen yang disebut *permanent set*. Persamaan kurva tegangan-regangan dalam bentuk eksponensial adalah sebagai berikut:

$$\sigma = K \varepsilon^n \quad \dots (4.8)$$

Keterangan:

σ = Tegangan
 K = *Strenght coefficient*
 N = *Hardening exponent*
 ε = Regangan



Gambar 4.4. Kurva *True stress* dan *True strain*

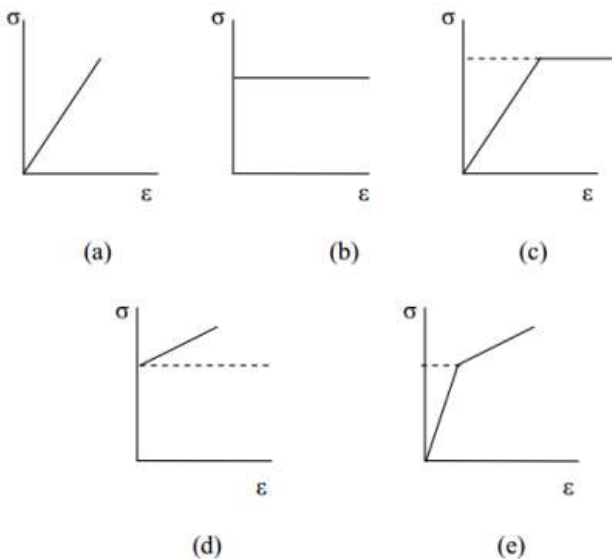
Sumber: John Maloney, 2006

Prinsip tegangan pada kondisi plastis didasarkan pada teori *Von Mises Stress*. Kriteria terjadinya leleh yang digunakan secara luas adalah ketika luasan bidang suatu material mulai terdeformasi plastis sampai tegangan pada permukaan luasan mencapai nilai maksimum (kritis). Beberapa peneliti menyatakan bahwa mereka menggunakan kriteria ini. Teori ini disebut dengan teori batas leleh tegangan sisa (*von mises yield theory*). (Marciniak dkk., 2002).

2. Kurva *Stress – Strain*

Semua material memiliki kurva *Stress-Strain* yang bervariasi tergantung dari komposisi materialnya, struktur elemennya, dan beberapa faktor lain seperti perlakuan panas. Berikut merupakan jenis-jenis kurva *Stress – Strain* yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

- Perfectly elastic*
- Rigid, perfectly plastic*
- Elastic, perfectly plastic*
- Rigid, lineary strain hardening*
- Elastic, lineary strain hardening*



Gambar 4.5. Jenis-jenis Kurva *Stress – Strain*

4.2 Elastisitas dan Plastisitas

Menurut Kharida, et al. (2009: 84) sifat elastis atau elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk semula setelah gaya luar yang diberikan kepada benda dihilangkan. Sifat elastisitas benda adalah benda yang kembali ke bentuk semula ketika gaya yang bekerja pada benda itu dihilangkan (Giancoli, 2014).

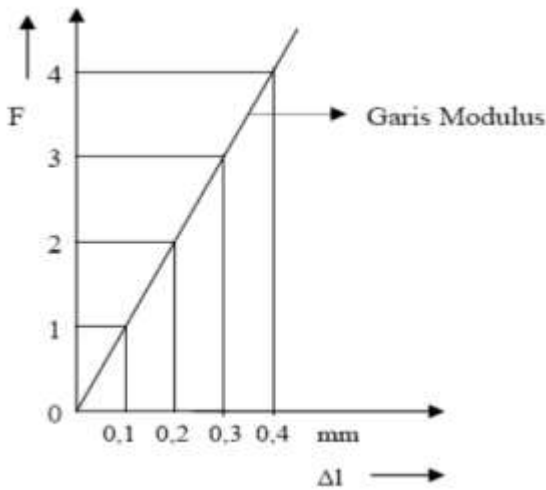
Sifat elastisitas (kelenturan) zat padat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu elastis dan tidak elastis. Benda padat disebut elastis bila benda dapat kembali ke bentuk semula ketika gaya yang semula bekerja pada benda tidak bekerja lagi. Adapun benda padat tidak elastis, apabila benda tersebut tidak memiliki syarat sebagai benda elastis. Dalam kehidupan sehari-hari banyak dijumpai beragam contoh benda padat elastis, misalnya karet, pegas, kawat, dan senar. Dijumpai pula benda tidak elastis, misalnya besi, plastik, dan lidi.

Menurut Jati (2013: 179-180) secara umum, benda bersifat elastis berlaku pada sistem regangan yang terbatas, artinya pada regangan kecil masih termasuk benda elastis, tetapi tidak demikian pada regangan besar.

4.2.1 Elastisitas

Elastisitas merupakan sifat yang dimiliki suatu material yang membuat material akan kembali ke bentuk seperti semula setelah diberi beban atau mengalami perubahan bentuk meskipun beban dihilangkan. Sebuah material yang dapat kembali sepenuhnya ke bentuk semula disebut elastis sempurna, sedangkan material yang tidak dapat sepenuhnya kembali ke bentuk semula disebut elastis parsial (sebagian) (S. Timoshenko dan Goodier, 1986). Elastisitas suatu material sangat ditentukan oleh nilai modulus elastisitas.

Garis modulus berupa garis lurus pada grafik beban dan perpanjangan yang menunjukkan suatu kondisi beban yang berbanding lurus dengan perpanjangan yang terjadi seperti gambar berikut.



Gambar 4.6. Garis Modulus

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa semakin besar sudut garis modulus suatu material yang dihasilkan terhadap sumbu x, maka hal itu berarti bahwa suatu material tersebut memiliki ketahanan yang tinggi terhadap perubahan bentuk elastis dan memiliki nilai modulus elastisitas yang tinggi.

4.2.2 Plastisitas

Plastisitas merupakan sifat yang ada pada suatu material, yaitu ketika pemberian beban dilakukan kepada suatu material sampai mengalami perubahan bentuk kemudian beban tersebut dihilangkan maka benda tidak bisa kembali lagi sepenuhnya ke bentuk semula. Teori plastis dibagi menjadi dua macam, yaitu teori fisik dan teori matematik (Mondelson, 1983).

1. Teori fisik Teori ini menjelaskan bagaimana proses aliran suatu material menjadi plastis. Meninjau pada kandungan mikroskopik material seperti pengerasan kristal atom dan dislokasi butir kandungan material saat mengalami tahap plastisitas.
2. Teori matematik Teori ini didasarkan pada fenomena logis alami dari suatu material yang kemudian dideterminasikan ke dalam suatu rumus yang dipergunakan sebagai acuan

perhitungan pengujian material tanpa diabaikannya sifat dasar dari material.

4.3 Gaya Pegas

Jati (2013: 181-182) menjelaskan pegas merupakan benda elastic, bila diberi tegangan menjadi teregang daerah elastisitasnya. Dari pernyataan tersebut bahwa berlaku hukum hooke yaitu "Pertambahan Panjang sebuah benda adalah sebanding dengan besarnya gaya yang bekerja pada pegas tersebut". Hukum hooke dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = -kx \quad \dots 4.9$$

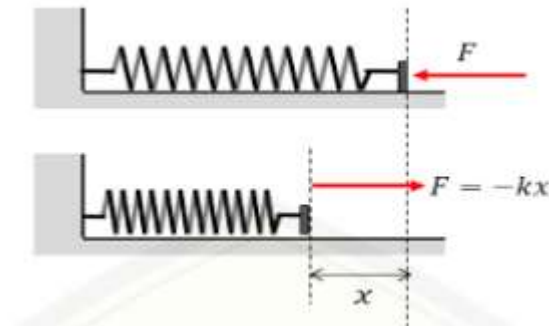
Keterangan:

F = Gaya (N)

k = tetapan pegas (N/m)

x = Panjang pegas (m)

Nilai k bergantung pada jenis bahan yang digunakan, diameter logam pembuat pegas dan diameter spiral dari pegas.

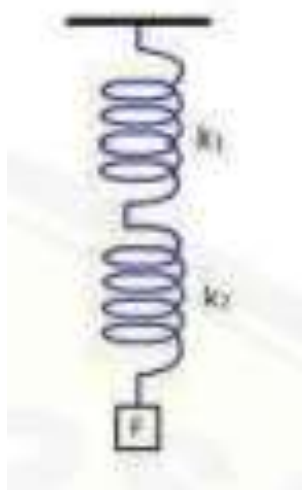


Gambar 4.7. Pegas yang mengalami tegangan

Pegas yang meregang dapat disebabkan oleh tarikan di kedua ujungnya atau tarikan di salah satu ujung pegas, sedangkan ujung yang lainnya ditempelkan pada suatu permukaan (gambar 4.7), karena F selalu menuju ke titik setimbangnya, maka regangan pegas dapat dimaknai sebagai rapatan. Adanya rapatan ini menyebabkan panjang pegas lebih pendek dari panjang pegas pada keadaan setimbang.

Elastisitas pegas bersifat terbatas, artinya bila pegas meregang sampai di luar batas elastisitasnya, hubungan F terhadap x menjadi tidak linier lagi, sehingga hukum hooke tidak berlaku. Selain itu, dapat terjadi pula peristiwa panjang pegas setimbanganya tidak sama dengan panjang ketika pegas belum digunakan. Ketika pegas belum mencapai titik E, maka hubungan antara gaya balik (F) dengan regangan (x) masih lurus (linier) sehingga setelah meregang, pegas dapat kembali ke keadaan semula. Namun, jika regangan telah melampaui batas (titik E), maka hubungan sudah tidak linier, melainkan melengkung. Bila kondisi ini tercapai, panjang pegas setimbanganya berbeda dengan ketika pegas belum diberi beban. Titik E disebut titik limit elastisitas yang dimaknai sebagai batas nilai renggang dimana sifat elastisitas benda masih sesuai dengan hukum hooke.

4.2.1 Susunan Pegas Seri



Gambar 4.8. Susunan pegas seri

Jika dua pegas dengan konstanta pegas K_1 dan K_2 disusun secara seri, maka dapat diperoleh persamaan,

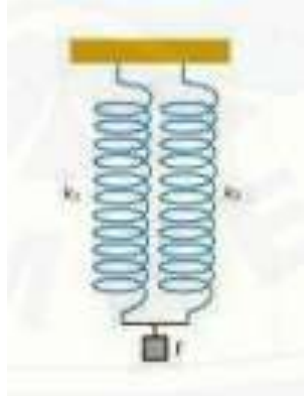
$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \quad \dots (4.10)$$

Untuk susunan seri yang terdiri atas n buah pegas, maka berlaku:

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \cdots + \frac{1}{k_n} \quad \text{..... (4.11)}$$

Dimana k_s merupakan pegas yang disusun secara seri.

4.2.2 Susunan Pegas Paralel



Gambar 4.9. Susunan pegas paralel

Jika dua pegas dengan konstanta pegas K_1 dan K_2 diusun secara paralel, maka dapat diperoleh persamaan,

$$k_p = k_1 + k_2 \quad \text{..... 4.12}$$

Untuk susunan paralel yang terdiri atas n buah pegas, maka berlaku:

$$k_p = k_1 + k_2 + k_3 + \cdots + k_n \quad \text{..... 4.13}$$

(Karida, et al., 2009: 85)

DAFTAR PUSTAKA

- Bueche, F. J. 1992. Teori dan Soal-soal Fisika Edisi Kedelapan. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Gere, J.M., Timoshenko. 1997. Mekanika Bahan – Terjemahan Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, Douglas C.. 2014. Fisika: Prinsip dan Aplikasi Edisi ke 7 Jilid 1. Jakarta: Erlangga.
- Jati, B. M. 2013. Pengantar Fisika 1. Yogyakarta: Gadjah Mada University.
- Kharida, L. A., Rusilowati, A., dan Pratiknyo, K. 2009. Penerapan model pembelajaran berbasis masalah untuk peningkatan hasil belajar siswa pada pokok bahasan elastisitas bahan. Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia. 5(2009): 83-89.
- Marciniak, Z., et al. 2002. "Mechanics of Sheet Metal Forming", Butterworth-Heinemann, London.
- Mondelson. 1983. Plasticity: Theory and Application. Publishing Companies, Florida.
- Rao, P.N. 1987. Manufacturing Technology: Foundry, Forming and Welding. McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Salmon, Charles G. and John E. Johnson. 1996. Steel Structures, Design and Behavior 4th ed.: Emphasizing Load and Resistance Factor Design. Harper Collins College Publishers. New York. Pp 1026.
- Sears & Zemansky. 2004. *University Physics*. 10th ed. Addison-Wesley Publishing Company. Massachusetts.
- Singer, F.L., dan Andre Pytel. 1995. Ilmu Kekuatan Bahan (Teori Kokoh - Strength of Material). Alih Bahasa Darwin Sebayang, edisi II. Jakarta: Erlangga.
- Timoshenko, S dan Goodier J.N. 1986. Teori Elastisitas. Jakarta: Erlangga.

BAB 5

TEGANGAN PADA BEBAN AXIAL

Oleh Zainuddin

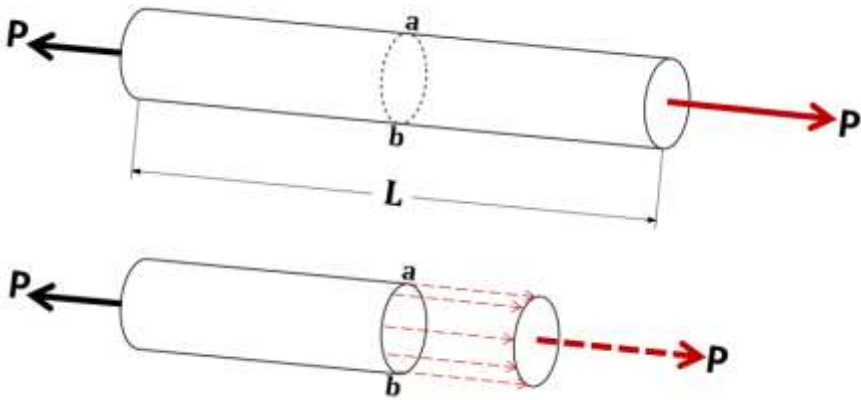
5.1 Tegangan

Setiap material memiliki sifat elastis pada keadaan alaminya. Oleh karena itu jika terdapat gaya luar yang bekerja pada benda, maka benda tersebut akan mengalami suatu deformasi. Ketika benda tersebut mengalami deformasi, molekulnya akan membentuk tahanan terhadap deformasi (Ir. Amrinsyah, 2013).

Tegangan merupakan intensitas gaya dalam elemen struktur yang terjadi dikarenakan deformasi yang muncul daripada akibat terkena beban luar. Intensitas gaya tersebut dapat diuraikan menjadi tegak lurus dan sejajar dengan irisan yang dapat dianalisis. Penguraian intensitas gaya ini akan menghasilkan tegangan normal dan tegangan geser (Slamet Widodo, 2006:23).

Konsep tegangan dapat diilustrasikan dengan menggunakan batang prismatik yang dikenai gaya aksial. Suatu komponen struktur prismatik adalah suatu elemen struktur lurus dengan penampang melintang yang konstan sepanjang panjangnya. Gaya aksial adalah beban yang searah dengan sumbu elemen sehingga menimbulkan tegangan atau tekan pada komponen tersebut.

Perhatikan Gambar 5.1 diatas, berat sementara diabaikan dalam menggambar diagram benda bebas dan diasumsikan bahwa gaya yang aktif hanyalah gaya aksial P di ujung-ujungnya.

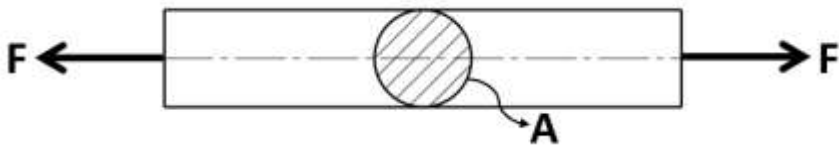


Gambar 5.1. Distribusi Tegangan

Tegangan-tegangan dalam pada batang akan terlihat jika dilakukan potongan khayal pada batang pada penampang a-b, karena potongan ini tegak lurus terhadap sumbu memanjang batang, maka disebut penampang melintang (cross-section).

Gambar 5.1 menunjukkan gaya yang terdistribusi secara kontinyu yang bekerja pada seluruh penampang. Oleh karena itu, gaya aksial P yang bekerja pada penampang merupakan resultan dari gaya-gaya yang terdistribusi secara kontinyu (resultannya diwakili oleh garis putus-putus).

Karena besarnya Tegangan pada suatu benda tergantung pada bentuk penampangnya maka Tegangan dapat dihitung dengan reaksi gaya dalam per satuan luas penampang, Tegangan dilambangkan dengan huruf yunani σ (sigma) untuk benda yang ditarik atau ditekan (uniaksial).



Gambar 5.2. Gaya Uniaksial

Secara matematik tegangan dapat didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, atau:

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

Dimana:

σ = Tegangan (Pa = N/m²)
 F = Gaya Normal, Gaya Luar (N)
 A = Luas Penampang (m²)

Persamaan ini memberikan intensitas tegangan yang seragam pada batang prismatik dengan penampang tegak lurus gaya aksial. Jika batang ditarik dengan gaya P maka tegangannya adalah tarik, jika gaya berlawanan arah sehingga menyebabkan batang tertekan maka akan timbul tegangan tekan. Karena arah tegangan ini tegak lurus terhadap permukaan pemotongan, maka tegangan ini disebut tegangan normal. Oleh karena itu, tegangan normal dapat berupa tegangan tarik atau tegangan tekan.

Tegangan Normal merupakan intensitas gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan tampang melintangnya. Tegangan normal yang berakibat gaya tarik maka diberi tanda positif (+), sedangkan tegangan normal yang berakibat tekan maka diberi tanda negatif (-). Tanda positif dan negatif sebagai tanda apakah benda yang mengalami gaya mengalami pemanjangan atau mengalami pemendekan.

Gaya dinyatakan dalam bentuk newton (N) dan luas dalam meter kuadrat (m²), hal ini apabila menggunakan Satuan Internasional atau SI. Rumus tegangan diatas menghasilkan satuan newton per meter kuadrat (N/m²), atau sering dikenal dengan Pascal (Pa).

N/m ² = Pa (Pascal)	
kPa	= 10 ³ Pa
MPa	= 10 ⁶ Pa
GPa	= 10 ⁹ Pa

Persamaan $\sigma = P/A$ ini berlaku apabila tegangan terbagi rata di seluruh penampang.

5.2 Tegangan Akibat Berat Sendiri

Pada umumnya untuk menentukan besarnya suatu tegangan yang diakibatkan oleh suatu beban aksial akibat berat batang sendiri sering diabaikan perhitungannya, akan tetapi ada kalanya berat batang tersebut harus diperhitungkan seperti pada suatu perencanaan alat.

Benda yang digantung dan mendapat tarikan yang sama dengan tarikan akibat berat sendiri. Jika ditambah dengan beban pada ujungnya, maka tegangan tarik menjadi:

$$\sigma_t = \frac{W + F}{A}$$
$$= \frac{V \cdot \gamma + F}{A}$$

$$W = V \cdot \gamma$$

Keterangan;

σ_t = Tegangan tarik yang terjadi (N/m²)

W = Gaya akibat beban sendiri (N)

F = Gaya luar (N)

A = Luas penampang (m²)

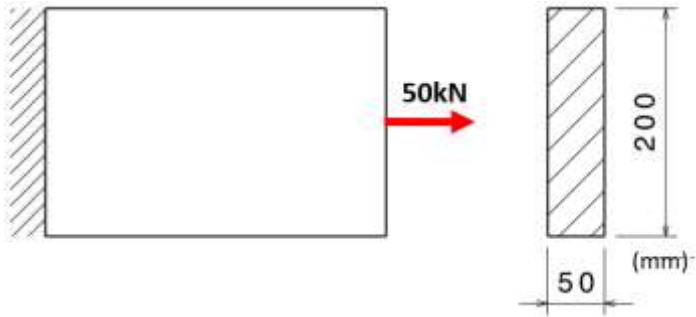
V = Volume benda (m³)

γ = Massa jenis benda (N/m³)

5.3 Contoh Soal

SOAL 1.

Sebuah balok yang memiliki lebar dan tinggi 50 mm x 200mm menerima gaya tarik sebesar 50kN seperti pada gambar dibawah, tentukan besarnya Tegangan yang terjadi pada balok tersebut?



Jawab:

Diketahui : $F = 50 \text{ kN} = 50 \cdot 10^3 \text{ N}$
 $A = 50 \times 200$
 $= 10000 \text{ mm}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2$

Ditanyakan : σ ?

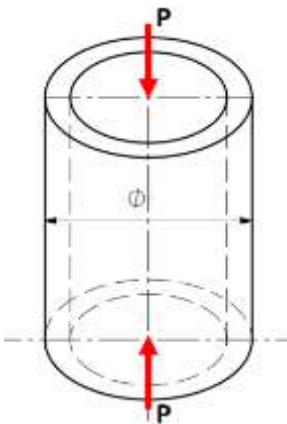
Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \text{Rumus } \sigma &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{50 \cdot 10^3}{10^{-2}} \\ &= 5 \cdot 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \approx 5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jadi, besarnya tegangan yang terjadi pada balok tersebut sebesar 5 Mpa.

SOAL 2.

Baja berongga seperti pada gambar disamping memiliki diameter 140 mm pada bagian luarnya, dan tebal batang adalah $\frac{1}{8}$ dari diameter luarnya mengalami gaya aksial sebesar 1200 kN. Tentukan tegangan yang terjadi pada batang berongga tersebut!



Jawab:

Diketahui $D = 140 \text{ mm}$
 : $\text{Tebal} = \frac{1}{8} \cdot 140$
 mm
 $F = 1200 \text{ kN}$

Ditanya : σ?

Dijawab : Luas Penampang Batang

$$A = A_1 - A_2$$

$A_1 =$ Luas Penampang Luar

$$\begin{aligned} A_1 &= \pi r^2 \text{ atau } \pi \frac{D^2}{4} \\ &= 3,14 \cdot \frac{140^2}{4} \\ &= 15.386 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Untuk mencari A_2 ,maka perlu Diameter dalam (diameter luar dikurangi ketebalan)

$$\begin{aligned} d &= D - 2 \cdot \frac{1}{8} \cdot 140 \\ &= 140 - \frac{140}{4} = 140 - 35 \\ &= 105 \text{ mm} \end{aligned}$$

$A_2 =$ Luas penampang dalam

$$\begin{aligned} &= 3,14 \cdot \frac{105^2}{4} \\ &= 8.654,625 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas Penampang

$$\begin{aligned} A &= A_1 - A_2 \\ &= 15.386 - 8.654.625 \\ &= 6731,375 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tegangan Tekan yang terjadi,

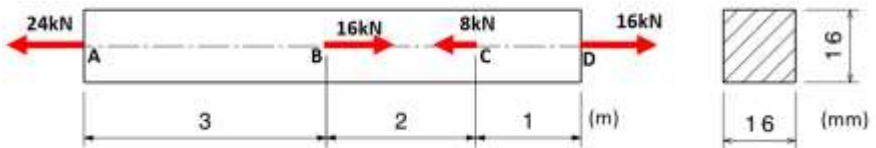
$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{F}{A} \\ \sigma &= \frac{1200}{6731,375} \\ \sigma &= 0,178269 \frac{kN}{mm^2} \\ &\approx 178,269 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jadi, besarnya tegangan yang terjadi pada Batang baja berongga tersebut sebesar **178,269 MPa**.

SOAL 3.

Gaya bekerja pada tiap segmen

Batang baja AD seperti pada gambar soal memiliki panjang 6 meter dan berpenampang bujur sangkar yang mempunyai panjang sisi-sisinya 16 mm, batang dikenai beberapa beban aksial di beberapa titik tertentu. Hitunglah besaran tegangan yang terjadi pada setiap ruas-ruasnya!

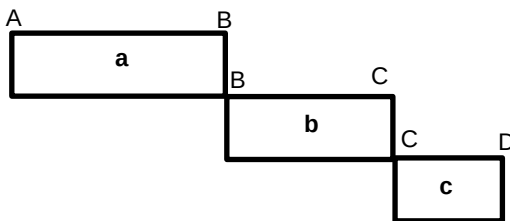


Petunjuk penyelesaian.

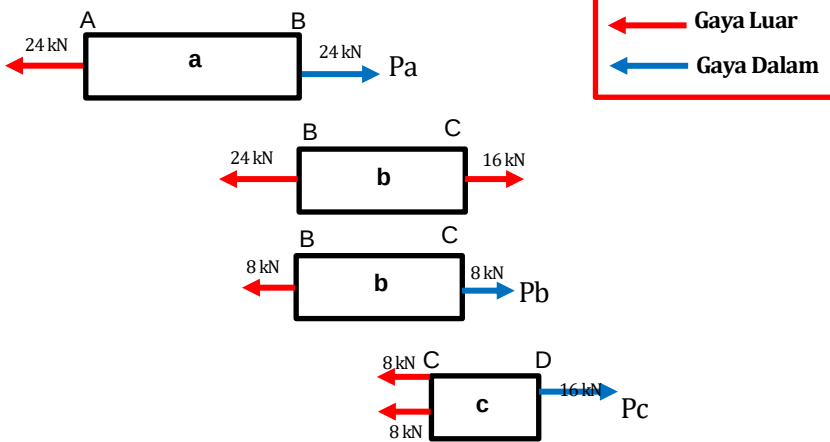
Persoalan diatas dapat dihitung tegangan yang terjadi dengan cara menguraikan gaya-gaya yang bekerja pada tiap segmen, yaitu dengan cara membagi bagian menjadi beberapa segmen sehingga didapatkan diagram benda bebas. Gaya aksial yang terjadi pada setiap penampang dapat kita tentukan dimulai dengan gaya yang sudah diketahui pada ujung-ujungnya, baik dari sebelah kiri maupun sebelah kanan.

Penyelesaian diagram benda bebas dari kiri,

Pertama, bagi dengan beberapa segmen seperti gambar dibawah ini,



Kedua, uraikan gaya yang bekerja dengan memperhatikan gaya luar dan gaya luarnya.



Ketiga, mencari tegangan yang terjadi.

Diketahui: $A = 16 \times 16 = 256 \text{ mm}^2 = 256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$

$$P_a = 24 \text{ kN} = 24 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$P_b = 8 \text{ kN} = 8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$P_c = 16 \text{ kN} = 16 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Ditanya : $\sigma_{a,b,c,\dots}$?

Penyelesaian :

Mencari σ_a ,

$$\sigma_a = \frac{P_a}{A}$$

$$\sigma_a = \frac{24 \cdot 10^3 \text{ N}}{256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_a = 93,75 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_a = 93,75 \text{ MPa}$$

Mencari σ_b ,

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{8 \cdot 10^3 \text{ N}}{256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_b = 31,25 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_b = 31,25 \text{ MPa}$$

Mencari σ_c ,

$$\sigma_c = \frac{P_c}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{16 \cdot 10^3 \text{ N}}{256 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_c = 62,5 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

$$\sigma_c = 62,5 \text{ MPa}$$

Jadi, besarnya Tegangan di segmen a,b, dan c adalah 93,75 Mpa, 31,25 Mpa, dan 62,5 Mpa. Sehingga tegangan yang terbesar terjadi pada segmen a yaitu 93,75 Mpa.

Penyelesaian diagram benda bebas dari kanan,

DAFTAR PUSTAKA

- Hajar Isworo.2018. Mekanika Kekuatan Material I.Banjarmasin:
Universitas Lambung Mangkurat.
- Amrinsyah.2013. Mekanika Kekuatan Material. Medan: Universitas
Medan Area
- Ir Suyitno. Mekanika Teknik 2. Bandung: Pusat Pengembangan
Pendidnikan Politeknik.

BAB 6

REGANGAN PADA BEBAN AKSIAL

Oleh Ludvi Arif Wibowo

6.1 Regangan

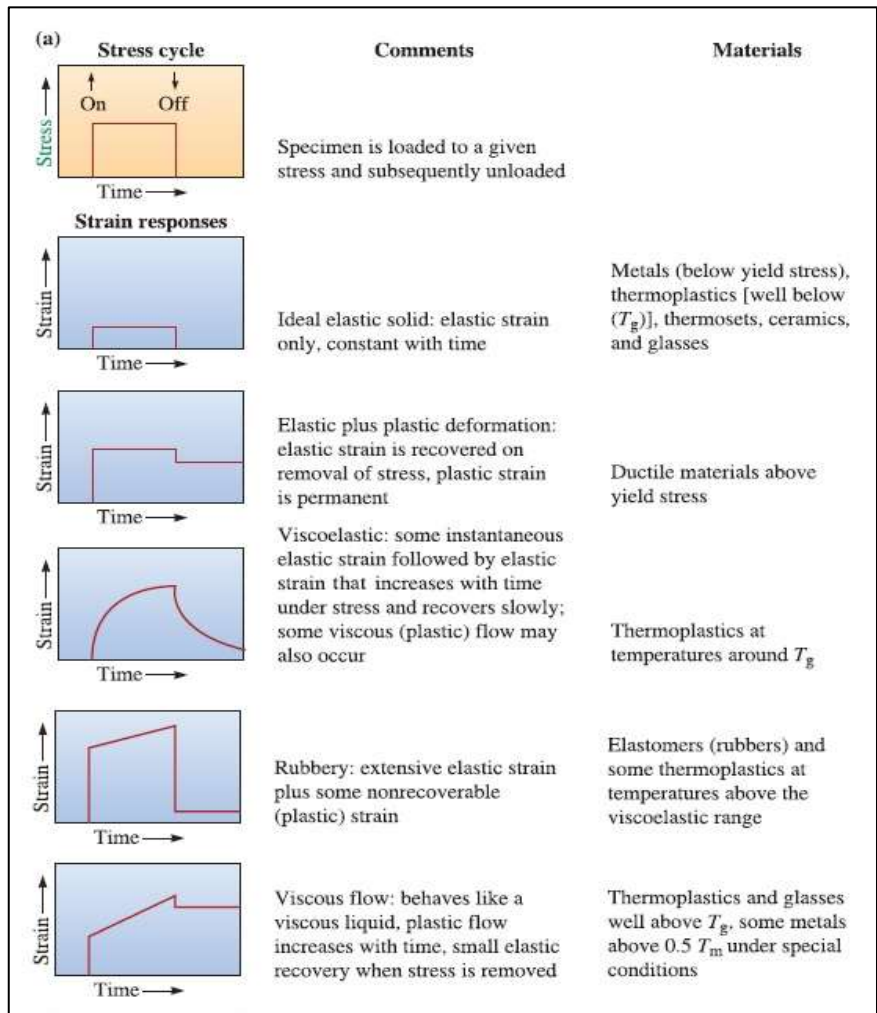
Perubahan nilai dalam dimensi sebuah bahan yang dihasilkan oleh gaya disebut sebagai regangan. Untuk gaya tarik atau tekan, regangan adalah rasio perubahan panjang terhadap panjang asli. Terdapat 2 jenis regangan yaitu regangan elastis dan regangan permanen atau regangan plastis.

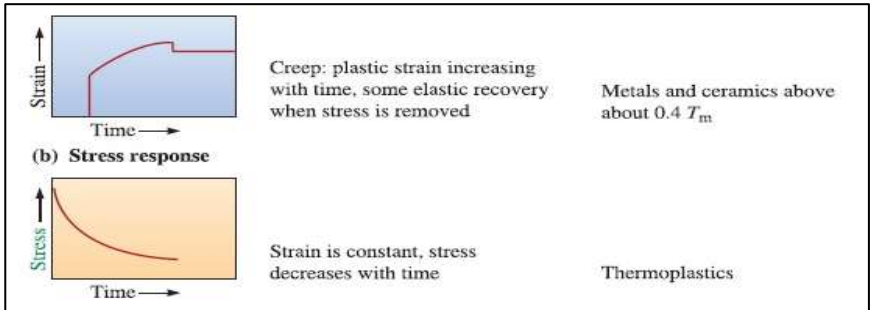
Regangan elastis didefinisikan sebagai regangan yang sepenuhnya dapat pulih yang disebabkan oleh tegangan yang diterapkan. Regangan bersifat "elastis" jika terjadi secara instan (artinya, regangan terjadi segera setelah gaya diterapkan), tetap ada selama tegangan diterapkan, dan pulih saat gaya ditarik. Material yang mengalami regangan elastis tidak menunjukkan deformasi permanen (artinya, kembali ke bentuk aslinya setelah gaya atau tegangan dihilangkan). Bayangkan meregangkan pegas logam yang kaku dengan sedikit gaya dan melepaskannya. Jika pegas tersebut segera kembali ke dimensi aslinya, maka regangan yang terjadi pada pegas tersebut adalah elastis.

Deformasi permanen atau plastik pada suatu material dikenal sebagai regangan plastis. Dalam kasus ini, ketika tegangan dihilangkan, material tidak kembali ke bentuk aslinya. Misalnya, penyok pada mobil adalah deformasi plastis! Perlu diperhatikan bahwa istilah "plastik" di sini tidak mengacu pada regangan pada material plastik (polimer), melainkan pada regangan permanen pada material apa pun.

Laju di mana regangan terjadi pada suatu material didefinisikan sebagai laju regangan. Satuan dari laju regangan adalah s^{-1} . Banyak material yang dianggap lentur berperilaku seperti bahan rapuh ketika laju regangannya tinggi. Silly Putty® (sebuah polimer silikon) adalah contoh dari material tersebut. Ketika laju regangan rendah, Silly Putty® dapat menunjukkan

keuletan yang signifikan. Namun, ketika ditarik dengan cepat (pada laju regangan tinggi), kita tidak memungkinkan perpanjangan dan pemisahan rantai molekul polimer yang besar, dan akibatnya, material tersebut patah. Ketika material terkena laju regangan tinggi, kita sebut jenis pembebanan ini sebagai pembebanan tumbukan. Gambar 6.1 menunjukkan variasi regangan dari setiap material.





Gambar 6.1. (a) Berbagai jenis respons regangan terhadap tegangan yang diberlakukan di mana T_g = temperatur transisi kaca dan T_m = titik leleh. (b) Relaksasi tegangan pada material viskoelastis. Perhatikan sumbu vertikal adalah tegangan. Regangan konstan.

(Sumber : C. Newey and G. Weaver ,1991)

Material yang bersifat kental adalah materi di mana regangan terjadi dalam rentang waktu tertentu, dan materi tersebut tidak kembali ke bentuk aslinya setelah tegangan dihilangkan. Pengembangan regangan membutuhkan waktu dan tidak sejalan dengan tegangan yang diterapkan. Selain itu, materi akan tetap terdeformasi ketika tegangan ditarik (artinya, regangannya akan bersifat plastis). Materi viskoelastis (atau anelastis) dapat dianggap sebagai material dengan respons di antara material kental dan material elastis. Istilah "anelastis" biasanya digunakan untuk logam, sedangkan istilah "viskoelastis" biasanya terkait dengan material polimer. Banyak plastik (baik padat maupun cair) adalah viskoelastis. Contoh umum dari material viskoelastis adalah Silly Putty®. Pada material viskoelastis, pengembangan regangan permanen mirip dengan yang terjadi pada material kental. Berbeda dengan materi kental, ketika tegangan ditarik, sebagian regangan pada material viskoelastis akan pulih dalam rentang waktu tertentu. Pemulihan regangan merujuk pada perubahan bentuk material setelah tegangan yang menyebabkan deformasi dihilangkan. Deskripsi kualitatif pengembangan regangan sebagai fungsi waktu sehubungan dengan gaya yang diterapkan pada material elastis, kental, dan viskoelastis. Pada material viskoelastis yang dipertahankan pada regangan konstan, jika kita menunggu, tingkat

tegangan akan menurun dalam rentang waktu. Ini dikenal sebagai relaksasi tegangan. Pemulihan regangan dan relaksasi tegangan adalah istilah yang berbeda dan sebaiknya tidak bercampur aduk. Contoh umum dari relaksasi tegangan diberikan oleh senar nilon pada raket tenis. Kita tahu bahwa tingkat tegangan, atau "ketegangan," seperti yang disebut oleh pemain tenis, akan menurun seiring waktu. Simbol yang digunakan untuk regangan adalah ε (epsilon Yunani). Untuk sebuah bahan dengan panjang L meter yang mengalami perubahan panjang sebesar x meter ketika dikenai tekanan,

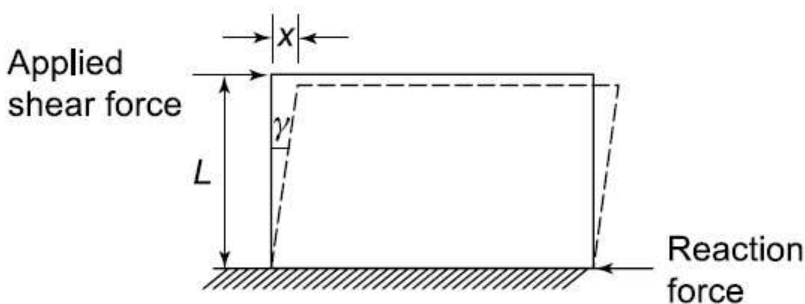
$$\varepsilon = \frac{x}{L} \quad (6.1)$$

Regangan tidak memiliki dimensi dan sering kali diungkapkan dalam bentuk persentase,

$$\text{Persentase Regangan} = \frac{x}{L} \times 100 \quad (6.2)$$

Untuk gaya geser, regangan dinotasikan dengan simbol γ (gamma) dan, dengan merujuk pada Gambar 6.2, sebagai berikut :

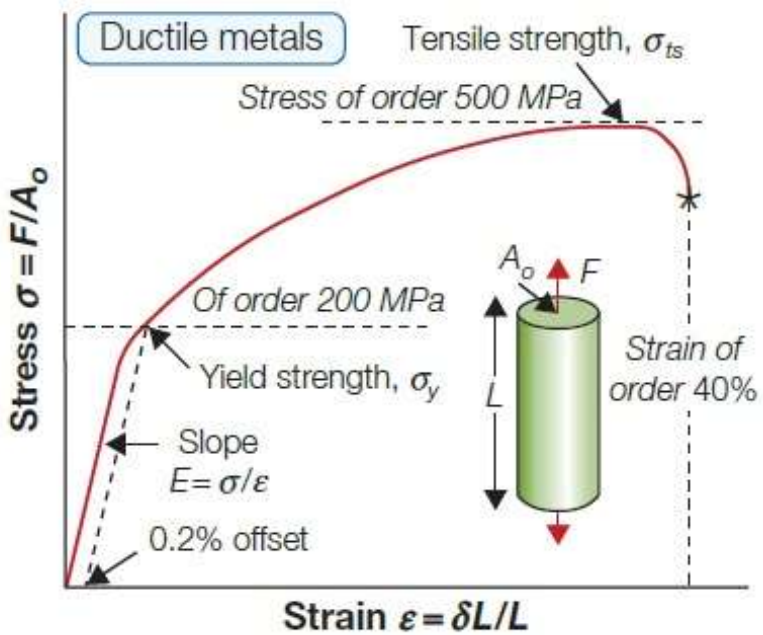
$$\gamma = \frac{x}{L}$$



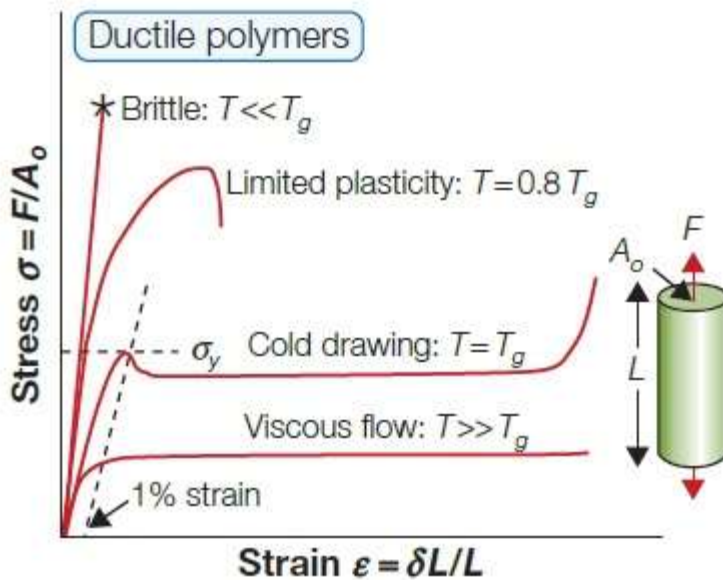
Gambar 6.2. Diagram Regangan
(Sumber : *John Bird, Carl Ross, 2015*)

Setiap material mempunyai persentase regangan yang berbeda. Untuk logam tegangan di mana kurva tegangan-regangan untuk pembebanan aksial menyimpang sebesar 0,2% dari garis

elastis linier, ini sama baik pada tarikan maupun tekanan (Gambar 6.3). Untuk polimer, σ_f diidentifikasi sebagai tegangan di mana kurva tegangan-regangan menjadi sangat nonlinear, pada regangan biasanya sekitar 1% (Gambar 6.4). Ini bisa disebabkan oleh regangan geser: geser tak terbalik dari rantai molekul; atau bisa disebabkan oleh crazing: pembentukan volume berkeretakan dengan kepadatan rendah yang menyebabkan penyinaran cahaya tersebar, membuat polimer terlihat putih. Polimer sedikit lebih kuat ($\approx 20\%$) dalam tekanan daripada pada tarikan.



Gambar 6.3. Diagram Tegangan – Regangan Material Logam
(Sumber : C. Newey and G. Weaver ,1991)



Gambar 6.4. Diagram Tegangan – Regangan Material Polimer
(Sumber : C. Newey and G. Weaver ,1991)

Contoh Soal :

Sebuah batang dengan panjang 1,60 m mengalami kontraksi secara aksial sebesar 0,1 mm saat diberi beban tekanan. Tentukan regangan dan persentase regangannya!

Diketahui:

Panjang batang (awal) = 1,60 m

Perubahan panjang (akibat tekanan) = 0,1 mm = $0,1 \times 10^{-3}$ m

Regangan (ϵ) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Regangan } (\epsilon) = \frac{\text{Perubahan Panjang}}{\text{Panjang Awal}}$$

Substitusi nilai-nilai yang diketahui:

$$\epsilon = \frac{0,1 \times 10^{-3} \text{ m}}{1,60 \text{ m}}$$

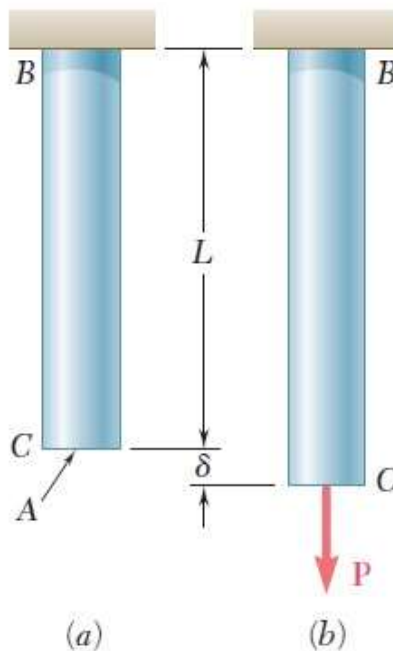
$$\epsilon = 6,25 \times 10^{-5}$$

Sekarang, untuk menentukan persentase regangan:

$$\begin{aligned}\text{Persentase Regangan} &= \text{Regangan } (\epsilon) \times 100\% \\ &= 0,0000625 \times 100 \\ &= 0,00625\%\end{aligned}$$

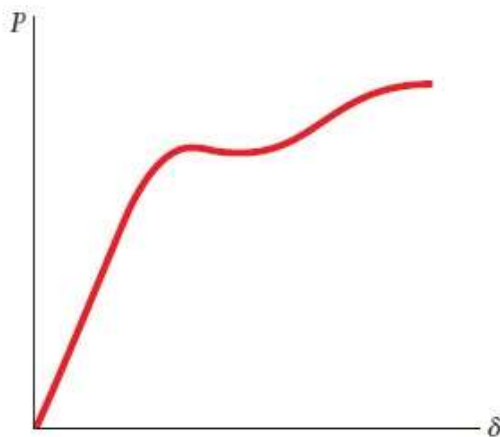
6.2 Regangan Normal Pada Beban Aksial

Coba kita perhatikan sebuah batang BC, dengan panjang L dan luas penampang yang seragam pada area A yang tergantung pada area B (Gambar 6. 5a). Jika kita berikan suatu beban P pada permukaan ujung C, maka batang akan mengalami pertambahan panjang (Gambar 6. 5b).

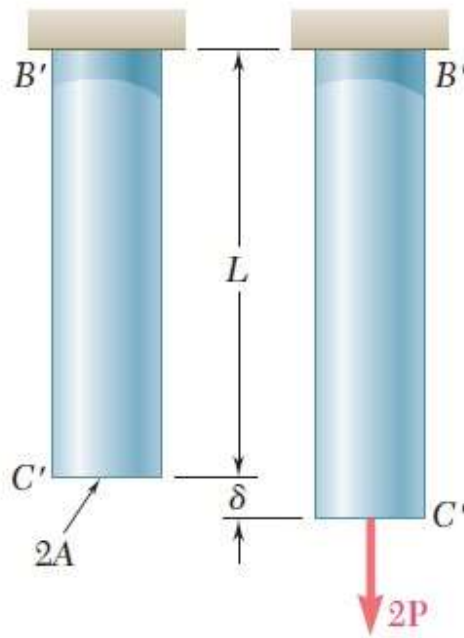


Gambar 6.5. Pertambahan Panjang (Deformasi) Pada Batang Dengan Beban Aksial
(Sumber : *Ferdinand, Russel, et all, 2012*)

Dengan membuat grafik magnitude P dari beban terhadap deformasi δ (delta), kita mendapatkan suatu diagram beban-deformasi tertentu (Gambar 6. 6). Meskipun diagram ini berisi informasi yang berguna untuk analisis batang yang sedang dipertimbangkan, diagram tersebut tidak dapat digunakan secara langsung untuk memprediksi deformasi dari batang yang terbuat dari bahan yang sama tetapi dengan dimensi yang berbeda. Memang, kita mengamati bahwa jika deformasi δ dihasilkan pada batang BC oleh beban P , maka diperlukan beban $2P$ untuk menyebabkan deformasi yang sama pada batang B'C' dengan panjang L yang sama, tetapi dengan luas penampang $2A$ (Gambar 6.7).

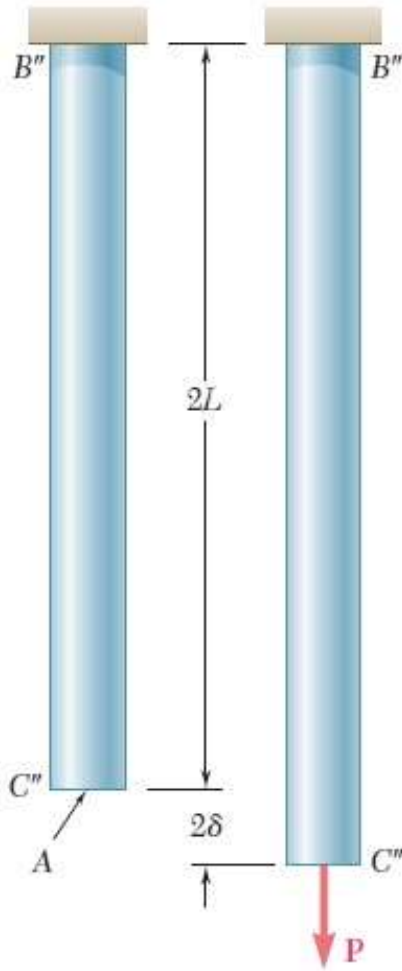


Gambar 6.6. Diagram Beban Deformasi
(Sumber : *Ferdinand, Russel, et all, 2012*)



Gambar 6.7. Luas Penampang Batang Berbeda ($2A$)
(Sumber : *Ferdinand, Russel, et all, 2012*)

Kita catat bahwa, dalam kedua kasus tersebut, nilai tegangan adalah sama: $\sigma = P/A$. Di sisi lain, beban P yang diterapkan pada batang B''C'', dengan luas penampang A yang sama, tetapi dengan panjang $2L$, menyebabkan deformasi 2δ pada batang tersebut (Gambar 6.8), yaitu deformasi dua kali lipat dari deformasi δ yang dihasilkannya pada batang BC. Namun, dalam kedua kasus tersebut, rasio deformasi terhadap panjang batang adalah sama; sama dengan δ/L .



Gambar 6.8. Batang Lebih Panjang ($2L$)
(Sumber : *Ferdinand, Russel, et all, 2012*)

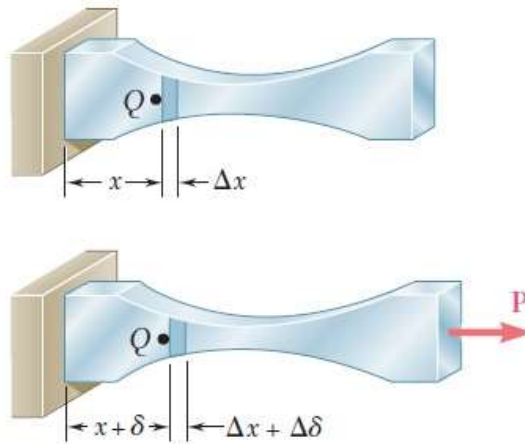
Pengamatan ini membawa kita untuk memperkenalkan konsep regangan: Kami mendefinisikan regangan normal dalam sebuah batang yang sedang mengalami beban aksial sebagai deformasi per unit panjang dari batang tersebut. Dengan menyebut regangan normal dengan ε (huruf Yunani epsilon), kami menulis:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L} \quad (6.3)$$

Membuat grafik tegangan $\sigma = P/A$ terhadap regangan $\epsilon = \delta/L$, kita mendapatkan kurva yang merupakan karakteristik dari sifat-sifat material dan tidak bergantung pada dimensi spesimen tertentu yang digunakan. Kurva ini disebut diagram tegangan-regangan.

Karena batang BC yang dipertimbangkan dalam pembahasan sebelumnya memiliki penampang melintang seragam dengan luas A , maka tegangan normal σ dapat diasumsikan memiliki nilai konstan P/A di seluruh batang. Dengan demikian, tepat untuk mendefinisikan regangan ϵ sebagai rasio deformasi total δ terhadap panjang total L batang. Namun, dalam kasus anggota dengan penampang melintang yang bervariasi A , tegangan normal $\sigma = P/A$ bervariasi sepanjang anggota, dan penting untuk mendefinisikan regangan di titik Q tertentu dengan mempertimbangkan elemen kecil berpanjang Δx yang belum terdeformasi (Gambar 6.9). Dengan menyebut $\Delta\delta$ sebagai deformasi elemen di bawah pembebanan yang diberikan, kami mendefinisikan regangan normal di titik Q sebagai:

$$\epsilon = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta\delta}{\Delta x} = \frac{d\delta}{dx} \quad (6.4)$$



Gambar 6.9. Deformasi Dengan Beban Aksial Pada Luas Penampang Yang Berbeda
(Sumber : *Ferdinand, Russel, et all, 2012*)

Karena deformasi dan panjang dinyatakan dalam satuan yang sama, regangan normal P yang diperoleh dengan membagi δ oleh L (atau $d\delta$ oleh dx) adalah besaran tanpa dimensi. Dengan demikian, nilai numerik yang sama diperoleh untuk regangan normal dalam suatu anggota tertentu, baik menggunakan satuan metrik SI maupun satuan kebiasaan Amerika Serikat. Sebagai contoh, pertimbangkan batang dengan panjang $L = 0,600 \text{ m}$ dan penampang melintang seragam, yang mengalami deformasi $\delta = 150 \times 10^{-6} \text{ m}$. Regangan yang sesuai adalah

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\delta}{L} = \frac{150 \times 10^{-6} \text{ m}}{0.600 \text{ m}} \\ \varepsilon &= 250 \times 10^{-6} \text{ m/m} \\ \varepsilon &= 250 \times 10^{-6}\end{aligned}$$

Perlu dicatat bahwa deformasi bisa juga diungkapkan dalam mikrometer: $\delta = 150 \mu\text{m}$. Kita akan menulis :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\delta}{L} = \frac{150 \mu\text{m}}{0.600 \text{ m}} \\ \varepsilon &= 250 \frac{\mu\text{m}}{\text{m}} = 250\mu\end{aligned}$$

dan membaca jawabannya sebagai "250 mikro." Jika menggunakan satuan Amerika Serikat, panjang dan deformasi batang yang sama adalah :

$L = 23.6 \text{ in}$, dan $\delta = 5.91 \times 10^{-3} \text{ in}$. Sehingga regangan yang terjadi adalah,

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\delta}{L} = \frac{5.91 \times 10^{-3} \text{ in}}{23.6 \text{ in}} \\ \varepsilon &= 250 \times 10^{-6} \text{ in/in}\end{aligned}$$

Nilai yang sama dengan yang kita temukan menggunakan satuan SI. Namun, umumnya, ketika panjang dan deformasi diungkapkan dalam inci atau mikroiinci ($\mu\text{in.}$), kita mempertahankan satuan asli dalam ekspresi yang diperoleh untuk regangan. Dengan demikian, dalam contoh kita, regangan akan dicatat sebagai $\varepsilon = 250 \times 10^{-6} \frac{\text{in}}{\text{in}}$ atau, sebagai alternatif, sebagai $\varepsilon = 250 \frac{\mu\text{in}}{\text{in}}$.

DAFTAR PUSTAKA

- John Bird, Carl Ross 2015, Mechanical Engineering Principles, 3th Edition, Routledge, USA.
- Ferdinand, Russel, et al 2012, Mechanics of Materials 6th Edition, New Caledonia, USA.
- Ashby 2011, Material Selection in Mechanical Design 4th Edition, Elsevier Ltd. USA.
- Donald, et al 2010, The Science And Engineering of Materials 6th Edition, Stamford, USA.
- C. Newey dan G. Weaver, et al 1991, Materials Principles and Practice, Butterworth-Heinemann, USA

BAB 7

ANALISIS TEGANGAN DAN DEFORMASI

Oleh Ansarullah Lawi

7.1 Pendahuluan

Dalam dunia industri, analisis stress dan deformasi merupakan hal yang sangat penting dalam proses desain produk (Viau et al., 2010). Analisis ini dilakukan untuk memastikan bahwa produk yang dirancang aman dan dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi yang diinginkan. Menurut Hristovska and Stavreva (2021), analisis stress dan deformasi membantu para insinyur dan desainer untuk memahami bagaimana suatu produk akan berperilaku di bawah beban tertentu dan bagaimana mereka dapat memperbaiki desain produk untuk menghindari kegagalan.

Tujuan dari bab ini adalah untuk memberikan pemahaman dasar tentang analisis stress dan deformasi. Bab ini akan membahas prinsip-prinsip dasar analisis stress dan deformasi, jenis-jenis analisis stress dan deformasi, serta contoh kasus kegagalan produk dan bagaimana analisis stress dan deformasi dapat mencegahnya.

Pentingnya analisis stress dan deformasi dalam desain produk tidak dapat diabaikan. Produk yang dirancang tanpa mempertimbangkan analisis stress dan deformasi dapat mengakibatkan kegagalan produk yang berbahaya dan merugikan (Dasgupta & Haslach, 1993). Sebagai contoh, sebuah jembatan yang dirancang tanpa mempertimbangkan analisis stress dan deformasi dapat runtuh dan menyebabkan kerugian besar dalam bentuk kerusakan fisik dan finansial.

Oleh karena itu, para insinyur dan desainer harus memahami prinsip-prinsip dasar analisis stress dan deformasi untuk memastikan bahwa produk yang mereka rancang aman dan dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi yang diinginkan. Prinsip-prinsip ini meliputi analisis gaya dan momen, representasi

stress pada elemen stress, jenis-jenis analisis stress dan deformasi, dan lain sebagainya (Broutman & Krishnamachari, 1993).

Dalam bab ini, kita akan membahas prinsip-prinsip dasar analisis stress dan deformasi secara rinci. Kita akan mempelajari bagaimana menganalisis gaya dan momen pada suatu produk, bagaimana merepresentasikan stress pada elemen stress, dan jenis-jenis analisis stress dan deformasi yang dapat dilakukan. Selain itu, kita juga akan membahas contoh kasus kegagalan produk dan bagaimana analisis stress dan deformasi dapat mencegahnya.

Dalam bab ini, kita juga akan membahas pentingnya memastikan keamanan produk yang dirancang. Kita akan mempelajari bagaimana memastikan bahwa produk yang dirancang aman dan dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi yang diinginkan. Kita juga akan membahas bagaimana memperbaiki desain produk untuk menghindari kegagalan dan bagaimana memastikan bahwa produk yang dirancang memenuhi standar keamanan yang berlaku.

Dengan memahami penjelasan pada bab ini, kita akan menegaskan kembali pentingnya analisis stress dan deformasi dalam desain produk. Kita akan menekankan bahwa para insinyur dan desainer harus memahami prinsip-prinsip dasar analisis stress dan deformasi untuk memastikan bahwa produk yang mereka rancang aman dan dapat berfungsi dengan baik dalam kondisi yang diinginkan. Kita juga akan menekankan pentingnya memastikan keamanan produk yang dirancang dan bagaimana memperbaiki desain produk untuk menghindari kegagalan.

7.2 Prinsip-prinsip Analisis Stress dan Deformasi

Dalam sub bab ini, kita akan membahas prinsip-prinsip dasar analisis stress dan deformasi secara rinci. Prinsip-prinsip ini meliputi analisis gaya dan momen, representasi stress pada elemen stress, jenis-jenis analisis stress dan deformasi, dan lain sebagainya.

7.2.1 Analisis Gaya dan Momen

Analisis gaya dan momen adalah prinsip dasar dalam analisis stress dan deformasi (Lee et al., 1977). Dalam analisis ini, kita mempelajari bagaimana gaya dan momen bekerja pada suatu

produk dan bagaimana mereka mempengaruhi stress dan deformasi pada produk tersebut.

Gaya adalah besaran vektor yang menunjukkan kekuatan yang bekerja pada suatu produk (Krantz, 1973). Gaya dapat berupa gaya tegangan, gaya geser, atau gaya kombinasi. Momen adalah besaran vektor yang menunjukkan kekuatan rotasi yang bekerja pada suatu produk (Rowe, 2010). Momen dapat berupa momen torsional atau momen lentur.

Dalam analisis gaya dan momen, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran gaya dan momen yang bekerja pada suatu produk. Kita juga harus mempertimbangkan titik-titik di mana gaya dan momen bekerja pada suatu produk.

7.2.2 Representasi Stress pada Elemen Stress

Representasi stress pada elemen stress adalah prinsip dasar dalam analisis stress dan deformasi (Saravanan, 2008). Dalam analisis ini, kita merepresentasikan stress pada suatu produk dengan menggunakan elemen stress.

Elemen stress adalah elemen kecil yang merepresentasikan stress pada suatu produk (De Souza Lima & Soriano, 1997). Elemen stress dapat berupa elemen tegangan atau elemen geser. Elemen tegangan merepresentasikan stress normal pada suatu produk, sedangkan elemen geser merepresentasikan stress geser pada suatu produk.

Dalam representasi stress pada elemen stress, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran stress pada suatu produk. Kita juga harus mempertimbangkan titik-titik di mana stress terjadi pada suatu produk.

7.2.3 Jenis-jenis Analisis Stress dan Deformasi

Jenis-jenis analisis stress dan deformasi adalah prinsip dasar dalam analisis stress dan deformasi. Dalam analisis ini, kita mempelajari berbagai jenis analisis stress dan deformasi yang dapat dilakukan pada suatu produk.

Jenis-jenis analisis stress dan deformasi meliputi analisis tegangan, analisis deformasi, analisis torsional, dan analisis kombinasi (Ghuku & Saha, 2017). Analisis tegangan meliputi analisis

tegangan normal, analisis tegangan geser, dan analisis tegangan kombinasi. Analisis deformasi meliputi analisis deformasi normal, analisis deformasi geser, dan analisis deformasi kombinasi. Analisis torsional meliputi analisis momen torsional, analisis kecepatan rotasi, dan analisis daya. Analisis kombinasi meliputi analisis kombinasi tegangan dan analisis kombinasi momen.

Dalam jenis-jenis analisis stress dan deformasi, kita harus mempertimbangkan jenis-jenis beban yang bekerja pada suatu produk. Beban dapat berupa beban statis atau beban dinamis. Beban statis adalah beban yang tidak berubah seiring waktu, sedangkan beban dinamis adalah beban yang berubah seiring waktu.

7.3 Analisis Tegangan

Analisis tegangan adalah salah satu prinsip dasar dalam analisis stress dan deformasi. Dalam analisis ini, kita mempelajari berbagai jenis tegangan yang dapat terjadi pada suatu produk dan bagaimana tegangan tersebut mempengaruhi kekuatan dan keamanan produk tersebut.

7.3.1 Tegangan Normal

Tegangan normal adalah tegangan yang terjadi pada suatu produk akibat gaya yang bekerja secara normal pada permukaan produk tersebut. Tegangan normal dapat berupa tegangan tarik atau tegangan tekan (Hansen et al., 2000).

Tegangan tarik terjadi ketika gaya bekerja pada suatu produk dan menarik produk tersebut. Tegangan tarik dapat menyebabkan produk tersebut mengalami peregangan atau bahkan pecah. Tegangan tekan terjadi ketika gaya bekerja pada suatu produk dan mendorong produk tersebut. Tegangan tekan dapat menyebabkan produk tersebut mengalami penyusutan atau bahkan retak.

Dalam analisis tegangan normal, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran gaya yang bekerja pada suatu produk. Kita juga harus mempertimbangkan luas permukaan produk yang terkena gaya tersebut.

7.3.2 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang terjadi pada suatu produk akibat gaya yang bekerja secara tangensial pada permukaan produk tersebut (Boulanger & Hayes, 1992). Tegangan geser dapat menyebabkan produk tersebut mengalami deformasi atau bahkan retak.

Dalam analisis tegangan geser, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran gaya yang bekerja pada suatu produk. Kita juga harus mempertimbangkan luas permukaan produk yang terkena gaya tersebut.

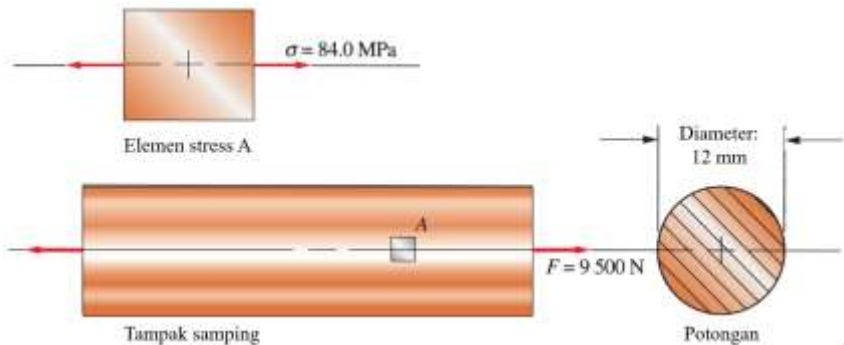
7.3.3 Tegangan Kombinasi

Menurut Findley (1957), tegangan kombinasi adalah kombinasi dari tegangan normal dan tegangan geser yang terjadi pada suatu produk. Tegangan kombinasi dapat menyebabkan produk tersebut mengalami deformasi atau bahkan retak.

Dalam analisis tegangan kombinasi, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran gaya yang bekerja pada suatu produk. Kita juga harus mempertimbangkan luas permukaan produk yang terkena gaya tersebut.

7.3.4 Contoh Soal

Sebuah gaya tarik normal sebesar 9500 N diterapkan pada batang bulat berdiameter 12 mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.1.



Gambar 7.1. Tekanan tarik pada batang bulat

Ditanyakan Hitung tegangan tarik dalam batang bulat!

Diketahui	Gaya = $F = 9500 \text{ N}$; Diameter = $D = 12 \text{ mm}$.
Analisis	Kita dapat menghitung tegangan tarik (normal) maksimum dengan menggunakan rumus: $\sigma = F/A \quad (7-1)$ Di mana σ adalah tegangan normal, F adalah gaya yang bekerja pada batang bulat, dan A adalah luas permukaan batang yang terkena gaya tersebut. Luas penampang batang bulat, $A = \pi D^2/4$.
Hasil	$A = \pi D^2/4 = \pi(12 \text{ mm})^2/4 = 113 \text{ mm}^2$ $\sigma = F/A = (9500 \text{ N})/(113 \text{ mm}^2) = 84,0 \text{ N/mm}^2 = 84,0$
Mpa	

7.4 Analisis Deformasi

Analisis deformasi adalah salah satu prinsip dasar dalam analisis stress dan deformasi. Dalam analisis ini, kita mempelajari berbagai jenis deformasi yang dapat terjadi pada suatu produk dan bagaimana deformasi tersebut mempengaruhi kekuatan dan keamanan produk tersebut.

7.4.1 Deformasi Normal

Deformasi normal adalah deformasi yang terjadi pada suatu produk akibat tegangan normal yang bekerja pada permukaan produk tersebut. Deformasi normal dapat berupa peregangan atau penyusutan (Dewhurst & Boothroyd, 1981).

Peregangan terjadi ketika suatu produk mengalami tegangan tarik. Peregangan dapat menyebabkan produk tersebut menjadi lebih panjang dari sebelumnya. Penyusutan terjadi ketika suatu produk mengalami tegangan tekan. Penyusutan dapat menyebabkan produk tersebut menjadi lebih pendek dari sebelumnya.

Dalam analisis deformasi normal, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran tegangan normal yang bekerja pada suatu produk. Kita juga harus mempertimbangkan sifat material produk tersebut, seperti modulus elastisitas (Lüttschwager, 2014).

7.4.2 Deformasi Geser

Deformasi geser adalah deformasi yang terjadi pada suatu produk akibat tegangan geser yang bekerja pada permukaan produk tersebut. Deformasi geser dapat menyebabkan produk tersebut mengalami perubahan bentuk atau bahkan retak.

Dalam analisis deformasi geser, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran tegangan geser yang bekerja pada suatu produk (Ragan, 1990). Kita juga harus mempertimbangkan sifat material produk tersebut, seperti modulus geser.

7.4.3 Deformasi Kombinasi

Deformasi kombinasi adalah kombinasi dari deformasi normal dan deformasi geser yang terjadi pada suatu produk. Deformasi kombinasi dapat menyebabkan produk tersebut mengalami perubahan bentuk atau bahkan retak.

Dalam analisis deformasi kombinasi, kita harus mempertimbangkan arah dan besaran tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada suatu produk. Kita juga harus mempertimbangkan sifat material produk tersebut, seperti modulus elastisitas dan modulus geser.

7.4.4 Contoh Soal

Untuk batang bulat yang dikenai beban tarik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.1, hitunglah deformasi total jika panjang asli batang adalah 3600 mm. Batang terbuat dari baja yang memiliki modulus elastisitas sebesar 207 GPa.

Tujuan Hitung deformasi batang bulat!

Diketahui Gaya = $F = 9500$ N; diameter = $D = 12$ mm.
Panjang = $L = 3600$ mm; $E = 207$ GPa

Analisis Rumus berikut menghitung regangan akibat beban tarik aksial langsung atau penyusutan akibat beban tekan aksial langsung:

$$\delta = FL/EA \quad (7-2)$$

di mana

δ = deformasi total benda yang membawa beban aksial

F = beban aksial langsung

L = panjang total benda

E = modulus elastisitas bahan

A = luas penampang lintang benda

Dengan memperhatikan bahwa $\sigma = F/A$, maka kita juga dapat menghitung deformasi dari

$$\delta = \sigma L / E \quad (7-3)$$

Hasil

$$\begin{aligned} \delta &= \sigma L / E \\ &= (84.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2)(3600 \text{ mm}) / (207 \times 10^9 \text{ N/m}^2) \\ &= 1.46 \text{ mm} \end{aligned}$$

7.5 Analisis Torsional

Analisis torsional adalah salah satu aspek penting dalam rekayasa mekanik yang berkaitan dengan torsi atau momen putar yang diterapkan pada suatu struktur atau komponen. Dalam sub bab ini, kita akan membahas tentang beban torsional, kecepatan rotasi, daya, serta hubungan antara ketiganya.

7.5.1 Beban Torsional

Beban torsional merujuk pada torsi atau momen putar yang diterapkan pada suatu struktur atau komponen (Yoo & Lee, 2011). Torsi dapat dihasilkan oleh berbagai macam sumber, seperti motor listrik, mesin pembakaran dalam, atau gaya-gaya eksternal yang bekerja pada suatu struktur.

Dalam analisis beban torsional, penting untuk mempertimbangkan besaran torsi yang diterapkan, titik aplikasi torsi, serta sifat-sifat material dari struktur atau komponen yang menerima torsi tersebut. Analisis beban torsional juga melibatkan perhitungan tegangan geser yang dihasilkan oleh torsi pada suatu struktur.

7.5.2 Kecepatan Rotasi dan Daya

Kecepatan rotasi dan daya juga merupakan faktor penting dalam analisis torsional (Carden & Lindblad, 2014). Kecepatan rotasi mengacu pada kecepatan putaran suatu poros atau komponen yang menerima torsi. Kecepatan rotasi ini dapat diukur dalam satuan putaran per menit (rpm) atau radian per detik (rad/s).

Sementara itu, daya merupakan ukuran dari seberapa cepat suatu pekerjaan dapat dilakukan atau seberapa cepat energi dapat

diubah. Dalam konteks analisis torsional, daya sering kali dikaitkan dengan kecepatan rotasi dan torsi yang diterapkan. Hubungan antara kecepatan rotasi, torsi, dan daya akan dijelaskan lebih lanjut pada bagian berikutnya.

7.5.3 Hubungan antara Daya, Torsional, dan Kecepatan Rotasi

Hubungan antara daya, torsional, dan kecepatan rotasi dapat dijelaskan melalui persamaan dasar dalam mekanika. Dalam analisis torsional, hubungan ini sering kali dijelaskan melalui persamaan:

$$\text{Torsi (T)} = \text{Daya (P)} / \text{Kecepatan Rotasi (n)} \quad (7-4)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa torsi yang dihasilkan oleh suatu komponen atau struktur berbanding terbalik dengan kecepatan rotasi, namun berbanding lurus dengan daya yang diterapkan. Dengan kata lain, semakin tinggi daya yang diterapkan pada suatu komponen, maka torsi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Namun, semakin tinggi kecepatan rotasi, maka torsi yang dihasilkan akan semakin kecil.

Selain itu, hubungan antara daya, torsi, dan kecepatan rotasi juga dapat dijelaskan melalui persamaan daya:

$$\text{Daya (P)} = \text{Torsi (T)} \times \text{Kecepatan Rotasi (n)} \quad (7-5)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa daya yang diperlukan untuk menghasilkan torsi pada suatu komponen akan bergantung pada besaran torsi itu sendiri serta kecepatan rotasi komponen tersebut.

Dengan pemahaman yang baik tentang hubungan antara daya, torsi, dan kecepatan rotasi, para insinyur dapat merancang sistem mekanik yang efisien dan dapat mengoptimalkan kinerja komponen-komponen yang menerima beban torsional.

Dengan demikian, analisis torsional merupakan bagian penting dalam rekayasa mekanik yang memungkinkan para insinyur untuk merancang dan mengoptimalkan sistem-sistem mekanik dengan mempertimbangkan beban torsional, kecepatan rotasi, dan daya yang diterapkan.

7.6 Beberapa Contoh Kasus

Dalam rekayasa mekanik, analisis stress dan deformasi sangat penting untuk mencegah kegagalan produk. Salah satu contoh kasus kegagalan produk yang sering terjadi adalah kegagalan struktur jembatan. Kegagalan struktur jembatan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti beban berlebih, korosi, atau kegagalan material (Deng et al., 2016). Dalam analisis kegagalan struktur jembatan, analisis stress dan deformasi sangat penting untuk menentukan apakah struktur tersebut mampu menahan beban yang diterapkan.

Kegagalan mesin pembakaran dalam juga merupakan contoh kasus kegagalan produk yang sering terjadi. Kegagalan mesin pembakaran dalam dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti keausan, kegagalan material, atau kesalahan dalam perancangan (Atxaga & Irisarri, 2010). Dalam analisis kegagalan mesin pembakaran dalam, analisis stress dan deformasi dapat membantu para insinyur untuk menentukan apakah mesin tersebut mampu menahan beban yang diterapkan, serta menentukan apakah material yang digunakan dalam mesin tersebut cukup kuat untuk menahan beban tersebut dalam jangka waktu yang lama.

Kegagalan struktur pesawat terbang merupakan contoh kasus kegagalan produk yang sering terjadi. Kegagalan struktur pesawat terbang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti keausan, kegagalan material, atau kesalahan dalam perancangan (Bhaumik et al., 2008). Demikian juga kegagalan produk elektronik yang sering terjadi. Kegagalan produk elektronik dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kegagalan material, kesalahan dalam perancangan, atau kesalahan dalam proses produksi (Leonard & Pecht, 1990).

Dalam semua contoh kasus kegagalan produk di atas, analisis stress dan deformasi sangat penting untuk mencegah kegagalan produk. Dengan melakukan analisis stress dan deformasi yang tepat, para insinyur dapat menentukan apakah suatu produk mampu menahan beban yang diterapkan, serta menentukan apakah material yang digunakan dalam produk tersebut cukup kuat untuk menahan beban tersebut dalam jangka waktu yang lama. Dalam melakukan analisis stress dan deformasi, para insinyur dapat

menggunakan berbagai teknik, seperti analisis elemen hingga, simulasi numerik, atau pengujian fisik. Dengan menggunakan teknik-teknik ini, para insinyur dapat memperoleh informasi yang akurat tentang tegangan dan deformasi yang terjadi pada suatu produk, serta menentukan apakah produk tersebut mampu menahan beban yang diterapkan dalam jangka waktu yang lama.

7.7 Kesimpulan

Bab ini menguraikan prinsip-prinsip dasar dalam analisis stress dan deformasi, membahas analisis gaya dan momen, representasi stress pada elemen stress, dan berbagai jenis analisis stress dan deformasi. Dalam analisis gaya dan momen, dipelajari bagaimana gaya dan momen mempengaruhi stress dan deformasi pada suatu produk. Representasi stress pada elemen stress melibatkan elemen tegangan dan elemen geser untuk merepresentasikan stress pada produk. Jenis-jenis analisis stress dan deformasi mencakup analisis tegangan, deformasi, torsional, dan kombinasi, dengan mempertimbangkan beban statis dan dinamis.

Analisis tegangan mendalam menjelaskan tegangan normal, tegangan geser, dan tegangan kombinasi, dengan contoh soal yang memberikan gambaran perhitungan tegangan tarik pada batang bulat. Selanjutnya, analisis deformasi menggambarkan deformasi normal, deformasi geser, dan deformasi kombinasi, dengan contoh soal menghitung deformasi total pada batang bulat yang dikenai beban tarik.

Selain itu, bab ini membahas analisis torsional sebagai aspek penting dalam rekayasa mekanik, termasuk beban torsional, kecepatan rotasi, daya, dan hubungan antara ketiganya. Penekanan diberikan pada peran analisis torsional dalam merancang sistem mekanik yang efisien dan optimal.

Terakhir, beberapa contoh kasus kegagalan produk, seperti struktur jembatan, mesin pembakaran dalam, struktur pesawat terbang, dan produk elektronik, menunjukkan kepentingan analisis stress dan deformasi dalam mencegah kegagalan produk. Analisis ini dapat dilakukan melalui berbagai teknik, seperti analisis elemen hingga, simulasi numerik, atau pengujian fisik, untuk mendapatkan

informasi akurat tentang tegangan dan deformasi pada suatu produk. Dengan demikian, pemahaman mendalam terhadap prinsip-prinsip ini menjadi kunci dalam rekayasa mekanik untuk memastikan keamanan dan kinerja produk.

DAFTAR PUSTAKA

- Atxaga, G., & Irisarri, A. (2010). Failure analysis of the end of a shaft of an engine. *Engineering Failure Analysis*, 17(4), 714–721.
<https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2009.08.010>
- Bhaumik, S., Sujata, M., & Venkataswamy, M. (2008). Fatigue failure of aircraft components. *Engineering Failure Analysis*, 15(6), 675–694. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2007.10.001>
- Boulanger, P., & Hayes, M. (1992). Shear, shear stress and shearing. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 40(7), 1449–1457. [https://doi.org/10.1016/0022-5096\(92\)90028-z](https://doi.org/10.1016/0022-5096(92)90028-z)
- Broutman, L. J., & Krishnamachari, S. (1993). *Applied Stress Analysis of Plastics: A Mechanical Engineering approach*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA19357419>
- Carden, E. P., & Lindblad, M. (2014). Operational modal analysis of torsional modes in rotating machinery. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 137(2). <https://doi.org/10.1115/1.4028210>
- Dasgupta, A., & Haslach, H. W. (1993). Mechanical design failure models for buckling. *IEEE Transactions on Reliability*, 42(1), 9–16. <https://doi.org/10.1109/24.210265>
- De Souza Lima, S., & Soriano, H. L. (1997). A method for graphic stress representation. *Computers & Structures*, 63(6), 1223–1228. [https://doi.org/10.1016/s0045-7949\(96\)00114-9](https://doi.org/10.1016/s0045-7949(96)00114-9)
- Deng, L., Wang, W., & Yu, Y. (2016). State-of-the-Art review on the causes and mechanisms of bridge collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cf.1943-5509.0000731](https://doi.org/10.1061/(asce)cf.1943-5509.0000731)
- Dewhurst, P., & Boothroyd, G. (1981). Stretch Forming of Sheet Metal: a Mechanism of Deformation Involving Diffuse Neck Interaction. *CIRP Annals*, 30(1), 185–188. [https://doi.org/10.1016/s0007-8506\(07\)60921-4](https://doi.org/10.1016/s0007-8506(07)60921-4)

- Findley, W. N. (1957). Fatigue of metals under combinations of stresses. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 79(6), 1337–1347. <https://doi.org/10.1115/1.4013320>
- Ghuku, S., & Saha, K. (2017). A Review on Stress and Deformation Analysis of Curved Beams under Large Deflection. *International Journal of Engineering and Technologies*, 11, 13–39. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ijet.11.13>
- Hansen, A., Schmittbuhl, J., Batrouni, G. G., & Oliveira, F. A. (2000). Normal stress distribution of rough surfaces in contact. *Geophysical Research Letters*, 27(22), 3639–3642. <https://doi.org/10.1029/2000gl011757>
- Hristovska, E., & Stavreva, S. (2021). Stress and deformation analysis of joint plate depending on truss joint design of carrying structure. *TEM Journal*, 892–899. <https://doi.org/10.18421/tem102-51>
- Krantz, D. H. (1973). Fundamental measurement of force and Newton's first and second laws of motion. *Philosophy of Science*, 40(4), 481–495. <https://doi.org/10.1086/288560>
- Lee, E. H., Mallett, R. L., & Yang, W. (1977). Stress and deformation analysis of the metal extrusion process. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 10(3), 339–353. [https://doi.org/10.1016/0045-7825\(77\)90077-9](https://doi.org/10.1016/0045-7825(77)90077-9)
- Leonard, C. T., & Pecht, M. (1990). How failure prediction methodology affects electronic equipment design. *Quality and Reliability Engineering International*, 6(4), 243–249. <https://doi.org/10.1002/qre.4680060406>
- Lüttschwager, N. O. B. (2014). Modulus of elasticity. In *Springer eBooks* (pp. 127–144). https://doi.org/10.1007/978-3-319-08566-1_6
- Ragan, D. M. (1990). Direction of shear. *Journal of Structural Geology*, 12(7), 929–931. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(90\)90066-8](https://doi.org/10.1016/0191-8141(90)90066-8)

- Rowe, D. J. (2010). The moment of inertia. In *WORLD SCIENTIFIC eBooks* (pp. 119–129).
https://doi.org/10.1142/9789812790668_0008
- Saravanan, U. (2008). Representation for stress from a stressed reference configuration. *International Journal of Engineering Science*, 46(11), 1063–1076.
<https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2008.04.002>
- Viau, G., Ortega, R., Boccanera, L., Pasquali, E., & Sbuttoni, H. (2010). Stress concentration effects on industrial components. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 10(6), 508–514. <https://doi.org/10.1007/s11668-010-9380-5>
- Yoo, C. H., & Lee, S. C. (2011). Torsion in structures. In *Elsevier eBooks* (pp. 245–301). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-385122-2.10005-3>

BAB 8

PENGUKURAN TEGANGAN DAN DEFORMASI

Oleh Ryan Effendi

8.1 Pendahuluan

Suatu bahan jika diberikan gaya eksternal, maka bahan tersebut cenderung akan mengalami perubahan, baik pada salah satu sisi bahan maupun secara keseluruhan. Gaya eksternal ini dapat berupa gaya tarik, gaya tekan, dan gaya geser, yang akan menyebabkan bahan mengalami tegangan normal dan tegangan geser, dimana tegangan normal meliputi tegangan tarik dan tegangan tekan (Bansal, 2009).

Bahan yang diberi gaya eksternal akan mengalami tegangan dan deformasi, dimana kedua hal ini merupakan konsep yang sangat penting dalam ilmu bahan dan rekayasa. Tegangan untuk mengukur distribusi gaya pada suatu bahan, sementara deformasi mencerminkan perubahan bentuk atau panjang bahan sebagai respons terhadap gaya tersebut. Pengukuran tegangan dan deformasi diperlukan untuk memahami perilaku bahan di bawah beban dan mendukung desain struktur yang aman dan efisien.

Pengukuran tegangan dan deformasi tentunya suatu hal yang perlu dilakukan sebelum diterapkan di berbagai aplikasi. Terdapat beberapa tujuan pengukuran tegangan dan deformasi, yaitu:

1. Desain Struktur: Memahami bagaimana bahan akan berperilaku di bawah beban dan mencegah kegagalan struktural.
2. Kontrol Proses Manufaktur: Memastikan bahwa bahan diproses dengan benar untuk mencapai sifat-sifat mekanis yang diinginkan.
3. Pengujian Bahan: Evaluasi kualitas dan kinerja bahan untuk aplikasi tertentu.

4. Pengembangan Produk: Memahami respons bahan terhadap lingkungan beban untuk meningkatkan desain produk.

8.2 Metode Pengukuran Tegangan

Pengukuran tegangan merupakan langkah kritis untuk memahami perilaku dan sifat bahan. Tegangan adalah gaya per satuan luas yang bekerja pada suatu bahan, dan pemahaman yang baik tentang tegangan sangat penting dalam merancang, menguji, dan memahami bahan. Metode pengukuran tegangan dapat bervariasi tergantung pada jenis bahan, kondisi uji, dan tujuan pengukuran.

8.2.1 Pengukuran Tegangan *Uniaxial*

Pengukuran tegangan *uniaxial* merupakan teknik pengukuran tegangan pada suatu bahan hanya dalam satu arah tertentu. Prosedur ini umumnya digunakan untuk memahami sifat-sifat mekanik bahan, seperti elastisitas, kekuatan, dan keuletan, ketika bahan tersebut hanya mengalami beban atau tekanan dalam satu arah. Instrumen pengukur tegangan *uniaxial* terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. *Strain Gauge*: Sensor tegangan yang ditempatkan di permukaan bahan dan merespons terhadap perubahan panjang.
2. *Extensometers*: Alat pengukur perubahan panjang bahan.
3. *Load Cells*: Sensor yang mengukur gaya atau beban yang diterapkan pada bahan.

Instrumen pengukuran tegangan *uniaxial* tentunya berkaitan dengan langkah-langkah pengukuran yang terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Persiapan Spesimen: Bahan yang akan diuji dipersiapkan dan dibentuk sesuai dengan standar uji yang berlaku.
2. Pemasangan Sensor: *Strain gauge* atau *extensometers* ditempatkan pada area yang akan diuji untuk mengukur perubahan dimensi.
3. Pemberian Beban: Beban diterapkan secara perlahan pada bahan, dan sensor mencatat perubahan dimensi atau tegangan.

Setelah melakukan langkah-langkah pengukuran, tentunya didapatkan data yang akan digunakan dalam menganalisis data suatu bahan yang terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Grafik Tegangan-Regangan: Data yang diperoleh digunakan untuk membuat grafik tegangan terhadap regangan untuk mendapatkan kurva tegangan-regangan.
2. Modulus Elastisitas: Menentukan sifat elastis bahan dari bagian linier kurva tegangan-regangan.
3. Titik Leleh dan Patah: Mengidentifikasi titik leleh dan titik patah suatu bahan.

Pengukuran tegangan *uniaxial* sangat penting dalam mengevaluasi karakteristik mekanik bahan dan memastikan kecocokan bahan dengan kebutuhan desain atau aplikasi tertentu. Data yang dihasilkan dari pengukuran ini memberikan wawasan yang diperlukan untuk perancangan yang aman dan efisien.

8.2.2 Pengukuran Tegangan *Multiaxial*

Pengukuran tegangan *multiaxial* adalah teknik pengukuran yang memungkinkan pengukuran tegangan pada suatu bahan di bawah beban yang kompleks, seperti pada struktur yang mengalami beban dari berbagai arah. Hal ini penting untuk memahami perilaku bahan di bawah beban yang kompleks, seperti pada struktur yang mengalami beban dari berbagai arah. Instrumen pengukur tegangan *multiaxial* terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. *Piezoelectric Sensors*: Sensor yang menggunakan efek *piezoelectric* untuk mengukur tegangan dinamis pada benda uji.
2. *Strain Gauge Multiaxial*: *Strain gauge* yang dirancang untuk mengukur tegangan dalam beberapa arah sekaligus.
3. *Biaxial/Multiaxial Load Cells*: Sensor yang dapat mengukur gaya dalam dua atau lebih arah.

Instrumen pengukuran tegangan *multiaxial* tentunya berkaitan dengan langkah-langkah pengukuran yang terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Pemasangan Sensor: Sensor dipasang pada area yang akan diuji untuk mengukur tegangan dalam berbagai arah.

2. Beban Dalam Beberapa Arah: Benda uji dikenai beban dalam beberapa arah untuk mereproduksi kondisi penggunaan nyata.
3. *Monitoring* dan Perekaman Data: Data tegangan dari berbagai sensor direkam selama uji.

Setelah melakukan langkah-langkah pengukuran, tentunya didapatkan data yang akan digunakan dalam menganalisis data suatu bahan yang terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Tensor Tegangan: Menentukan matriks tegangan untuk menggambarkan tegangan dalam semua arah.
2. Analisis Kegagalan: Mengidentifikasi bagian yang mungkin mengalami kegagalan dan memahami respons bahan terhadap tegangan *multiaxial*.
3. Faktor Keamanan: Menghitung faktor keamanan untuk memastikan bahwa benda uji dapat menanggung beban dalam semua arah.

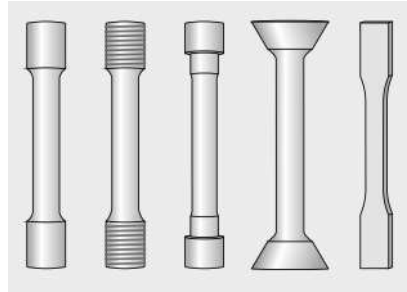
Pengukuran tegangan *multiaxial* memberikan informasi yang lebih komprehensif tentang respons bahan terhadap beban kompleks. Hal ini sangat penting dalam desain dan pengujian struktur yang mungkin mengalami beban dari berbagai arah, seperti pada komponen mesin atau struktur bangunan.

8.3 Pengukuran Tegangan

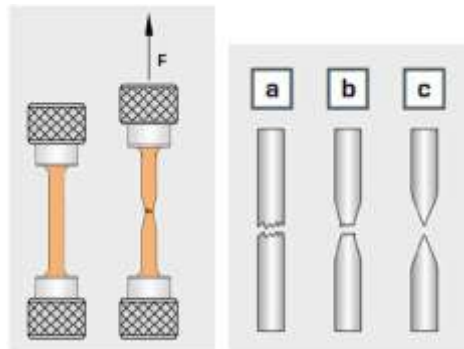
Bahan yang diberikan gaya eksternal akan menghasilkan tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal meliputi tegangan tarik dan tegangan tekan, sehingga jika dijabarkan maka bahan yang dikenai gaya eksternal dapat mengalami tegangan tarik, tegangan tekan, dan tegangan geser.

8.3.1 Tegangan Tarik

Tegangan tarik adalah besaran fisika yang mengukur kekuatan yang diperlukan untuk merusak atau memutuskan suatu bahan. Tegangan tarik adalah tegangan yang bekerja pada sebuah bahan ketika diberikan gaya tarik. Bentuk spesimen uji tarik dapat dilihat pada Gambar 8.1, sedangkan ilustrasi pengujian uji tarik dapat dilihat pada Gambar 8.2.



Gambar 8.1. Bentuk spesimen uji tarik sesuai DIN 50125
(Sumber: Sukamto dkk, 2023)



Gambar 8.2. Ilustrasi pengujian tarik
(Sumber: Sukamto dkk, 2023)

Tegangan tarik diukur dalam satuan tekanan, seperti pascal (Pa) atau megapascal (Mpa) dalam sistem internasional. Tegangan tarik dapat didefinisikan sebagai gaya tarik yang bekerja pada suatu bahan dengan luas penampangnya. Pengukuran tegangan tarik dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8.1)$$

dimana:

σ = Tegangan tarik (Pa atau Mpa)

F = Gaya tarik (N)

A = Luas penampang (m^2)

Tegangan tarik akan menyebabkan bahan mengalami pertambahan panjang, dimana perbandingan pertambahan panjang

dengan panjang semula disebut regangan tarik. Regangan tarik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$e = \frac{\Delta L}{L} \quad (8.2)$$

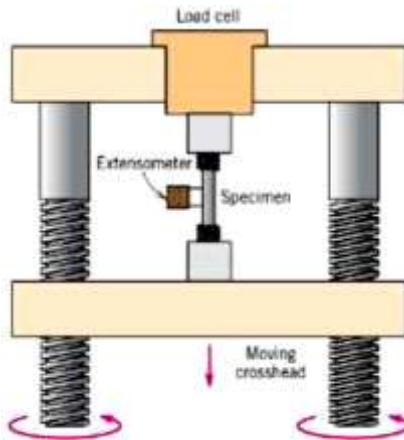
dimana:

e = Regangan

ΔL = Perubahan panjang (m)

L = Panjang awal (m)

Ilustrasi mesin uji tarik dapat dilihat pada Gambar 8.3, dimana spesimen akan memanjang dikarenakan pergerakan *crosshead*, kemudian *load cell* akan mengukur beban yang diterapkan dan ekstensometer akan mengukur perpanjangan dari spesimen.



Gambar 8.3. Skematis mesin uji tarik
(Sumber: Callister, 2018)

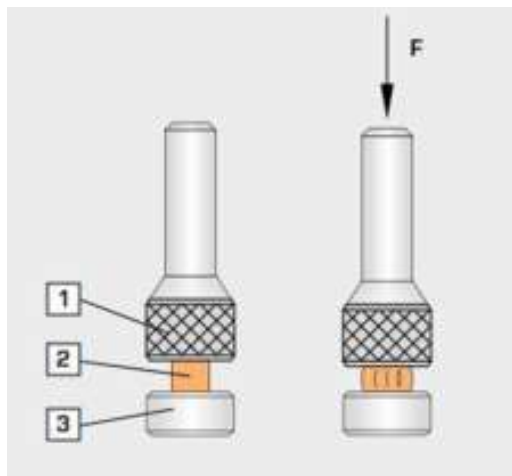
Ketegangan puncak adalah nilai maksimum dari tegangan tarik yang dapat ditahan oleh suatu bahan sebelum mengalami kegagalan atau patah. Ketegangan puncak berkaitan dengan faktor keamanan (*safety factor*), yaitu rasio antara tegangan puncak yang dapat ditahan oleh suatu bahan dengan tegangan maksimum yang diperbolehkan dalam penggunaan nyata.

Pengujian tarik adalah metode umum untuk menentukan properti mekanis bahan, termasuk tegangan tarik, regangan tarik, modulus elastisitas, dll. Pengujian ini melibatkan pemberian beban

tarik pada spesimen uji dan pengamatan perubahan dimensinya selama proses uji. Tegangan tarik penting dalam desain struktur, pembuatan bahan konstruksi, dan berbagai aplikasi teknik lainnya untuk memastikan keandalan dan keamanan suatu struktur atau komponen.

8.3.2 Tegangan Tekan

Tegangan tekan atau juga dikenal sebagai tegangan kompresi adalah suatu bentuk tegangan yang timbul akibat gaya tekan yang bekerja pada suatu bahan. Gaya tekan ini dapat dihasilkan oleh berbagai faktor seperti beban yang diterapkan secara langsung ke permukaan bahan, gaya gravitasi, atau gaya-gaya lainnya yang menyebabkan suatu bahan mengalami tekanan internal. Pengukuran tegangan tekan sangat penting untuk dilakukan terutama untuk mempelajari bahan bangunan seperti batu alam, bata, beton, kayu, dan lain-lain. Ilustrasi pengujian uji tarik dapat dilihat pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4. Ilustrasi pengujian tekan
(Sumber: Sukamto dkk, 2023)

Pengukuran tegangan tarik juga dapat digunakan untuk menghitung tegangan dan regangan tekan, dimana gaya dianggap negatif, sehingga menghasilkan tegangan (*stress*) negatif. Tegangan tekan dinyatakan dalam suatu tekanan seperti pascal (Pa) atau

megapascal (Mpa). Pengukuran tegangan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8.3)$$

dimana:

σ = Tegangan tekan (Pa atau Mpa)

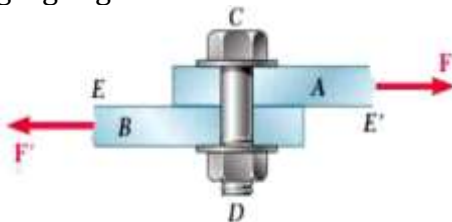
F = Gaya tekan (N)

A = Luas penampang (m^2)

Tegangan tekan dapat didistribusikan secara merata atau tidak merata di seluruh penampang bahan. Distribusi tegangan ini dapat dipengaruhi oleh bentuk dan geometri bahan, serta cara beban diterapkan. Setiap bahan memiliki batas tegangan tekan maksimum yang dapat ditahan sebelum mengalami kegagalan. Tegangan tekan sangat penting dalam desain struktur bangunan, jembatan, fondasi, dan berbagai komponen mesin untuk memastikan bahwa suatu struktur mampu menahan beban bekerja pada suatu penampang tanpa mengalami kegagalan atau deformasi yang tidak diinginkan. Selain itu, memperhitungkan faktor keamanan (*safety factor*) yang cukup agar mampu mencegah kegagalan struktural.

8.3.3 Tegangan Geser

Tegangan geser (*shear stress*) adalah gaya geser per unit luas yang diterapkan pada suatu bahan atau struktur. Tegangan geser dapat terjadi ketika dua lapisan bahan bergerak satu terhadap yang lain dengan arah berlawanan atau ketika gaya lateral diterapkan pada suatu bahan. Perubahan bahan yang diakibatkan tegangan geser disebut regangan geser.



Gambar 8.5. Baut dengan tegangan geser tunggal
(Sumber: Beer, 2012)

Pengukuran tegangan geser dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengukur tegangan khusus, seperti alat uji geser atau alat pengukur tegangan dalam situasi tertentu. Tegangan geser dinyatakan dalam suatu tekanan seperti pascal (Pa) atau megapascal (Mpa). Selain menggunakan alat khusus untuk mendapatkan nilai tegangan geser, tegangan geser juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (8.4)$$

dimana:

τ = Tegangan geser (Pa atau Mpa)

F = Gaya geser (N)

A = Luas penampang (m^2)

Tegangan geser dipengaruhi oleh dua hal, yaitu sifat bahan dan arah beban. Tegangan geser sangat penting dalam desain elemen struktural seperti balok dan kolom, dimana hal ini berkaitan besar dalam pemilihan bahan. Tegangan geser dapat menyebabkan pergeseran atau deformasi pada bahan atau struktur. Oleh karena itu, tegangan geser harus diperhitungkan dalam perencanaan dan desain struktur untuk memastikan faktor keselamatan yang memadai.

8.4 Pengukuran Deformasi

Pengukuran deformasi dalam mekanika bahan adalah proses untuk menentukan perubahan bentuk atau dimensi suatu bahan akibat pemberian gaya atau beban tertentu. Deformasi bisa terjadi dalam berbagai bentuk, seperti perubahan panjang (*strain linier*), perubahan sudut atau perubahan geser (*shear strain*), dan perubahan volume. Pemahaman dalam menganalisis respons bahan terhadap beban, dan merancang struktur yang dapat menahan beban tersebut, dimana bahan dapat mengalami defromasi linier dan juga deformasi volumetrik.

8.4.1 Deformasi Linier

Deformasi linier adalah perubahan panjang suatu bahan akibat penerapan gaya atau tegangan. Deformasi ini diukur dengan mengamati perubahan panjang relatif suatu bahan. Beberapa

parameter yang sering digunakan untuk menggambarkan deformasi linier antara lain:

1. Regangan Linier: Regangan linier didefinisikan sebagai perubahan panjang relatif. Regangan linier memiliki persamaan yang sama pada regangan tarik pada persamaan 8.2.
2. Hukum Hooke: Menyatakan bahwa deformasi (e) suatu bahan elastis sebanding dengan gaya atau tekanan yang diberikan pada bahan tersebut. Persamaan Hooke untuk deformasi linier dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma = E \times e \quad (8.5)$$

dimana:

σ = Tegangan tekan (Pa atau Mpa)

E = Modulus elastisitas (N/m^2)

e = Regangan yang dialami oleh bahan (m)

3. Modulus Elastisitas (*Young's Modulus*): *Young's Modulus* (E) digunakan untuk mengukur kekakuan suatu bahan dan didefinisikan sebagai rasio tegangan terhadap linier yang dapat dituliskan secara matematis yaitu sebagai berikut:

$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan Linier}} = \frac{\sigma}{e} \quad (8.6)$$

Batas elastis suatu bahan adalah tegangan maksimum yang dapat diterapkan pada bahan tersebut tanpa menyebabkan deformasi plastis yang permanen. Deformasi linier dan hukum Hooke banyak digunakan dalam perhitungan struktur, desain bahan, dan analisis tegangan pada berbagai rekayasa, seperti desain struktur bangunan, kendaraan, dan peralatan industri.

Penting untuk diingat bahwa deformasi linier hanya berlaku dalam batas elastis bahan. Jika tegangan melebihi batas elastis, bahan dapat mengalami deformasi plastis atau bahkan patah, yang tidak lagi mengikuti hukum Hooke.

8.4.2 Deformasi Volumetrik

Deformasi volumetrik adalah salah satu jenis deformasi pada bahan yang berkaitan dengan perubahan volume suatu bahan akibat penerapan gaya atau beban. Konsep deformasi volumetrik

sangat penting dalam mekanika bahan, yang mencakup studi tentang respons bahan terhadap gaya dan beban eksternal. Beberapa parameter yang sering digunakan untuk menggambarkan deformasi linier antara lain:

1. Regangan Volumetrik: Parameter yang mengukur perubahan volume suatu bahan. Regangan volumetrik sering kali berkaitan dengan perubahan dimensi dalam tiga arah ortogonal, dan dapat dituliskan secara matematis yaitu sebagai berikut:

$$e_v = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (8.7)$$

dimana:

e_v = Regangan volumetrik

ΔV = Perubahan volume (m^3)

V_0 = Volume awal (m^3)

2. Modulus Bulk: Parameter bahan yang mengukur resistansi suatu bahan terhadap deformasi volumetrik. Modulus ini merupakan kebalikan dari kompresibilitas volumetrik dan digunakan untuk mengevaluasi sifat elastisitas volumetrik bahan. Modulus bulk dapat diketahui melalui perhitungan dengan persamaan sebagai berikut:

$$K = - \frac{P}{e_v} \quad (8.8)$$

dimana:

K = Modulus bulk (Pa)

P = Tekanan (Pa)

e_v = Regangan volumetrik

3. Hukum Hooke untuk Deformasi Volumetrik: Hukum Hooke dapat diterapkan pada deformasi volumetrik dan menyatakan bahwa tekanan yang dihasilkan dalam respons elastis suatu bahan linier sebanding dengan regangan volumetrik yang diterapkan. Hukum Hooke untuk deformasi volumetrik dapat dituliskan secara matematis yaitu sebagai berikut:

$$P = -K \times e_v \quad (8.9)$$

Dalam analisis struktur mesin, pemahaman deformasi volumetrik digunakan untuk memperkirakan perubahan dimensi

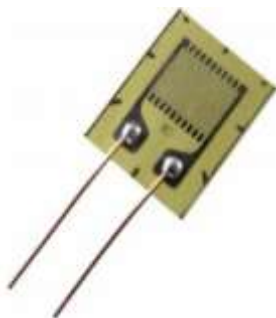
dan volume bahan tertentu yang mungkin terjadi saat dikenai beban atau gaya. Pemahaman deformasi volumetrik menjadi sangat penting dalam desain perangkat mekanis seperti silinder, piston, dan sistem hidrolik, dimana perubahan volume dan tekanan memainkan peran kunci dalam kinerja. Deformasi volumetrik juga dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan bahan untuk memahami perilaku bahan pada kondisi tertentu dan mencegah kegagalan yang mungkin terjadi akibat deformasi yang berlebihan.

8.5 Alat Pengukur Tegangan dan Deformasi

Pada sub-bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai pengukuran tegangan maupun deformasi yang dapat ditemukan secara matematis. Seiring dengan berjalannya waktu dan teknologi, pengukuran tegangan dan deformasi dapat dilakukan dengan menggunakan alat-alat yang canggih dan memiliki akurasi atau presisi tinggi. Terdapat beberapa alat yang dapat digunakan dalam pengukuran tegangan dan deformasi.

8.5.1 *Strain Gauge*

Strain gauge adalah pita tipis konduktor yang akan naik tahanan listriknya bila meregang (*positive strain/tension stress*) dan turun bila mengerut (*negative strain/compressive stress*) (Simanjuntak, 2021). *Strain gauge* terbuat dari foil logam yang berfungsi untuk mengukur deformasi atau regangan pada suatu objek. Deformasi ini dapat disebabkan oleh gaya atau tekanan yang bekerja pada objek tersebut. *Strain gauge* dapat dilihat pada Gambar 8.6 berikut.



Gambar 8.6. *Strain gauge*
(Sumber: <https://www.rajaloadcell.com>)

Cara kerja *strain gauge* adalah berat suatu barang diletakkan pada timbangan, maka sensor *strain gauge* akan berfungsi karena mendapat pembebanan dan tekanan dari berat bahan tersebut, lalu mengirimkan angka pada layar timbangan digital.

Strain gauge bekerja berdasarkan prinsip perubahan resistansi listrik pada bahan konduktif yang mengalami regangan. Ketika bahan tempat *strain gauge* ditempatkan mengalami regangan, panjang, dan luas lintasan konduktif pada *strain gauge* berubah, sehingga resistansinya pun berubah. Perubahan resistansi ini kemudian diukur dan dikonversi menjadi besaran fisik yang dapat diinterpretasikan.

Strain gauge memiliki kelebihan dan kekurangan dibanding dengan alat pengukuran tegangan dan deformasi lainnya, yaitu:
Kelebihan *strain gauge*:

1. Memberikan hasil pengukuran dengan tingkat presisi dan akurasi yang tinggi
2. Fleksibilitas pengukuran pada berbagai bahan, yaitu logam, karet, dan bahan non-logam lainnya.
3. Mampu mengukur deformasi dari yang sangat kecil hingga yang lebih besar

Kekurangan *strain gauge*:

1. Mudah terpengaruh oleh suhu, sehingga diperlukan kalibrasi untuk akurasi pengukuran
2. Mudah rusak atau patah karena bahan yang cukup rapuh
3. Pemasangan *strain gauge* memerlukan keahlian teknis yang tinggi
4. Harga yang relatif tinggi

8.5.2 Extensometer

Extensometer adalah alat pengukur deformasi atau perubahan suatu bahan yang diakibatkan gaya atau beban yang bekerja pada bahan tersebut. Alat ini umumnya digunakan dalam uji kekuatan bahan untuk mengukur perubahan dimensi yang terjadi selama pemberian beban.

Extensometer biasanya dipasang pada permukaan benda uji menggunakan klip atau pegangan khusus. Beberapa *extensometer* dapat dipasang di antara dua titik tetap pada benda uji. Cara kerjanya yaitu sensor pada *extensometer* dapat mengukur perubahan panjang dengan cara mendeteksi pergeseran relatif antara dua titik di benda uji.

Prinsip kerja *extensometer* didasarkan pada perubahan panjang yang terjadi pada benda uji akibat diberikan beban. Sensor pada *extensometer* mengubah perubahan panjang menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Prinsip-prinsip dasar yang digunakan melibatkan konsep *strain*, yaitu perubahan panjang relatif terhadap panjang aslinya. *Extensometer* dapat dilihat pada Gambar 8.7 sebagai berikut.



Gambar 8.7. *Extensometer*
(sumber: <https://www.victorytest.com>)

Extensometer memiliki kelebihan dan kekurangan dibanding dengan alat pengukuran tegangan dan deformasi lainnya, yaitu:

Kelebihan *extensometer*:

1. Memberikan hasil pengukuran dengan tingkat presisi dan akurasi yang tinggi
2. Mampu mengukur berbagai macam bahan dan kondisi pengujian
3. Memberikan data pengukuran secara *real-time*

Kekurangan *extensometer*:

1. Keterbatasan rentang pengukuran dan beban pada bahan
2. Mudah rusak pada suhu tinggi

3. Harga dan biaya pemeliharaan yang cukup tinggi.

8.5.3 Metode Optik

Metode optik untuk mengukur tegangan dan regangan melibatkan pemanfaatan prinsip optika untuk mendeteksi deformasi pada suatu bahan yang disebabkan oleh tegangan atau deformasi. Deformasi ini dapat diukur dengan mengamati perubahan properti optis pada bahan tersebut. Cara kerja metode optik untuk mengukur tegangan dan deformasi yaitu sebagai berikut:

1. Pemilihan Bahan: Pada dasarnya, bahan yang digunakan harus memiliki sifat optis yang dapat berubah seiring dengan deformasi. Bahan-bahan seperti serat optik atau kristal cair seringkali digunakan
2. Pemasangan Sensor Optik: Sensor optik, seperti serat optik atau detektor cahaya, ditempatkan di sekitar bahan yang akan diukur. Sensor ini harus responsif terhadap perubahan optis yang terjadi akibat tegangan atau deformasi.
3. Penyinaran Atau Deteksi Cahaya: Cahaya diterapkan ke sensor yang berada di sekitar bahan menggunakan sumber cahaya seperti laser. Properti cahaya yang terpantul bahan diukur menggunakan detektor cahaya.
4. Analisis Perubahan Optis: Perubahan pada cahaya yang diterima oleh detektor dianalisis untuk menentukan besarnya tegangan atau deformasi. Hal ini melibatkan pengukuran pergeseran panjang gelombang, perubahan intensitas cahaya yang berkorelasi dengan perubahan deformasi

Prinsip kerja metode optik untuk mengukur tegangan dan deformasi didasarkan pada perubahan optis yang terjadi pada bahan saat mengalami deformasi. Beberapa prinsip yang umumnya digunakan melibatkan interferometri, polarimetri, atau perubahan indeks bias pada serat optik.

Metode optik memiliki kelebihan dan kekurangan dibanding dengan alat pengukuran tegangan dan deformasi lainnya, yaitu:

1. Kelebihan metode optik:
2. Pengukuran non-kontak tanpa mempengaruhi bahan

3. Mampu mengukur deformasi dari yang sangat kecil
4. Pengukuran jarak jauh untuk bahan/objek yang sulit diakses

Kekurangan metode optik:

1. Harga yang mahal
2. Hanya bahan tertentu yang dapat diukur
3. Suhu dan kelembaban mempengaruhi hasil pengukuran

DAFTAR PUSTAKA

- Bansal, Dr. R. K. 2009. *Strength of Material*, Fourth Edition. New Delhi: Laxmi Publications (P) LTD.
- Beer, Ferdinand P., dkk. 2012. *Mechanics of Materials*, Sixth Edition. New York: McGraw-Hill.
- Callister, William D., Jr. & Rethwisch, David G. 2018. *Materials Science and Engineering*, Tenth Edition. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Raja Load Cell. 2015. Diakses pada 28 Desember 2023 dari <https://www.rajaloadcell.com>.
- Jinan Kemenangan Instrumen. 2021. Diakses pada 30 Desember 2023 dari <https://www.victorytest.com>.
- Simanjuntak, I. U. V., dkk. 2021. Penggunaan Strain Gauge Sebagai Kendali Kursi Roda. *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, 26(2), 154 – 169.
- Sukamto, K., dkk. *Material Teknik*. Padang: Get Press Indonesia.

BAB 9

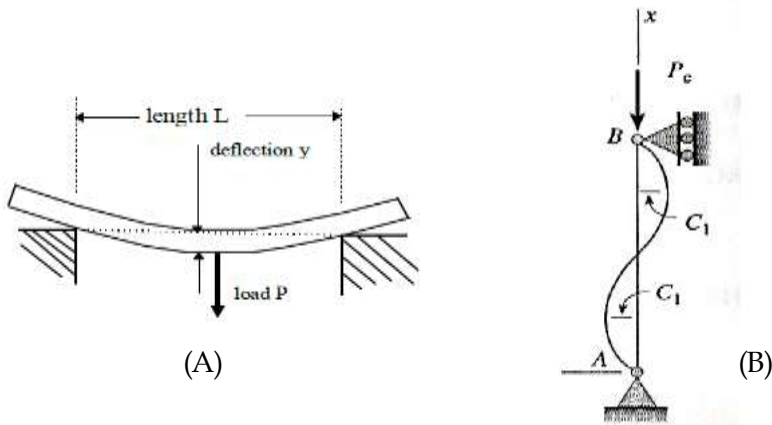
TEGANGAN PADA BENDA LENTUR

Oleh Luluk Edahwati

9.1 Pendahuluan

Benda-benda di alam semesta apabila diberikan suatu gaya tentu akan mengalami suatu perubahan. Apabila gaya yang diberikan kemudian dihilangkan maka benda tersebut kemungkinan mempunyai kemampuan untuk kembali ke bentuk aslinya dapat dipengaruhi oleh tingkat kelenturan suatu benda, dan banyak peristiwa alam yang terkait dengan hal ini. Dengan adanya sifat elastisitas yang dimiliki oleh suatu benda, maka benda dapat dibedakan menjadi benda yang tidak mudah patah dan benda yang mudah patah. Dari penjelasan ini akan dipelajari terlebih dahulu mengenai kelenturan (elastisitas) suatu bahan.

Untuk mendisain mesin atau struktur agar dapat berfungsi dengan baik maka kita harus dapat mengetahui perilaku mekanis dari suatu material (bahan) yang akan digunakan oleh mesin tersebut. Perilaku mekanis tersebut diantaranya adalah tegangan, regangan dan peralihan (perubahan bentuk) yang dialami oleh suatu benda. Jika kita dapat menghitung (menganalisa) tegangan, regangan dan peralihan pada struktur dan komponen-komponennya yang diakibatkan oleh pembebanan yang dapat menyebabkan kegagalan maka kita telah mendapat gambaran tentang perilaku mekanis dari struktur tersebut. Jadi pemilihan bahan atau ukuran suatu komponen struktur didasarkan pertimbangan mengenai perilaku mekanisnya.



Gambar 9.1. (A) Batang yang mengalami defleksi (kekuatan bahan), (B) batang yang mengalami penekukan (kestabilan bahan) (Sumber Diktat Mekanika Kekuatan Bahan)

Suatu konstruksi mesin dapat dianggap aman bila secara umum terpenuhi tiga kondisi berikut :

1. Tegangan yang terjadi tidak melebihi tegangan yang diizinkan atau tiap komponen struktur memiliki kekuatan yang memadai.
2. Deformasi (perubahan bentuk) yang terjadi masih dalam batas toleransi yang aman atau tiap komponen struktur memiliki kekakuan yang cukup sehingga tidak mengganggu kinerja alat yang diinginkan.
3. Beban tekan yang terjadi tidak melebihi beban kritisnya atau tiap komponen struktur memiliki kestabilan yang baik sehingga tidak terjadi tekuk yang akan menyebabkan komponen tidak dapat mempertahankan posisinya dengan baik (runtuh).

9.2 Tegangan dan Regangan

Semua bentuk benda tentunya tersusun dari sejumlah bagian-bagian (anggota-anggota) berada dalam kesetimbangan (equilibrium) dibawah pengaruh gaya-gaya luar atau gaya eksternal dan reaksi-reaksi yang timbul pada titik-titik dukungnya.

Salah satu contoh sederhana penghapus karet. Jika kedua ujung wiper kita tarik, apa yang terjadi? Badan wiper akan memanjang. Jika kita berhenti menarik maka wiper akan kembali ke keadaan semula, oleh karena itu benda seperti wiper kita sebut benda elastis. Gaya yang diberikan terhadap wiper disebut gaya luar. Contoh lain dari gaya luar seperti benda ditarik, digerakkan, atau dimampatkan, maka bentuknya akan menjadi berubah. Ketika suatu benda kembali ke keadaan semula setelah gaya luar dihilangkan maka benda – benda tersebut dikatakan elastis. Namun sebagian besar sifat elastis dari suatu benda mempunyai batasan tertentu. Jika gaya yang diberikan pada suatu benda lebih besar dari batas elastisnya tentu benda tersebut tidak akan kembali ke bentuknya tetapi akan berubah bentuk selamanya. Bentuk paling sederhana dari pembebanan (P) yang diberikan yaitu beban tarik dan beban tekan yang bekerja pada suatu batang lurus dengan penampang yang tetap.

1. Tegangan (*Stress*)

Tegangan merupakan perbandingan antara gaya dengan luas permukaan yang mendapat gaya. Jika dalam suatu batang dikenakan gaya aksial P (tarik atau tekan) maka gaya tersebut akan melakukan perlawanan berupa beban yang terbagi rata di seluruh potongan melintangnya. Beban yang terbagi rata tersebut dinamakan tegangan normal σ [N/m²] dan dapat dinyatakan dalam rumus berikut :

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

dimana : σ = tegangan (N/m²)

P = beban aksial (Newton) dan

A = Luas bidang yang dikenai gaya (m²)

Tegangan normal ini dapat berupa tegangan tarik (*tensile stress*) atau tegangan tekan (*compressive stress*).

Definisi diatas dapat digambarkan sebagai berikut ;



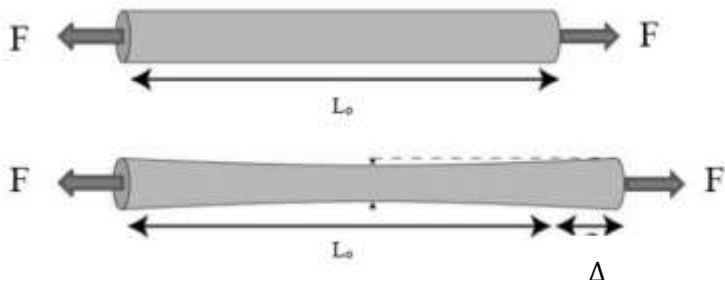
Gambar 9.2. Batang yang mengalami gaya aksial tarik
(Sumber Buku Fisika XI)

Gambar 9.3a dan b batang yang akan dikenakan gaya aksial tarik. Gambar 3c kondisi batang adalah setelah diberi beban. Panjang semula batang adalah L dan pertambahan panjangnya adalah δ (delta). Tegangan tarik akan teramati apabila kita membuat suatu potongan imajiner pada bagian mn dari batang. (gambar 3c). Jika kita isolasikan segmen batang di sebelah kiri potongan mn sebagai benda bebas (gambar 3d), di ujung kanan tampak aksi internal yang diberikan pada bagian kanan yang terdiri atas gaya yang terdistribusi merata dan kontinu di seluruh penampang σ serta resultan dari tegangan tersebut yaitu gaya aksial P .

2. Regangan (*Strain*)

Sebagaimana telah diketahui bahwa sebatang benda lurus akan mengalami perubahan panjang saat dikenai beban aksial, bertambah panjang saat ditarik, dan mengecil saat ditekan. Jika batang dikenai tegangan, maka deformasi tersebut disebut deformasi tarik, yang melambangkan pemanjangan material. Jika batang dikompresi maka terjadi gaya tarik, regangan tarik biasanya dianggap positif karena panjang bahan meningkat. Sebaliknya, ketika bahan mengalami gaya tekan, regangan tekan dianggap negatif karena panjang bahan berkurang.

Sebuah silinder dengan panjang awal L_0 mengalami peregangan ketika ditarik dengan gaya F , sehingga panjangnya bertambah menjadi $L_0 + \Delta L$. Regangan adalah ukuran yang menyatakan perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang awal dalam perubahan tersebut.



Gambar 9.3. Tegangan pada batang
(Sumber Buku Fisika XI)

Besarnya regangan dapat dirumuskan; $e = \frac{\Delta L}{L_0}$, dimana ΔL = pertambahan panjang (m)

L_0 = panjang semula (m)

e = regangan (tanpa satuan)

Dalam menentukan besarnya regangan (*strain*) harga dari *strain* tidak mempunyai satuan atau tidak berdimensi, hal ini dikarenakan perbandingan antara dua besaran pokok dengan satuan yang sama terjadi pada regangan, yang merupakan ukuran perubahan panjang suatu benda akibat pemberian gaya. Jika nilai regangan tinggi, hal itu menunjukkan bahwa benda tersebut cenderung lebih mudah mengalami penambahan panjang. Sebagai contoh, karet memiliki nilai regangan yang lebih besar dibandingkan dengan pegas yang digunakan pada kendaraan bermotor. Ini disebabkan oleh kemampuan karet untuk mengalami pertambahan panjang yang signifikan bahkan dengan pemberian gaya yang relatif kecil.

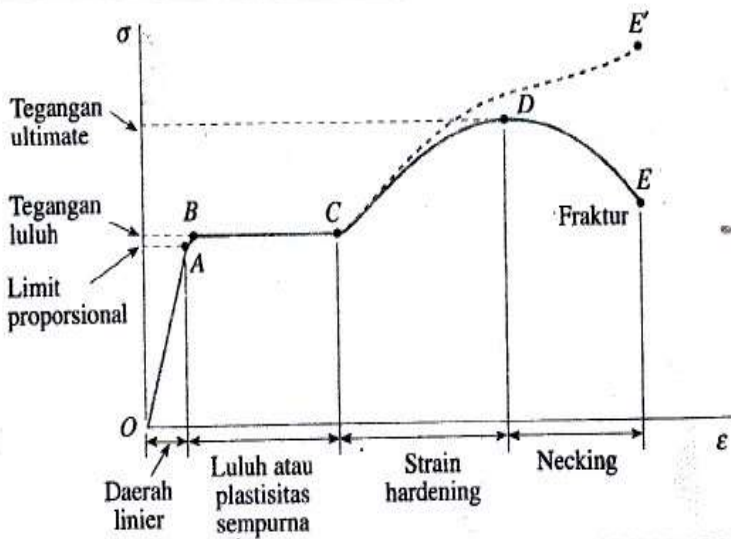
9.3 Diagram Tegangan-Regangan

Untuk mendapatkan gambaran tentang perilaku mekanis dari suatu jenis bahan tertentu maka dilakukan uji tarik terhadap tegangan dan regangan dari beberapa bahan. Nilai dari hasil pengujian biasanya tergantung pada benda yang akan diuji. Dengan demikian kecil sekali kemungkina struktur yang ukurannya sama dengan ukuran benda uji dapat digunakan, oleh karena itu perlu menuliskan hasil pengujian tersebut berupa angka yang dapat

diaplikasikan pada elemen struktur, tak terbatas pada ukuran berapa pun.

Cara sederhana yang dapat dilakukan adalah dengan mengkonversikan hasil pengujian tersebut kedalam diagram tegangan dan regangan. Setelah itu hasil dari uji tarik atau tekan yang didapat sebagai hasil dari penentuan tegangan dan regangan pada berbagai tingkat pembebanan, di plotingkan kedalam diagram tegangan dan regangan. Diagram tegangan-regangan merupakan karakteristik dari bahan yang diuji dan merupakan informasi penting tentang besaran mekanis dan jenis perlakuan yang akan dikenakan terhadap suatu bahan.

Salah satu contoh pembuatan diagram tegangan - regangan adalah bahan yang terbuat dari *baja Struktural*. yang dikenal dengan baja lunak atau baja dengan kandungan karbon rendah. Baja struktural juga merupakan satu bahan metal yang sering digunakan dalam pembangunan gedung, jembatan, menara, dan lain-lain.



Gambar 9.4. Kurva Tegangan - Regangan dari Baja Struktural
(Sumber diktat Mekanika Kekuatan Bahan)

Dari gambar 9.4 dapat dijelaskan mengenai gambaran perilaku mekanis dari Baja Struktural yang terdiri dari;

Batas proporsional O-A

Dengan menarik garis lurus dari pusat sumbu (O) ke titik A didapat hubungan antara tegangan dan regangan bukan saja linier tapi juga seimbang. Melewati titik A, tidak ada lagi proporsionalitas, tegangan di A disebut limit proporsional. Untuk baja berkarbon rendah limit poporsional adalah 30-50 ksi (210-350 MPa), baja berkekuatan tinggi (dengan kandungan karbon yang lebih tinggi dan tambahan unsur paduan lainnya,) limit poporsionalnya adalah lebih dari 80 ksi (550 MPa).

Modulus elastisitas, yang merupakan kemiringan garis OA pada grafik tegangan-regangan, diukur dalam satuan tegangan dibagi regangan, dan oleh karena itu memiliki satuan yang sama dengan tegangan, yaitu N/m^2 atau Pa (Pascal).

Batas Luluh B-C

Seiring dengan meningkatnya tegangan sampai pada batas kesetimbangan maka regangan akan meningkat lebih cepat setiap kali tegangan bertambah. Akibatnya, kemiringan kurva akan berkurang secara bertahap hingga mencapai titik B, membentuk garis horizontal. Dari titik ini, perpanjangan yang signifikan terjadi tanpa peningkatan gaya tarik (dari B ke C). Perubahan ini disebut titik awal luluh dari bahan, dan titik B disebut titik luluh, sehingga tegangan yang berkaitan disebut tegangan luluh. Di antara titik B dan C, bahan akan mengalami deformasi plastis sempurna, di mana bahan berubah bentuk tanpa ada pertambahan beban.. Untuk baja lunak perpanjangan di daerah plastis sempurna umumnya 10-15 kali perpanjangan di daerah linier.

Timbulnya regangan yang sangat besar di daerah palstis merupakan suatu alasan mengapa diagram tersebut tidak diplot berskala.

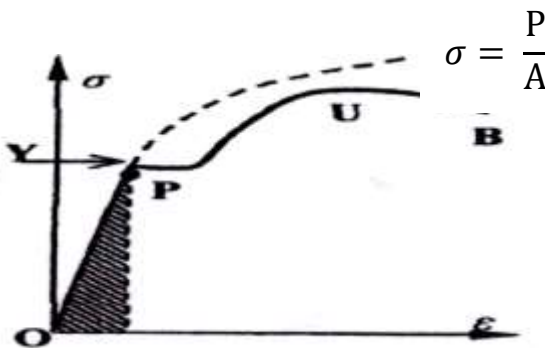
Kekuatan luluh dan Ultimat

Tegangan luluh dan ultimat suatu bahan disebut juga sebagai kekuatan luluh dan kekuatan ultimat. Kekuatan adalah suatu kemampuan suatu struktur dalam menahan beban. Misalnya, kekuatan luluh suatu balok adalah jumlah beban yang dibutuhkan agar balok tersebut dapat mengalami keruntuhan, dan kekuatan

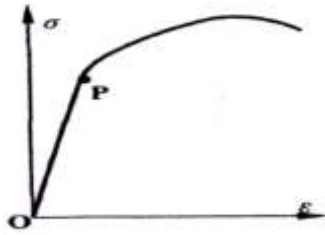
ultimit suatu rangka batang merupakan beban maksimum yang dapat ditopangnya, sampai struktur tersebut runtuh atau roboh. Namun, ketika melakukan pengujian tarik terhadap suatu bahan, ditentukan berdasarkan kapasitas beban yang diberikan pada benda uji dan bukan berdasarkan jumlah beban total yang diterapkan pada benda uji. Oleh karena itu, ketahanan suatu bahan sering dinyatakan dalam tegangan.

Batas maksimal D dan batas patah E

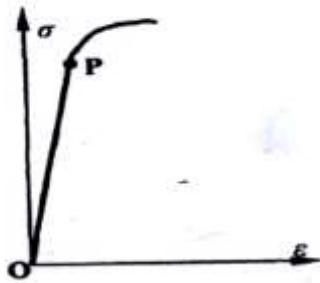
Pada saat baja mulai mengalami strain harden atau pengerasan regangan setelah mengalami tegangan maksimum yang terjadi pada proses aliran BC. Dalam situasi ini, struktur kristal material berubah, meningkatkan ketahanan material terhadap deformasi lebih lanjut. Peningkatan beban tarik diperlukan untuk memperpanjang daerah DE sehingga diagramnya menunjukkan kemiringan positif dari C ke D.. Beban maksimum yang dicapai di titik D disebut tegangan ultimat. Penarikan batang yang melebihi batas maksimum pada kenyataannya akan disertai dengan pengurangan beban dan akhirnya terjadi putus/patah di titik E. Berbagai jenis diagram tegangan-regangan untuk baja dan karet dapat diilustrasikan seperti contoh.



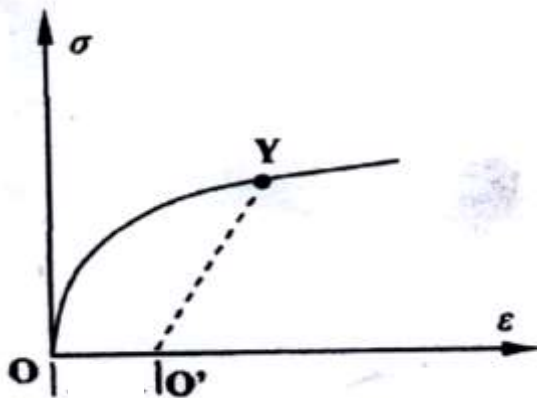
Gambar 9.5. Hubungan Tegangan Vs Regangan dari Baja KarbonMedium
(Sumber diktat Mekanika Kekuatan Bahan)



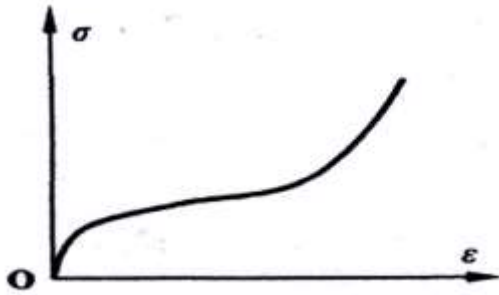
Gambar 9.6. Hubungan Tegangan Vs Regangan



Gambar 9.7. Hubungan Tegangan Vs Regangan dari Baja Campuran dari Baja Karbon Tinggi
(Sumber diktat Mekanika Kekuatan Bahan)



Gambar 9.8. Hubungan antara Tegangan Vs Regangan dari Besi Kasar

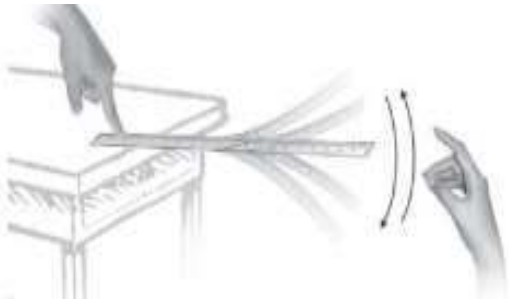


Gambar 9.9. Hubungan Tegangan Vs Regangan dari Karet
(Sumber diktat Mekanika Kekuatan Bahan)

Kurva tegangan-regangan sebenarnya

Dalam suatu benda jika dikenakan uji ditarik maka akan terjadi pula regangan. Pengurangan luas penampangnya menjadi kecil sampai disekitar titik C, setelah melewati titik ini, bentuk kurva mulai terjadi perubahan akibat dari besarnya hasil pengurangan dari luas penampang yang ditimbulkan. Pada daerah tegangan ultimat, pengurangan luas penampang dapat menyebabkan *necking* (regangan). Jika luas mula-mula penampang pada bagian yang mengecil dari leher ini digunakan untuk menghitung tegangan maka akan diperoleh kurva σ - ϵ yang sebenarnya (dalam gambar 4 digambarkan dengan garis putus-putus CE’).

9.4 Elastisitas



Gambar 9.10. Batang penggaris yang dijepit dan ujung yang lain diayunkan
(Sumber Buku Fisika kelas 11)

Dari gambar disamping dapat dilihat bahwa ujung batang yang bebas akan bergerak ke bawah kemudian ke atas lalu ke bawah lagi berulang-ulang. Batang penggaris akan selalu berusaha kembali ke awal mula. Dalam peristiwa ini penggaris mengalami gaya penolakan yang bertujuan untuk dapat kembali ke keadaan semula. Peristiwa inilah yang dinamakan elastisitas.

Elastisitas merupakan salah satu sifat suatu bahan yang berubah ukuran dan bentuk setelah terkena gaya luar, namun benda tersebut kembali ke ukuran dan bentuknya setelah aksi dari luar yang diberikan dihilangkan. Akan tetapi bila beban yang diberikan kecil terkadang tidak tampak adanya perubahan baik panjang ataupun kelengkungan dari benda tersebut. Contoh mengapa jembatan melengkung? Secara umum mengapa suatu benda bersifat elastis? Kita dapat menganggap suatu benda terbuat dari pegas. Jika pegas kita tarik maka pegas akan meregang, jika gaya tarikan kita hilangkan maka pegas akan kembali ke keadaan semula. Gaya yang diberikan oleh pegas serupa dengan gaya antar atom dalam molekul padat. Atom-atom ini dapat bergetar seperti gerak suatu massa yang diikatkan pada pegas.

Dengan demikian elastisitas dari suatu bahan disebabkan adanya gaya-gaya antarmolekul yang membentuk substansi tersebut.

9.5 Modulus Elastisitas atau Modulus Young

Seperti yang sudah dijelaskan mengenai tegangan dan regangan yang terjadi pada sebuah benda sebenarnya hal tersebut dapat terjadi secara simultan, pada saat jika suatu objek mengalami gaya sejajar sepanjang panjangnya, maka gaya yang diberikan persatuan luasnya sama dengan besarnya tegangan yang diterima, sehingga dapat mengakibatkan pertambahan panjang terhadap benda. Dengan demikian pertambahan panjang dari benda dibagi dengan panjang mula-mula sama dengan nilai regangan dari benda tersebut.

Perbandingan antara nilai tegangan dan nilai regangan secara umum dapat dikatakan sebagai *modulus elastisitas*, yaitu besaran yang menunjukkan ketahanan suatu bahan dalam mengalami deformasi (perubahan), karena jika semakin besar nilai

dari modulus elastisitas suatu benda, maka akan semakin sulit benda tersebut mengalami perubahan.

Besarnya Modulus elastisitas atau modulus Young dapat dihitung melalui suatu persamaan sebagai berikut :

$$Y = \frac{\sigma}{e}$$

Tegangan (σ) merupakan gaya per satuan luas, regangan (e) adalah perubahan panjang relatif, dan modulus elastisitas (Y) adalah ukuran kekakuan material, semuanya diukur dalam Pascal (N/m2), atau dapat juga dijabarkan dengan persamaan sebagai berikut

$$Y = \frac{F \times L_0}{A \times \Delta L} = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

Perubahan panjang, disimbolkan dengan ΔL , diukur dalam meter (m), panjang awal dinyatakan sebagai L_0 dalam meter (m), gaya dinyatakan sebagai F dalam Newton, dan luas bidang yang terkena gaya dinyatakan sebagai A dalam meter persegi (m²).

Berikut adalah tabel nilai modulus elastisitas beberapa material, memberikan informasi tentang kualitas material dalam konteks deformasi (perubahan bentuk, dimensi, atau posisi):

Tabel 9.1. Modulus elastisitas bahan

Bahan	Modulus Young (Pa)
Beton	2,3 x 10 miliar
Baja	20,0 x 10 miliar
Fe (Besi)	21 x 10 miliar
Karet	0,05 x 10 miliar
Kuningan	9,0 x 10 miliar
Kaca	5,5 x 10 miliar
Cu (Tembaga)	11 x 10 miliar
Stannum / Timah	1,60 x 10 miliar
Aluminium (Al)	7 x 10 miliar
Ni (Nikel)	21 x 10 miliar
Wolfram	41,0 x 10 miliar

(Sumber Buku Fisika XI)

Berdasarkan tabel modulus elastisitas, memang terlihat bahwa nilai modulus elastisitas (modulus Young) karet jauh lebih kecil dibandingkan dengan bahan lainnya dalam tabel. Hal ini menunjukkan bahwa karet cenderung lebih mudah mengalami perubahan bentuk dibandingkan dengan bahan-bahan lain yang tercantum dalam tabel tersebut. Modulus elastisitas yang rendah menunjukkan kemampuan bahan untuk meregang atau mengalami deformasi lebih mudah dibandingkan dengan bahan yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi.

Contoh soal

1. Diketahui tegangan yang terjadi karena gaya bekerja pada sebuah batang adalah $2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$. Jika panjang batang adalah 4 m dan modulus elastisnya adalah $2,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, Berapakah pertambahan panjang batang yang terjadi.

Penyelesaian:

$$\text{Diket : } \sigma = 2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$Y = 2,5 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$L_0 = 4 \text{ m}$$

$$\text{Dit : } \Delta L = ?$$

$$Y = \frac{\sigma}{e} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{dimana } e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

dengan mensubstitusikan harga $e = \frac{Y}{\sigma}$ kedalam persamaan (1)

akan didapat bentuk persamaan baru $\frac{\Delta L}{L_0} = \frac{\sigma}{Y}$ sehingga

$$\Delta L = \frac{\sigma}{Y} L_0$$

$$\Delta L = \frac{2 \times 10^6}{2,5 \times 10^8} \times 4$$

$$= 1,6 \times 10^{-2} \text{ meter} = 1,6 \text{ centimeter}$$

2. Batang besi dengan jari-jari 9 mm dan panjang 80 cm sedang ditarik oleh gaya sebesar $6 \times 10^4 \text{ N}$.
Dengan tegangan patah besi sebesar $4 \times 10^8 \text{ N/m}^2$,
 - a. Berapa tegangan tarik yang dikenakan pada batang?
 - b. Berapa perubahan panjang batang, dan apakah besi mengalami patah?

Penyelesaian :

- a. Tegangan tarik pada batang dihitung dengan menggunakan rumus tegangan (σ)

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

dengan F sebagai gaya tarik dan A sebagai luas penampang batang. Luas penampang (A) dapat dihitung dengan rumus: $A = \pi r^2$ dimana r adalah jari-jari batang.

$A = \pi \times (0.009)^2 \text{ m}^2$ substitusi harga A kedalam persamaan (1) didapat

$$\sigma = \frac{6 \times 10^4}{\pi \times (0.009)^2} \approx 2.123 \times 10^8 \text{ N/m}^2$$

- b. Perubahan panjang batang dapat dihitung dengan rumus regangan (ϵ):

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

Modulus elastisitas (Y) samadengan $Y = \frac{\sigma}{\epsilon}$

$$= \frac{4 \times 10^8}{0.002} = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{Y} = \frac{2.123 \times 10^8}{2 \times 10^{11}} = 0.0010615$$

Perubahan panjang $\Delta L = \epsilon \times L = 0.0010615 \times 0.8 \text{ m} = 0.0008492 \text{ m} = 0.8492 \text{ mm}$

Jadi, tegangan tarik pada batang adalah sekitar $2.123 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dan perubahan panjang batang adalah 0.8492 mm. Besi tidak patah karena perubahan panjang tidak melebihi panjang awal batang.

3. Sebuah kawat dengan panjang L dan jari-jari r dijepit erat di salah satu ujungnya. Saat ujung kawat yang lain ditarik dengan gaya F, panjang kawat meningkat sejauh x. Sebuah kawat lain dari bahan yang sama dan jari-jari yang identik, dengan panjang 3L, ditarik dengan gaya yang setara, berapakah penambahan panjang kawat tersebut.

Penyelesaian :

Jika diketahui $L_0 = L$

$$L_{02} = 3L$$

Gaya tarik pada kawat = $F = F_1 = F_2$

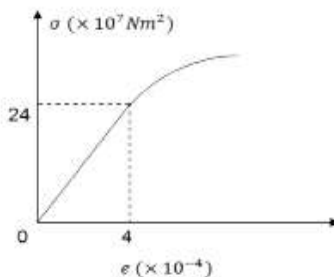
$$\text{Maka } \frac{\Delta L_2}{L_{02}} = \frac{\Delta L_1}{L_{01}}$$

$$\Delta L_2 = \frac{\Delta L_1}{L_{01}} L_{02}$$

$$= \frac{X}{L} 3L$$

$$= 3X$$

4. Hitung besarnya modulus elastisitas atau *Modulus Young* (dalam Pa) kawat seperti yang ditunjukkan dalam gambar kurva di bawah ini.



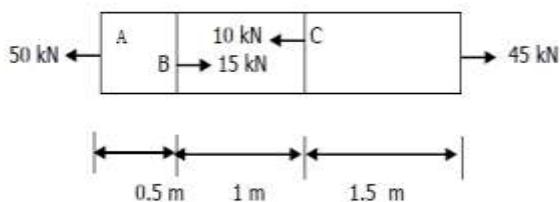
Besarnya modulus Young dihitung dengan menggunakan persamaan $Y = \frac{\sigma}{e}$

$$e = \frac{24 \times 10^7}{4 \times 10^{-4}}$$

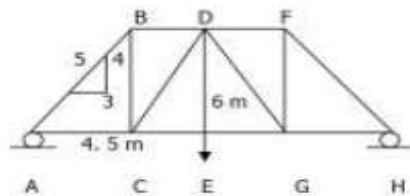
$$e = 6 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

Latihan soal-soal

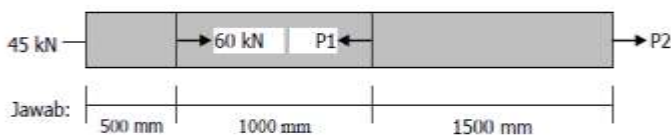
1. Sebuah batang baja menerima gaya seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini. Hitunglah penambahan total panjang yang terjadi dengan modulus elastisitas sebesar 200 Giga Newton per meter persegi.



2. Sebuah struktur mengalami gaya dan tekanan sesuai dengan gambar. Jika tekanan yang terjadi adalah 200 Mega Pascal dan modulus elastisitasnya adalah 200 Giga Newton per meter persegi, temukanlah penambahan panjang yang terjadi pada bagian DE.



3. Sebatang prisma dengan penampang empat persegi panjang (20 x 40 mm) dan panjang 2.8 m mendapat gaya tarik aksial sebesar 70 kN. Pemanjangan batang adalah 1.2 mm. Tentukan tegangan dan regangan tarik dalam batang tersebut.
4. Batang dengan penampang bujur sangkar (sisi panjang 70 mm) mengalami beban sesuai gambar. Berat jenis bahan adalah $8 \times 10^4 \text{ N/m}^3$. Jika total perpanjangan adalah 0.01 mm, berapa nilai modulus elastisitas bahan batang tersebut?
5. Sebuah batang prisma dalam keadaan statis dengan penampang berdiameter 20 mm menerima gaya seperti yang ditunjukkan pada gambar. Jika modulus elastisitas bahan tersebut adalah 200 Giga Pascal, tentukan nilai beban P1 dan P2 yang diperlukan agar tidak terjadi perpanjangan atau pemendekan.



DAFTAR PUSTAKA

- Agung, K. 2009. 'Diktat Kuliah Ilmu Material Teknik', *Material Teknik*, pp. 1–108.
- Andrawina, R. 2011. '1. tegangan normal dan tegangan geser 1.1.', *Tegangan Normal Dan Tegangan Geser*, pp. 1–16.
- Bloom, N. and Reenen, J. Van. 2013. *A Textbook of Strength of Materials, NBER Working Papers*.
- Fatimah and Nuryaningsih. 2018. 'Buku Ajar', pp. 1–48.
- Fitria, N., Jannah, M. and Zahriah. 2020. 'E-Modul Fisika Elastisitas Kelas XI', pp. 1–33.
- Hibbler, R. C. 1999. *Mekanika Teknik Edisi Bahasa Indonesia Jilid 2*.
- Isworo, H. 2018. 'Mekanika Kekuatan Material I', *Buku Ajar*, pp. 19–22.
- Timoshenko, S. 1953. 'History of Strength of Materials - Timoshenko.
- Wilujeng, H. S. – I. 2013. 'Fisika Buku Siswa', in.
- Yunus. 2010. 'Diktat Mekanika Kekuatan Material.', *Teknik Mesin Universitas Darma Persada*, pp. 5–21.

BAB 10

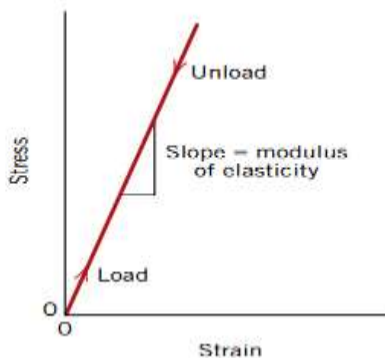
REGANGAN PADA BENDA LENTUR

Oleh Shanti Kumbarasari

10.1 REGANGAN

Dalam proses perancangan sebuah produk maka salah satu yang perlu dipertimbangkan adalah sifat mekanis material saat menerima pembebanan. Jenis pembebanan dapat dibedakan yaitu pembebanan tarik, tekan atau geser secara statis atau fluktuasi secara periodik dengan alokasi waktu dan suhu tertentu. Akibat dari pembebanan pada produk maka material yang terkandung pada produk tersebut cenderung mengalami deformasi (bentuk atau ukuran produk berubah dari bentuk atau ukuran awalnya).

Besarnya regangan atau derajat deformasi dipengaruhi oleh angka tegangan yang dikenakan pada produk. Apabila deformasi yang diakibatkan oleh tegangan(*stress*) pada sumbu koordinat ordinat serta regangan(*strain*) pada sumbu absis sebanding maka dinamakan deformasi elastis. Pada gambar 10.1 menampilkan hubungan linier antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*).



Gambar 10.1. Hubungan antara Tegangan (Stress) dan Regangan (Strain)

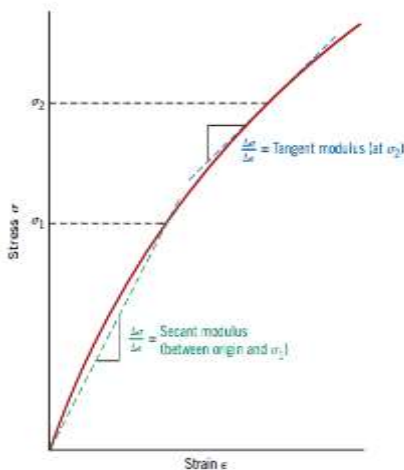
Kemiringan bagian linier menunjukkan hubungan dengan modulus elastisitas E dimana modulus menggambarkan ketahanan suatu material terhadap deformasi elastis. Modulus material semakin besar maka regangan elastis yang dihasilkan semakin kecil. Hubungan antara tegangan(stress) dan regangan (strain) dapat dirumuskan yaitu

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

Modulus elastisitas (E) merupakan gradien kurva dalam daerah linier dimana perbandingan antara tegangan dan regangan dan nilainya selalu tetap.

Deformasi elastis mempunyai sifat tidak permanen dimana apabila beban dilepaskan maka benda uji akan kembali ke bentuk sebelumnya.

Pada gambar 10.1. menunjukkan bahwa proses pembebanan berhubungan dengan pergerakan dari posisi asal titik menuju ke atas dengan bergerak sepanjang garis lurus. Ketika beban dilepaskan, maka garis bergerak kembali dengan lintasan yang sama namun dengan arah berlawanan menuju posisi asal titik.



Gambar 10.2. Diagram skema tegangan (stress) – regangan (strain) elastis non linier

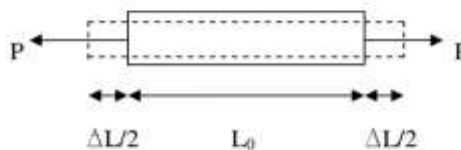
Terdapat beberapa material misalnya besi cor kelabu, beton dan polimer dimana kurva tegangan(stress) –regangan (strain) di

bagian elastisnya tidak linier sehingga tidak dapat menentukan modulus elastisitasnya secara tepat. Maka untuk menentukan modulus elastisitasnya menggunakan modulus tangen dengan cara menggunakan kemiringan kurva tegangan-regangan pada tegangan tingkat tertentu seperti pada gambar 11.2. Modulus garis potong menunjukkan kemiringan garis potong yang diperoleh dari titik asal suatu titik tertentu pada kurva s-P.

10.1.1 Regangan Normal

Ketika sebuah benda uji diberikan beban tarik maka benda uji akan mengalami deformasi $[\Delta L]$ satuan meter atau milimeter dengan panjang mula-mula $[L_0]$ satuan meter atau milimeter maka regangan $[\varepsilon]$ dinyatakan dengan persen. Regangan normal ditunjukkan pada persamaan :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$



Gambar 10.3. Pengujian Tarik

Tanda arah panah pada gambar 10.3 pengujian tarik menampilkan arah gaya serta regangan, apabila gaya tarik mengakibatkan pertambahan ukuran dari ukuran semula maka regangan bernilai positif serta regangan bernilai negatif apabila mendapat gaya tekan serta terjadi pengurangan dari ukuran awal. Untuk regangan yang bernilai negatif, hal ini menunjukkan terjadinya deformasi penyusutan maka menggunakan persamaan perbandingan Poisson $[v]$ dimana

$$v = \frac{\varepsilon_r}{\varepsilon_l}$$

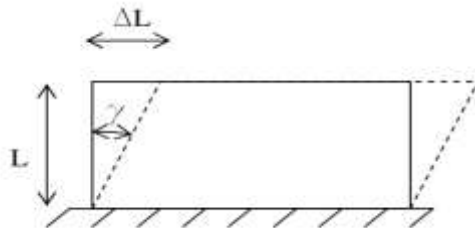
Walaupun harga ν pada material berkrystal seperti logam kira-kira 1/3, dapat dinyatakan dengan perhitungan dari hubungan antara kandungan atom serta arah tegangan.

10.1.2 Regangan Geser

Ketika sebuah produk uji menerima tegangan geser maka benda tidak mengalami perubahan volume namun mengalami tegangan geser $[\gamma]$ dengan persamaan

$$\gamma = \frac{\mu}{G}$$

Notasi $[\mu]$ menunjukkan modulus geser atau modulus kekakuan dan regangan geser $[\gamma]$



Gambar 10.4. Tegangan geser

10.1.3 Regangan Volumetric

Produk uji yang berdimensi panjang $[l]$ dengan luas penampang $[b \times t]$ menerima deformasi elastik akibat gaya tarik, maka volumenya adalah $V_1 = V + \Delta V$ serta dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_1 &= (l + \epsilon_1 \cdot l)(b - \nu \cdot \epsilon_1 \cdot b)(t - \nu \cdot \epsilon_1 \cdot t) \\ &= V \{ 1 + \epsilon_1(1 - 2\nu) + \epsilon_1^2(\nu^2 - 2\nu) + \nu^2 \cdot \epsilon_1^3 \} \end{aligned}$$

Dikarenakan, regangan di daerah elastik ϵ_1 dengan asumsi mempunyai nilai 10^{-3} sehingga dapat diabaikan, kuadrat serta pangkat tiga dapat dihilangkan sehingga dapat menggunakan persamaan

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{(V_1 - V)}{V} = \epsilon_1(1 - 2\nu) = K$$

Koefisien K menunjukkan modulus elastik bulk, jika $\nu = 1/3$ sehingga $K = E/3$ hal ini menunjukkan bahwa deformasi elastik volume mengembang.

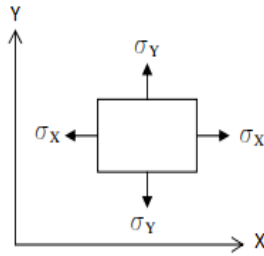
Koefisien E, ν , K atau μ merupakan modulus elastik yang diakibatkan oleh gaya tarik atom pada benda padat isotropik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 10.1.

Tabel 10.1. Koefisien Elastisitas volume (K), Modulus Young (E), Modulus Kekakuan (μ) dan Perbandingan Poisson (ν) dari Benda Padat Isotropik

Koefisien yang diperoleh	Koefisien yang diberikan					
	K, E	K, μ	K, ν	E, ν	E, μ	μ, ν
K				$\frac{E}{3(3\mu - E)}$	$\frac{E}{3(1 - 2\nu)}$	$\frac{2}{3} \mu \left(\frac{1 + \nu}{1 - 2\nu} \right)$
E		$\frac{9 K \mu}{3 K + \mu}$	$3 K(1 - 2\nu)$			$2\mu(1 + \nu)$
μ	$\frac{3 K E}{9 K - E}$		$\frac{3}{2} K \frac{(1 - 2\nu)}{(1 + \nu)}$		$\frac{E}{2(1 + \nu)}$	
ν	$\frac{1}{2} - \frac{E}{6K}$	$\frac{1}{2} \left(\frac{3K - 2\mu}{3K + \mu} \right)$		$\frac{E}{2\mu} - 1$		
Keterangan : Perbandingan (ν) adalah 0,25-0,45 serta $0,66E \leq K \leq 3,5E$ Poisson $0,36E \leq \mu \leq 0,40E$ Harga ini biasanya $\nu = 0,33$ serta $K \leq E, \mu \leq (3/8)E$						

10.1.4 Regangan pada Tegangan Biaksial serta Triaksial

Sebuah sistem dengan pembebanan aksial dimana menggunakan dua arah sumbu yang tegak lurus (gambar 11. 5) dimana regangan total sesuai arah sumbu x (ϵ_x) yang dipengaruhi oleh tegangan ke arah sumbu X dengan diwakili (σ_x) dan tegangan ke arah sumbu Y dengan notasi (σ_y).



Gambar 10.5. Tegangan biaksial

Maka regangan untuk tegangan biaksial pada sumbu x,

$$\varepsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} - v \cdot \frac{\sigma_y}{E}$$

Dimana notasi ε merupakan regangan, σ untuk notasi tegangan, E adalah modulus Young yang merupakan ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan perubahan panjang ketika terjadi tegangan/ kompresi memanjang serta notasi v merupakan nilai perbandingan Poisson (perbandingan antara penyempitan performa benda uji terhadap pertambahan panjang akibat tegangan tarik secara linier).

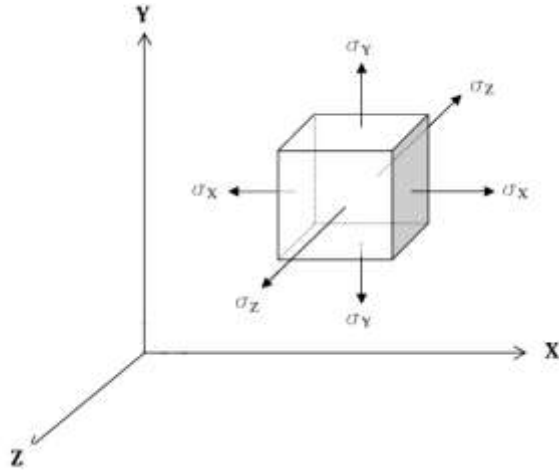
Sehingga dapat dirumuskan

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - v \cdot \sigma_y)$$

Regangan untuk tegangan biaksial pada sumbu y

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - v \cdot \sigma_x)$$

Untuk regangan dalam sistem tegangan triaksial yang disebabkan oleh tegangan yang bekerja dengan tiga arah sumbu koordinat yaitu σ_x , σ_y dan σ_z .



Gambar 10.6. Tegangan triaksial

Maka regangan yang bekerja arah sumbu x didapatkan persamaan

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \left(\sigma_x - v. (\sigma_y + \sigma_z) \right)$$

Regangan yang bekerja pada arah sumbu y

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} \left(\sigma_y - v. (\sigma_x + \sigma_z) \right)$$

Regangan yang bekerja untuk arah sumbu z

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} \left(\sigma_z - v. (\sigma_x + \sigma_y) \right)$$

10.2 Regangan Pada Benda Lentur

Saat proses pengerjaan kompresi atau tempa pada sebuah produk yang berbahan baku logam maka terjadi pergerakan atom-atom yang terkandung pada logam tersebut, atom bergerak melewati atom lainnya sehingga mengakibatkan atom-atom berposisi di tempat yang baru. Akibat dari perubahan posisi atom maka mempengaruhi bentuk produk tersebut.

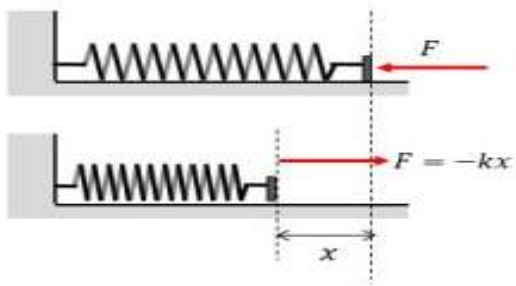
Kemampuan suatu produk yang mengalami perubahan bentuk tanpa terjadinya deformasi plastis (patah) dinamakan kelenturan, contohnya proses pengerjaan logam pada tembaga, aluminium dan emas saat di tempa.

Tingkat kelenturan suatu produk akan menentukan kendali mutu produk dalam pemilihan penggunaan inovasi aplikasi teknologi, ketersediaan data kelenturan untuk proses desain yang optimal dan akurat. Pada tabel 10.2 menunjukkan nilai Modulus Young tiap jenis bahan yang berhubungan erat dengan teori elastisitas jenis bahan.

Tabel 10.2. Modulus Young

Jenis bahan	Modulus Young (Pa)
Aluminium	7×10^{10}
Baja	20×10^{10}
Besi	21×10^{10}
Karet	$0,05 \times 10^{10}$
Kuningan	9×10^{10}
Nikel	21×10^{10}
Tembaga	11×10^{10}
Timah	$1,6 \times 10^{10}$
Beton	$2,3 \times 10^{10}$
Kaca	$5,5 \times 10^{10}$
Wolfram	41×10^{10}

Salah satu penerapan benda yang elastis adalah pegas dimana pada saat pegas diregangkan maka pegas memberikan gaya pemulih sehingga pegas dapat kembali pada panjang yang semula.



Gambar 10.7. Pegas

Secara umum gaya pemulih identik dengan regangan yang dapat dijabarkan dengan hukum Hooke

$$F = k \cdot \Delta x$$

Dimana

F = gaya yang diberikan pada pegas (N)

'k = konstanta pegas (N/m)

'x= pertambahan panjang pegas (m)

Hukum Hooke dapat diaplikasikan pada material yang mengalami tegangan triaksial.

10.3 Pengujian Kelenturan

Akibat dari gaya tarik serta tekan yang dikenakan di sebuah material maka dapat mengakibatkan tekukan atau fleksi pada material tersebut.

Untuk mengetahui ukuran sifat lentur sebuah material maka diperlukan pengujian lentur yaitu sebagai berikut :

10.3.1 Kekuatan Lentur

Produk uji yang dapat menahan tegangan lentur maksimum sebelum produk uji mengalami peristiwa luluh. Satuan pengukuran kekuatan lentur adalah gaya per satuan luas.

10.3.2 Kuat Leleh Offset Lentur

Diagram yang menunjukkan hubungan tegangan –regangan menyimpang sebesar regangan tertentu (offset) dari garis singgung ke bagian garis lurus awal kurva. Untuk kekuatan luluh offset lentur memiliki nilai yang tidak sama dengan kekuatan lentur yang didapatkan.

10.3.3 Regangan Lentur

Regangan lentur maksimum terjadi pada pertengahan bentang pengujian produk uji sehingga mengakibatkan perubahan nilai nominal ukuran panjang permukaan luar produk uji. Nilai regangan lentur diperoleh dari perbandingan nilai awal dan nilai akhir sehingga tidak memiliki satuan.

10.3.4 Modulus Lentur

Modulus lentur menunjukkan perbandingan antara tegangan dan regangan sehingga mengakibatkan deformasi kelenturan pada produk yang diujikan.



Gambar 10.8. Pengujian Modulus Bahan Struktural
ASTME111
Sumber. Admec, Inc

Dari hasil pengujian lentur akan didapatkan nilai tegangan lentur, regangan produk uji sehingga didapatkan sifat lentur produk uji. Setelah mengetahui sifat lentur produk uji maka dapat diaplikasikan sesuai kegunaan/fungsi atau kebutuhan industri dan sesuai dengan tujuan kendali mutu dan standar yang telah ditentukan sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Prof. Ir. Tata Surdia MS.Met.E, 2000.*Pengetahuan Bahan Teknik*,
Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- William D. Callister, Jr. 2014. *Materials Science and
Engineering*, United States of America: Wiley

BAB 11

GAYA REAKSI DAN DEFLEKSI

Oleh Subekti

11.1 Pendahuluan

Balok dengan tumpuan sederhana merupakan salah satu golongan elemen struktur yang banyak dijumpai dalam aplikasi keteknikan. Dalam analisis mengenai ledutan kecil, balok dengan tumpuan sederhana merupakan suatu struktur yang khas dan sederhana.

Secara khusus, balok yang didukung secara sederhana dapat dimanfaatkan untuk mengukur sifat mekanik bahan dengan uji lentur balok yang bertumpu pada tumpuan sederhana di bawah lentur tiga titik atau empat titik. Dalam menentukan sifat mekanik suatu balok, pengetahuan hubungan beban-defleksi atau beban-perpindahan merupakan prasyarat. Bila defleksi transversal dibatasi hingga cukup kecil, diketahui bahwa beban-defleksi mengikuti hubungan linier (Lie, dkk, 2015).

11.2 Gaya Reaksi dan Defleksi

11.2.1 Gaya Reaksi

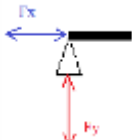
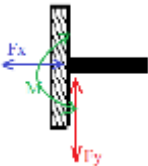
Pada bagian ini, kita akan mempelajari gaya reaksi, yang merupakan langkah pertama dalam menganalisis struktur yang ditentukan secara statis. Ketika suatu beban diterapkan pada suatu struktur, struktur tersebut tidak dapat berdiri diam kecuali beban yang diberikan pada struktur tersebut dan gaya yang dihasilkan pada titik tumpu seimbang. Gaya yang dihasilkan pada titik tumpu sebagai respons terhadap beban yang diberikan disebut gaya reaksi. Banyaknya gaya reaksi yang dihasilkan pada titik tumpu ditentukan oleh tiga jenis metode tumpuan seperti terlihat pada tabel 11.1.

Besaran, arah, dan arah gaya reaksi ditentukan dari kondisi keseimbangan gaya yang ditunjukkan di sebelah kanan, berdasarkan beban yang diterapkan dan jenis titik tumpu. Sekarang mari kita hitung gaya reaksi yang sebenarnya dihasilkan dalam

struktur. Gaya resultan gaya-gaya yang dihasilkan pada titik tumpu komponen adalah 0, dan momen gaya terhadap titik mana pun adalah 0, menurut hukum Newton adalah

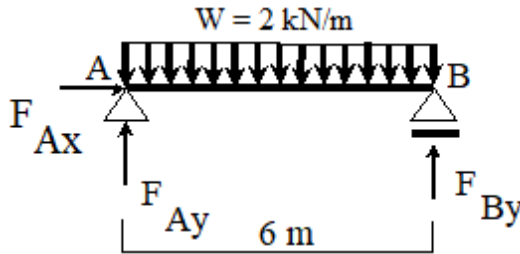
1. $\Sigma F_x=0$ (jumlah gaya horizontal adalah 0)
2. $\Sigma F_y=0$ (jumlah gaya vertikal adalah 0)
3. $\Sigma M=0$ (jumlah momen yang dihasilkan di titik tumpu adalah 0)

Tabel 11.1. Jenis-Jenis titik tumpu

No	Titik tumpu	Keterangan
1	 Titik tumpuan bergerak (roller)	Gambar di sebelah kiri disebut juga titik tumpu bergerak, titik tumpu bergerak, atau titik tumpu rol. Merupakan titik tumpu yang dapat bergerak dan berputar pada arah horizontal, tetapi hanya terpaku pada arah vertikal. Gaya reaksi hanya terjadi pada arah vertikal yang tetap.
2	 Titik Tumpuan Rotasi	Gambar di sebelah kiri disebut juga titik tumpu rotasi, titik tumpu pin, atau titik tumpu engsel. Merupakan titik tumpu yang hanya dapat berputar dan dipasang pada arah horizontal dan vertikal. Gaya reaksi hanya terjadi pada arah horizontal dan vertikal yang tetap.
3	 Titik tumpuan tetap	Gambar di sebelah kiri disebut juga titik tumpu tetap atau ujung tetap. Ini adalah titik tumpu yang tetap ke segala arah: horizontal, vertikal, dan rotasi. Gaya reaksi juga terjadi ke segala arah: horizontal, vertikal, dan rotasi.

Contoh 1. Kasus perhitungan gaya reaksi pada balok

Ketika beban terdistribusi merata $w = 2 \text{ kN/m}$ bekerja pada balok sederhana seperti ditunjukkan pada Gambar 12.1, tentukan gaya reaksi titik tumpu yang terjadi pada balok tersebut.



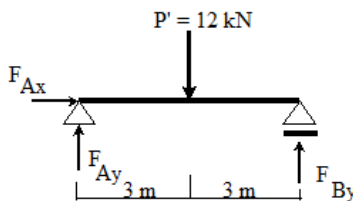
Gambar 11.1. Sebuah beban terdistribusi merata

Langkah-langkah yang harus dilakukan adalah

1. Pertama, asumsikan gaya reaksi yang dihasilkan di titik tumpu.
2. Selanjutnya, jika beban terdistribusi merata, gantikan dengan beban terpusat P' .

$$P' = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 6 \text{ m} = 12 \text{ kN} \quad (11.1)$$

Posisi kerja P' berada ditengah-tengah balok atau $1/2$ panjang balok sepanjang 3 m. Dengan kata lain, kondisinya sama dengan sinar yang ditunjukkan pada (Gambar 11.2). Oleh karena itu, mencari gaya reaksi pada kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 11.2 mempunyai arti yang sama dengan mencari gaya reaksi untuk balok pada Gambar 11.1.



Gambar 11.2. Sebuah beban terdistribusi merata

3. Selanjutnya, carilah nilai gaya reaksi menggunakan tiga kondisi keseimbangan gaya yang ditunjukkan di atas.

$$\Sigma F_X = 0 \text{ maka } F_{Ax} = 0 \quad (11.2)$$

$$\Sigma F_Y = 0 \text{ maka } F_{Ay} + F_{By} = 12 \text{ kN} \quad (11.3)$$

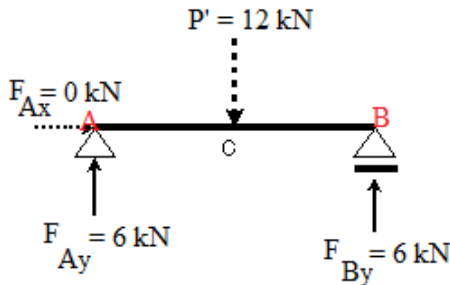
$$\Sigma M_B = 0, \text{ maka } F_{Ay} \times 6 - 12 \times 3 = 0 \quad (11.4)$$

$$F_{Ay} = \frac{36}{6} = 6 \text{ kN (gaya kearah atas)}$$

Maka subsitusikan hasil persamaan (11.3) ke persamaan (11.5)

$$F_{Ay} = 12 \text{ kN} - 6 \text{ kN} = 6 \text{ kN}$$

Oleh karena itu, jawabannya ditunjukkan pada diagram di bawah ini.



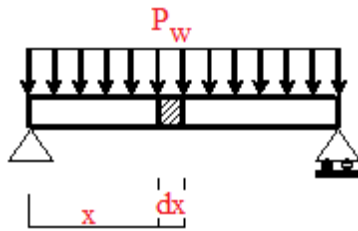
Gambar 11.3. Sebuah beban terdistribusi merata

Penjelasan tentang tanda pada persamaan di atas

Dalam menyelesaikan suatu struktur, tanda rumus perhitungan mempunyai arti yang sangat penting. Selain itu, walaupun tandanya sama, tanda di rumus dan tanda di jawaban punya arti yang berbeda, jadi hati-hati jangan sampai bingung. Misalnya, meskipun tanda minus (-) sama, namun (-) pada rumus mewakili arah gaya, dan (-) pada hasil perhitungan menunjukkan bahwa arah gaya berlawanan dengan yang diasumsikan.

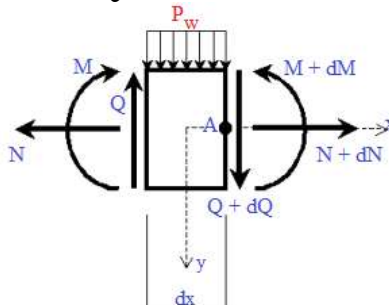
Seperti yang kita pelajari sebelumnya, ketika suatu beban diterapkan pada suatu struktur, gaya reaksi dihasilkan dan tegangan pun dihasilkan. Dengan kata lain, stres merupakan fungsi dari beban. Mengetahui hubungan matematis antara beban dan tegangan merupakan keuntungan besar saat menentukan

tegangan. Oleh karena itu, di sini kita akan membahas hubungan matematis antara beban dan tegangan. Sekarang, mari kita pertimbangkan keseimbangan gaya dengan mengambil rentang menit sembarang dx dari balok dimana beban terdistribusi P_w terjadi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.4. Pada saat ini diasumsikan bahwa struktur tidak runtuh terhadap gaya luar dan mempertahankan bentuknya (dalam keadaan setimbang).



Gambar 11.4. Sebuah beban terdistribusi merata

Perhatikan keseimbangan kekuatan pada Gambar 11.4. Pertama, karena beban terdistribusi P_w terjadi dalam Gambar 11.4 menunjukkan hubungan gaya pada penampang yang diambil. Gaya geser Q dan momen lentur M dihasilkan masing-masing sebagai tegangan pada bidang ① (bidang x yang menjauhi pin titik tumpu). (Gaya aksial N tidak diperhitungkan karena tidak ada beban horizontal yang bekerja padanya.) Tegangan pada bidang ② (bidang dx menjauhi penampang ①) adalah gaya geser, karena bentang bertambah dx dari sisi kiri. Kedua momen lentur tersebut akan bertambah sebesar dQ dan dM .

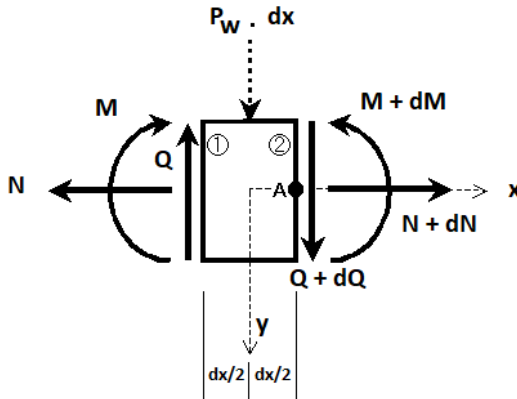


Gambar 11.5. Sebuah beban terdistribusi merata

Pada gambar di sebelah kiri, x dan y menunjukkan arah positif sumbu koordinat. Arah gaya horizontal dan vertikal (positif/negatif) harus mengikuti koordinat. Perhatikan keseimbangan kekuatan pada Gambar 11.5. Pertama, karena beban terdistribusi P_w terjadi dalam jarak yang diekstraksi dx , kita akan menggantinya dengan beban terkonsentrasi. Oleh karena itu, dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_w \cdot dx = P_w \cdot dx \quad \text{atau} \quad dx \cdot \frac{1}{2} = \frac{dx}{2} \quad (11.6)$$

akan mempertimbangkan keseimbangan gaya dalam situasi yang ditunjukkan pada Gambar 11.6.



Gambar 11.7. Sebuah beban terdistribusi merata

Diagram benda bebas pada Gambar 11.7. maka akan diperoleh

$$\Sigma F_X = 0 \text{ maka } N - (N + dN) = 0 \quad \text{Jadi } dN = 0 \quad (11.7)$$

$$\Sigma F_Y = 0 \text{ maka } -Q + P_w \cdot dx + (Q + dQ) = 0 \quad -$$

$$P_w \cdot dx + dQ = 0$$

$$dQ = -P_w \cdot dx$$

$$\frac{dQ}{dx} = -P_w \quad (11.8)$$

$\Sigma M_A = 0$, maka

$$M + Q \cdot dx - P_w \cdot dx \cdot \frac{dx}{2} - (M + dM) = 0$$

$$Q \cdot dx - \frac{P_w}{2} \cdot dx^2 - dM = 0$$

Karena $\frac{P_w}{2} \cdot dx^2$ sangat kecil dan mendekati nol maka

$$Q \cdot dx - dM = 0$$

$$\frac{dM}{dx} = Q \quad (11.9)$$

Dari penjelasan di atas, secara umum, ketika beban terdistribusi P_w

bekerja pada suatu struktur, dapat dikatakan sebagai berikut. Ketika beban terdistribusi bekerja pada suatu struktur, nilai yang diperoleh dengan membedakan momen lentur dua kali sama dengan nilai yang berlawanan tanda dengan beban yang diterapkan. Untuk menguraikannya lebih lanjut, dapat dikatakan bahwa "membedakan momen lentur dua kali menjadi beban." Saat menyelesaikan suatu struktur, dalam banyak kasus beban diketahui dan tegangan dihitung, dan nilai momen menjadi :

$$M = \int Q \cdot dx = \iint P_w \cdot dx \cdot dx \quad (11.10)$$

dapat diperoleh dengan mengintegrasikan beban dua kali. Persamaan (11.10) umumnya disebut "persamaan diferensial balok," dan merupakan persamaan yang sangat penting, jadi mari kita periksa dengan cermat mengapa persamaan (11.10) diturunkan.

Kunci untuk menggunakan rumus ini adalah dengan mempertimbangkan beban yang terdistribusi sebagai suatu fungsi, yaitu untuk beban yang terdistribusi merata, $P_w = \text{konstanta}$, dan untuk beban yang terdistribusi merata, $P_w = ax + b$ (fungsi linier). secara efektif. Inilah intinya. Kita telah mempelajari sebelumnya bahwa diagram momen lentur balok yang dikenai beban terdistribusi merata menjadi kurva kuadrat (parabola), dimana momen (M) merupakan persamaan kuadrat terhadap x , dan gaya geser Q merupakan persamaan linier terhadap x , dimana diagram M adalah kurva kuadrat dan diagram Q berbentuk kurva linier Alasan mengapa berbentuk garis lurus dapat dijelaskan secara matematis.

Selain itu, persamaan (11.10) dapat dikatakan benar bila kedudukan diagram momen dapat dinyatakan dengan satu

persamaan, sehingga dapat dikatakan persamaan (11.10) efektif digunakan pada tiga kasus berikut.

1. Ketika beban didistribusikan secara merata
2. Suatu balok harus mampu menahan berbagai beban, baik beban dengan gaya terpusat atau beban dengan gaya terdistribusi
3. Ketika suatu beban momen hanya bekerja pada ujung balok

Ini hanya formalitas saja, tetapi jika kita menganggap beban sebagai fungsi bentang, maka nilai gaya geser dan momen lentur yang diperoleh dengan mengintegrasikannya juga merupakan fungsi bentang. Oleh karena itu, mengacu pada simbol fungsi $y=f(x)$ yang digunakan dalam matematika, kita akan menuliskan beban, gaya geser, dan momen lentur masing-masing sebagai $Pw(x)$, $Q(x)$, dan $M(x)$.

11.2.2 Defleksi

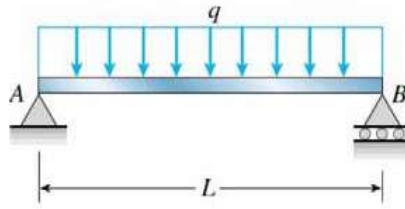
Mengenai defleksi atau ledutan, sangat penting dalam perkuliahan mekanika kekuatan material. Oleh sebab itu, pentingnya dibahas mengenai kondisi geometri dan kinematika (Shibuya dan Nakatani, 2017). Dalam menyelesaikan persoalan deflesi terdiri dari:

1. Metode Integrasi Ganda Keuntungan utama metode integrasi ganda adalah menghasilkan persamaan defleksi di semua titik sepanjang balok.
2. Metode luas momen Metode luas momen merupakan suatu prosedur semigrafis yang memanfaatkan sifat-sifat luas pada diagram momen lentur. Ini adalah cara tercepat untuk menghitung defleksi pada lokasi tertentu jika diagram momen lentur memiliki bentuk yang sederhana.
3. Metode superposisi, dimana pembebanan yang diterapkan direpresentasikan sebagai serangkaian beban sederhana yang rumus defleksinya tersedia. Kemudian defleksi yang diinginkan dihitung dengan menjumlahkan kontribusi beban komponen (prinsip superposisi).

Pada engsel (titik C), defleksi $y(x)$ kontinu, namun sudut defleksi $\theta(x)$ terputus-putus, sehingga harus berhati-hati saat mengintegrasikan persamaan defleksi atau menerapkan metode luas momen, seperti contoh berikut ini :

Contoh 2 kasus menyelesaikan defleksi

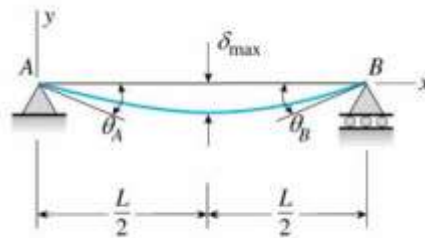
Sebuah lendutan terjadi pada balok AB yang memikul beban seragam dengan intensitas q , seperti tampak pada Gambar 11.6.



Gambar 11.8. Balok dengan beban seragam

Tentukan $\delta_{\max}$ dan θ_A , θ_B , seperti tampak pada gambar 11.9. dengan kekakuan lentur balok adalah EI momen lentur pada balok adalah

$$M = \frac{qLx}{2} - \frac{qx^2}{2}$$



Gambar 11.9. defleksi dan sudut defleksi pada balok dengan beban seragam persamaan diferensial kurva defleksi

$$EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \frac{qLx}{2} - \frac{qx^2}{2}$$

Kemudian

$$EI \frac{\partial y}{\partial x} = \frac{qLx^2}{4} - \frac{qx^3}{6} + C_1$$

Jadi pada balok simetris dimana $\theta = \frac{\partial y}{\partial x} = 0$, pada saat $x = \frac{L}{2}$

$$0 = \frac{qL \left(\frac{L}{2}\right)^2}{4} - \frac{q \left(\frac{L}{2}\right)^3}{6} + C_1$$

Sehingga diperoleh nilai C_1 , adalah $C_1 = \frac{qL^3}{24}$
persamaan kemiringannya adalah

$$\frac{\partial y}{\partial x} = -\frac{q}{24E} (L^3 - 6Lx^2 + 4x^3)$$

Selanjutnya dilakukan integral kembali sehingga diperoleh

$$y = -\frac{q}{24E} (L^3 x - 2Lx^3 + x^4) + C_2$$

Dengan kondisi batas $y = 0$ pada saat $x = 0$

Sehingga akan diperoleh $C_2 = 0$

Oleh sebab itu persamaan defleksinya adalah

$$y = -\frac{q}{24E} (L^3 x - 2Lx^3 + x^4)$$

defleksi maksimum δ_{maks} terjadi di titik pusat beam $\left(x = \frac{L}{2}\right)$ adalah

$$\delta_{\text{max}} = -y \left(\frac{L}{2}\right) = \frac{5 q L^4}{384 EI}$$

sudut defleksi maksimum terjadi pada tumpuan balok

$$\theta_A = \frac{\partial y}{\partial x} (0) = -\frac{q L^3}{24 EI}$$

Dan

$$\theta_B = \frac{\partial y}{\partial x} (L) = \frac{q L^3}{24 EI}$$

Para pelajar diminta untuk menggambarkan kembali arti dari syarat-syarat yang digunakan untuk mendapatkan persamaan-persamaan di atas. Tegangan yang diberikan oleh persamaan-persamaan ini menunjukkan bahwa tegangan tersebut bekerja tegaklurus pada irisan dan berubah secara tinier terhadap sumbu netral. Kenyataan-kenyataan ini adalah sangat penting. Demikian pula tiga dimensional dari persoalan haruslah selalu diingat. Pembahasan yang lalu hanya berlaku untuk keadaan di mana bahan bersifat elastis. Konsep penting dalam mendapatkan rumus-rumus lenturan dapat diringkaskan sebagai berikut :

1. Deformasi dianggap memberikan regangan yang berubah secara linier terhadap sumbu netral.
2. Sifat-sifat bahan digunakan untuk menghubungkan regangan dan tegangan.
3. Syarat-syarat keseimbangan digunakan untuk menentukan letak sumbu netral dan tegangan-tegangan dalam (*interval stresses*).

DAFTAR PUSTAKA

- Li, X. F., & Lee, K. Y. 2015. Effect of horizontal reaction force on the deflection of short simply supported beams under transverse loadings. *International Journal of Mechanical Sciences*, 99, 121-129
- Yoji Shibuya dan Akihiro Nakatani. 2017. *Seri Teks Inti Mekanik Mekanika Bahan*. Coronasha (bahasa jepang)
<https://www.ra.meijo-u.ac.jp/labs/ra007/murata/onlinetext/mecha/step2-3.htm>
- Barry Dupen. 2014. *Applied Strength of Materials for Engineering Technology*. 7 ed, Indiana University - Purdue University Fort Wayne
- James M. Gere. 2004. *Mechanics of Materials*, Thomson Learning, Inc Copyright
- Andrew Pytel & Jaan Kiusalaas. 2012. *Mechanics of Materials*, Second Edition, Cengage Learning

BAB 12

APLIKASI DESAIN

Oleh Iman Pradana A. Assagaf

12.1 Pendahuluan

Proses pembuatan produk, sistem, atau struktur yang aman, efektif, dan efisien dikenal sebagai desain teknik, yang berasal dari berbagai disiplin ilmu seperti teknik, sains, matematika, dan desain. Desain teknik dimulai dengan mengetahui apa yang dibutuhkan pengguna atau pelanggan. Setelah memahami kebutuhan ini, desainer membuat ide untuk produk atau sistem. Ide-ide ini kemudian diuji dan diperbarui untuk memastikan bahwa mereka memenuhi kebutuhan pengguna dan memenuhi persyaratan teknis. Perangkat lunak komputer sering digunakan oleh desainer teknik untuk membuat gambar teknik. Gambar teknik adalah gambar yang menunjukkan suatu produk atau objek secara teknis dengan detail seperti ukuran, bentuk, dan sebagainya.

Perangkat lunak komputer yang digunakan untuk membuat gambar teknik disebut aplikasi desain teknik. Gambar teknik adalah gambar yang menunjukkan suatu objek atau produk secara teknis, termasuk ukuran, bentuk, dan detail lainnya. Para insinyur, arsitek, dan desainer menggunakan aplikasi desain teknik untuk membuat berbagai jenis gambar teknik, seperti gambar arsitektur, gambar mekanika, gambar elektronik, dan gambar struktural. Aplikasi desain teknik memiliki berbagai fitur yang dapat digunakan untuk membuat gambar teknik, seperti Alat untuk menggambar garis, kurva, dan bentuk geometris, Alat untuk menambahkan teks dan simbol, Alat untuk mengukur dan mengatur ukuran gambar, dan Alat untuk membuat 3D rendering. (Moaveni 2011) (Shahi 2011)

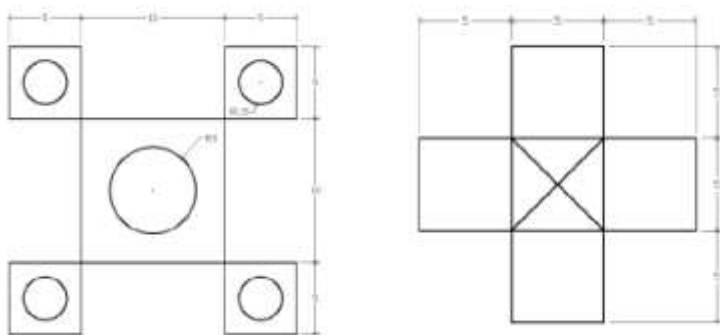
12.2 Computer Aided Design (CAD)

CAD adalah proses menggunakan komputer untuk membuat gambar produk atau bagian dari produk. Proses ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu pengumpulan ide, pembuatan sketsa konsep,

pembuatan model 3D, pembuatan gambar rinci, analisis desain, dan pembuatan simulasi dan animasi. Produk yang ingin digambar diwakili oleh garis dan simbol yang memiliki makna tertentu.

Gambar 2D, atau gambar dua dimensi, adalah gambar yang hanya memiliki panjang dan lebar tanpa memiliki kedalaman atau tinggi. Dengan kata lain, gambar 2D terlihat datar dan tidak memiliki ruang. Berikut adalah beberapa ciri-ciri gambar 2D :

1. Hanya memiliki dua dimensi: panjang dan lebar.
2. Tidak memiliki kedalaman atau tinggi.
3. Tampak datar.
4. Hanya dapat dilihat dari satu sudut pandang.
5. Biasanya dibuat di atas permukaan datar seperti kertas, kanvas, atau layar komputer.
6. Unsur utama gambar 2D adalah garis, bentuk, dan warna.



Gambar 12.1. Contoh Gambar 2 Dimensi
(Sumber : (Mardiansyah 2022))

Gambar 3D adalah gambar yang memiliki panjang, lebar, dan tinggi sehingga terlihat berdimensi dan realistis. Gambar ini menciptakan ilusi kedalaman dan volume, sehingga seolah-olah objek dalam gambar tersebut bisa disentuh. Ciri-ciri gambar 3D:

1. Memiliki tiga dimensi: panjang, lebar, dan tinggi
2. Memiliki kedalaman dan volume
3. Tampak realistis
4. Dapat dilihat dari berbagai sudut pandang

5. Biasanya dibuat menggunakan teknologi komputer
6. Unsur utama gambar 3D adalah titik, garis, bentuk, warna, tekstur, dan pencahayaan



Gambar 12.2. Contoh Gambar 3 Dimensi
(Sumber : (Systemes 2015))

Perbedaan gambar 3D dan 2D:

1. Dimensi: Gambar 3D memiliki tiga dimensi (panjang, lebar, dan tinggi) sedangkan gambar 2D memiliki dua dimensi (panjang dan lebar).
2. Kedalaman: Gambar 3D memiliki kedalaman dan volume sedangkan gambar 2D tidak memiliki kedalaman.
3. Sudut pandang: Gambar 3D dapat dilihat dari berbagai sudut pandang sedangkan gambar 2D hanya dapat dilihat dari satu sudut pandang.
4. Realitas: Gambar 3D terlihat lebih realistis dibandingkan gambar 2D (Abryandoko 2020, Mulyadi 2018)

Rekayasawan dapat menggunakan Computer Aided Design (CAD) untuk mendefinisikan suatu bagian, menganalisis faktor-faktornya, mensimulasikan kinerja mekanisnya, dan banyak lagi karena kemajuan dalam produktifitas rekayasa desain selama tahun 1970-an. Proses CAD ini menghasilkan basis data desain yang terdiri dari data geometrik (seperti bentuk atau gambar komponen atau produk) dan data non-geometrik (seperti bill of materials (BOM),

peralatan yang diperlukan, dan data lain yang bermanfaat bagi pengguna basis data desain. (Wayne C Turner 1978)

Insinyur teknik, arsitek, dan profesional perancangan banyak menggunakan CAD di perangkat yang berbasis komputer. Perangkat lunak dan perangkat keras adalah bagian dari siklus hidup manajemen produksi dan merupakan perangkat otoritas geometri utama. paket vektor dua dimensi yang ada didasarkan pada gambaran sistem ke permukaan parametrik tiga dimensi dan pemodelan perancangan solid.

Sistem Computer Aided Design dapat melakukan hal-hal seperti

1. Membuat fitur parametrik 3D berdasarkan pemodelan, memodelkan permukaan dengan bentuk bebas, dan merancang perakitan otomatis. Yang mengumpulkan komponen dan perakitan lainnya.
2. Menggambarkan metode dari model yang solid.
3. Pemakaian ulang desain komponen memungkinkan penyesuaian dan pembuatan berbagai versi model.
4. Membuat perancangan sesuai dengan aturan spesifikasi dan desain.
5. Mulai proses perancangan tanpa membuat prototipe fisik.
6. Output dokumentasi fisik, termasuk gambar manufaktur dan pembayaran material, yang menunjukkan jumlah waktu yang diperlukan untuk membuat produk
7. Keluaran rancangan data secara langsung untuk fasilitas manufaktur; prototipe manufaktur secara cepat atau prototipe industri secara cepat.
8. Membantu visualisasi dengan bayangan, rotasi, dan penyembunyian garis.
9. Studi perancangan dan optimasi yang dapat deprogram (Ningsih 2005)

12.3 Computer Aided Manufacturing (CAM)

Computer Aided Manufacturing (CAM) merupakan teknologi aplikasi yang memanfaatkan perangkat lunak komputer dan mesin untuk mempermudah serta mengotomatisasi proses manufaktur. CAM merupakan kelanjutan dari *Computer Aided Engineering* (CAE) dan seringkali digunakan bersama dengan *Computer-Aided Design*

(CAD). Sistem CAM modern, selain memenuhi persyaratan bahan, mencakup kontrol real-time dan robotika. Dengan mengurangi limbah dan energi, CAM bertujuan untuk meningkatkan produksi dan efisiensi dengan meningkatkan kecepatan produksi, konsistensi bahan baku, dan akurasi perkakas yang lebih presisi.

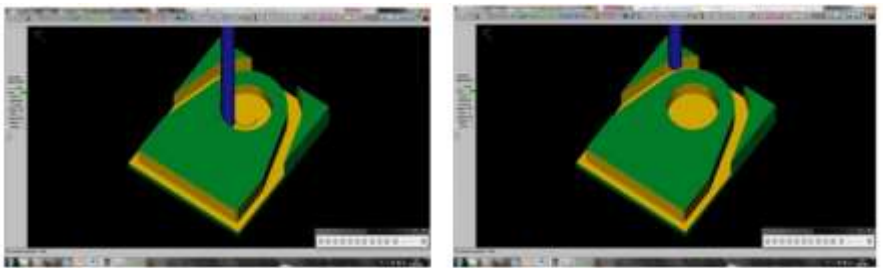
Computer Aided Manufacturing (CAM) menggunakan proses manufaktur berbasis komputer untuk otomatisasi, sekaligus menangani manajemen, pelacakan material, perencanaan, dan transportasi. CAM juga menerapkan perangkat produktivitas tingkat tinggi seperti simulasi dan optimasi untuk meningkatkan keterampilan profesional. Meskipun demikian, CAM memiliki beberapa kekurangan pada bidang-bidang berikut:

Kompleksitas penggunaan dan proses manufaktur. Integrasi dengan *Produk Lifecycle Management* (PLM). Otomatisasi proses mesin dalam lingkungan perusahaan modern.

(Yuris Setyoadi 2015)

Computer Aided Manufacturing melibatkan pemanfaatan komputer dalam berbagai fungsi manufaktur, termasuk:

1. Perencanaan Proses
2. NC (*Numerical Control*)
3. CNC (*Computer Numerical Control*)
4. Pengendalian Kualitas
5. Perakitan



Gambar 12.3. Proses simulasi dan hasil simulasi CAM part Hinge Elevator

(Sumber: (Ariffin 2019))

12.4 Software CAD/CAM

12.4.1 Auto Cad

AutoCAD, yang dikembangkan oleh Autodesk, merupakan sebuah perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*). Secara esensial, CAD adalah program yang digunakan untuk merancang atau membuat gambar teknik dengan menggunakan komputer, laptop, dan saat ini telah diperluas ke perangkat mobile seperti ponsel, dengan tujuan menghasilkan desain yang akurat dan dibuat dalam waktu singkat. AutoCAD, sebagai salah satu perangkat lunak CAD yang paling populer, banyak digunakan oleh perusahaan dan individu di berbagai bidang seperti arsitektur, teknik, dan desain.

AutoCAD telah melalui beberapa versi sejak diluncurkan pertama kali pada tahun 1982 dengan versi 1.0, dan saat ini mencapai versi terbaru. Autodesk secara terus-menerus merilis versi terbaru dari AutoCAD dengan penambahan perpustakaan, platform baru, antarmuka pengguna, dan berbagai fitur lainnya untuk meningkatkan pengalaman pengguna dan mempermudah penggunaan aplikasi tersebut.

AutoCAD, sebagai program desain, menyediakan berbagai kemudahan dalam proses penggambaran, baik dalam dimensi 2 maupun 3. Dengan sejumlah kelebihan yang dimiliki oleh perangkat lunak AutoCAD, hampir semua kendala yang terkait dengan penggambaran teknik secara manual dapat diatasi. Beberapa keunggulan AutoCAD dalam penggambaran teknik mencakup:

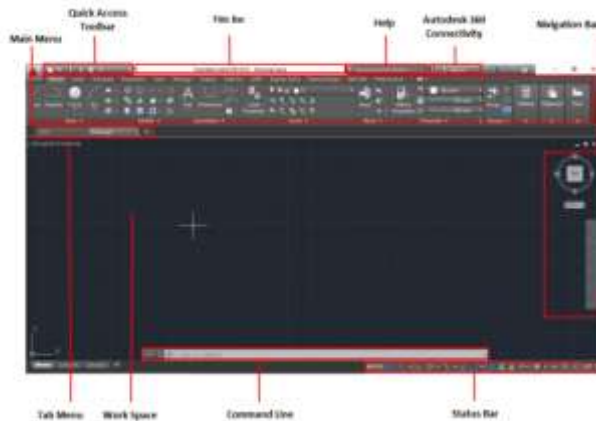
1. Mempercepat waktu rancangan produk secara signifikan.
2. Mampu melakukan kolaborasi pada rancangan gambar yang berbeda secara simultan, meskipun terpisah oleh jarak fisik.
3. Kemampuan untuk menggunakan data lama yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan saat ini.
4. Menghasilkan gambar dengan kualitas dan tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan gambar manual karena tampilannya lebih rapi dan presisi.
5. Gambar yang dihasilkan dapat direvisi atau diedit dengan mudah untuk mencapai kesesuaian cetak yang diinginkan.
6. Lembar kerja dan bidang kerja AutoCAD tidak terbatas, memungkinkan pembuatan gambar dengan ukuran yang luas

dan kompleks, sementara hanya bagian tertentu yang dapat dipilih untuk pencetakan.

7. Skala gambar yang dihasilkan fleksibel, memungkinkan pencetakan desain dengan berbagai jenis skala.
(Nurhening Yuniarti 2018)



(a)



(B)

Gambar 12.4. Gambar (a) Loading Library File AutoCAD 2018 (b) Jendela Utama AutoCAD 2018
(Sumber : (Nurhening Yuniarti 2018))

12.4.2 Solidworks

SOLIDWORKS adalah perangkat lunak desain 3D, secara resmi disebut SOLIDWORKS. Ini merupakan salah satu perangkat lunak desain 3D terkemuka di dunia rekayasa. Saat ini, lebih dari dua juta organisasi menggunakan SOLIDWORKS untuk menciptakan produk dan inovasi, yang mewakili sebagian besar dari total lebih dari 3 juta pengguna SOLIDWORKS. Pada bagian ini, kita akan menjelajahi berbagai aplikasi yang didukung oleh SOLIDWORKS.

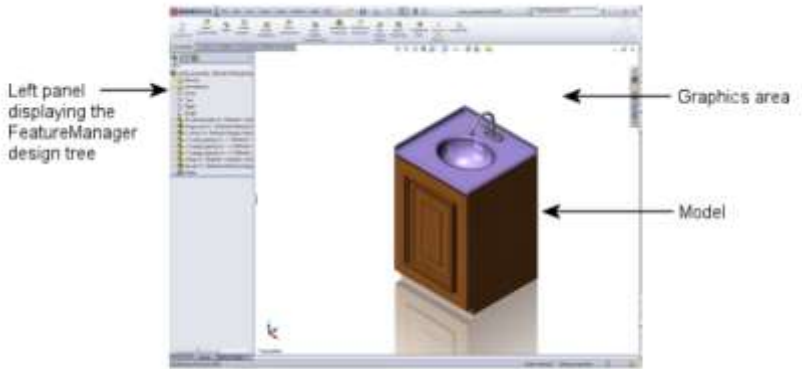
SOLIDWORKS secara utama ditujukan untuk insinyur dan desainer produk. Penggunaannya melibatkan berbagai aplikasi dan industri. Beberapa industri yang menggunakan SOLIDWORKS antara lain:

1. Produk konsumen
2. Aeroangkasa
3. Konstruksi
4. Elektronik teknologi tinggi
5. Kedokteran
6. Minyak dan gas
7. Mesin pengemas
8. Layanan rekayasa
9. Desain furnitur
10. Energi
11. Otomotif

Perangkat lunak ini memberikan dukungan yang luas dalam berbagai sektor dan memainkan peran penting dalam pengembangan produk dan desain di berbagai industri. Berbagai industri menggunakan SOLIDWORKS untuk aplikasi desainnya dalam beberapa tingkat. SOLIDWORKS menggunakan aplikasi di bawah disiplin-disiplin berikut:

1. Desain mekanikal inti (*Core mechanical design*)
2. Gambar dua dimensi (2D)
3. Desain permukaan (*Surface design*)
4. Lembaran logam (*Sheet metal*)
5. Keberlanjutan (*Sustainability*)
6. Analisis gerak (*Motion analysis*)
7. Konstruksi las (*Weldments*)

8. Simulasi (*Simulations*)
 9. Pembuatan cetakan (*Mold making*)
 10. Listrik (*Electrical*)
- (Almatta 2019)



Gambar 12.4. Contoh Gambar tampilan pada SOLIDWORKS
(sumber: (Systemes 2015))

12.4.2 Software CAM

Sejarah perkembangan Software CAM mencakup aspek-aspek krusial yang sangat dibutuhkan oleh Operator CNC pada tingkat tinggi. Saat ini, sistem CAM telah berevolusi untuk mendukung berbagai jenis permesinan, termasuk bubut (turning), permesinan 5 axis, dan Wire EDM. Selain itu, kemudahan penggunaan telah menjadi ciri khas CAM modern, memungkinkan pengguna untuk memperpendek waktu penggunaan tool, mengoptimalkan kecepatan tool untuk pemakanan dengan kecepatan tinggi, memperpanjang umur pakai tool, dan banyak manfaat lainnya. Beberapa perusahaan terkemuka yang merilis software CAM antara lain:

1. Dassault Systèmes: Menawarkan berbagai jenis software CAM yang beragam.
2. Siemens PLM Software: Mengintegrasikan CAM dengan software CAD, CAE, PDM, dan digital manufacturing.
3. Delcam: Sebelumnya merupakan salah satu perusahaan CAM terbesar di dunia, kini telah diakuisisi oleh Autodesk.

4. Vero Software:
5. PTC:
6. Tebis:

Semua perusahaan ini berperan penting dalam mengembangkan dan menyediakan solusi CAM terkini, mendukung industri permesinan dalam mencapai tingkat efisiensi dan presisi yang tinggi. (Mulyadi 2018)



Gambar 12.5. Perusahaan Software CAM
(sumber: (Nanang Qosim 2019)

DAFTAR PUSTAKA

- Abryandoko, Eko Wahyu. 2020. *MENGGAMBAR TEKNIK*. Bandung: WIDINA BHAKTI PERSADA.
- Almatta, Tayseer. 2019. *Learn SOLIDWORKS 2020*. Mumbai: Packt Publishing.
- Ariffin, Denden Mohamad. 2019. "Perancangan Dan Simulasi Model Suku Cadang Pesawat Elevator Hinge Dengan Software CadCam." *Seminar Nasional Sains Teknologi dan Inovasi Indonesia*. Yogyakarta: SENASTINDO AUU. 77-88.
- Mardiansyah, Ariyawan Sunardi. 2022. *Menggambar Teknik*. Tangerang Selatan: Unpam Press.
- Moaveni, Saeed. 2011. *Engineering Fundamentals An Introduction to Engineering*. Stamford: Global Engineering.
- Mulyadi. 2018. *CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing)*. Sidoharjo: UMSIDA Press.
- Nanang Qosim, Agus Dani. 2019. *Buku ajar aplikatif CAD/CAM dan pemrograman CNC*. Malang: Polinema Press.
- Ningsih, ewi Handayani Untari. 2005. "Computer Aided Design / Computer Aided Manufactur [CAD/CAM]." *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK V* 143-149.
- Nurhening Yuniarti, Wildan Elsha. 2018. *CARA MUDAH MENGUASAI AUTOCAD 2018 UNTUK TEKNIK ELEKTRO*. Yogyakarta: UNY Press.
- Shahi, Yousef Haik and Tamer. 2011. *Engineering Design Process Second Edition*. Stamford: Global Engineering.
- Systemes, Dassault. 2015. *INTRODUCING SOLIDWORKS*. Waltham: DS SolidWorks.
- Wayne C Turner, Joe H Mize, Kenneth E casse. 1978. *Engineering management Industrial Management*. New Jersey: Pretince Hall.
- Yuris Setyoadi, Khoiriya Latifah. 2015. "Integrasi Software CAD-CAM dalam Sistem Operasi Mesin Bubut CNC." *Jurnal Informatika Upgris* 149-159.

BIODATA PENULIS

Ir. Zainal Sudirman, ST., MT., IPP.

Dosen Program Studi Teknik Perawatan Mesin
Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Penulis lahir di Rappang tanggal 20 April 1991. Penulis adalah dosen pada Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng. Menyelesaikan pendidikan D3 pada Jurusan Teknik Mesin di Politeknik Negeri Ujung Pandang, melanjutkan S1 pada Jurusan Teknik Industri di Universitas Muslim Indonesia, Program Profesi Insinyur di Universitas Hasanuddin dan S2 pada Jurusan Teknik mesin di Universitas Hasanuddin. Penulis sekarang menekuni penelitian pada bidang material.

BIODATA PENULIS



Rianto Wibowo, S.T., MEng.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus

Penulis lahir di Demak tanggal 30 Maret 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus.

Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis mengajar matakuliah *Praktek Pengujian Bahan* di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus, Jawa Tengah. Penulis menekuni bidang Menulis.

Email penulis : rianto.wibowo@umk.ac.id

BIODATA PENULIS



Rahma Nindya Ayu Hapsari, S.T., M.T

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Penulis memfokuskan diri pada bidang Struktur. Mata Kuliah yang diampu oleh Penulis adalah Struktur Baja, Struktur Beton Pratekan, Mekanika Material, Teknologi Beton, Teknologi Bahan Konstruksi, Differensial dan Kalkulus, serta Deret Seri dan Kalkulus Multivariabel.

BIODATA PENULIS



Amalia Ma'rifatul Maghfiroh, S.Si., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Sains dan Teknik Universitas Bojonegoro

Penulis lahir di Bojonegoro tanggal 16 Nopember 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Material Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis saat ini terdaftar menjadi dosen Teknik Industri Universitas Bojonegoro. Beberapa tulisan penulis yang telah dilakukan antara lain berjudul: Kebisingan di area kerja, Fisika Teknik 1, Komposit Peredam Kebisingan, Pengolahan Sampah dan Fisika Dasar.

Beberapa artikel dan buku yang telah ditulis oleh penulis dapat dilihat pada akun google scholar dengan link <https://scholar.google.co.id/citations?user=dLbYiegAAAAJ&hl=en> selain itu penulis dapat dihubungi via email amaliamarifatulmaghfiroh@gmail.com . Selain sebagai dosen penulis sehari-harinya tetap menjalankan tugas utama sebagai istri dari Abu Bakar.

BIODATA PENULIS



Zainuddin, S.Pd., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung (POLBAN)

Penulis merupakan Staff Pengajar di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung yang lahir di Klaten, Jawa Tengah pada tahun 1990. Menyelesaikan Pendidikan Kependidikan Kejuruan Teknik Mesin dan melanjutkan studi di Magister Teknik Mesin. Aktif mengajar sejak tahun 2015 di bidang Teknik Mesin pada Mata Kuliah Statika Struktur, Mekanika Kekuatan Material, Gambar Teknik, Gambar Mesin, dan CAD.

BIODATA PENULIS



Ludvi Arif Wibowo, ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Mesin Politeknik Sukabumi

Lahir di Bantul, 27 Maret 1987, Lulus Sarjana Teknik dari Institut Sains & Teknologi Akprind Yogyakarta pada tahun 2009. Magister Teknik Mesin diraih dari Universitas Pancasila pada tahun 2015. Sejak 2010, bekerja sebagai praktisi di perusahaan asing sebagai *Quality Project Leader* di PT. Chemco Harapan Nusantara Plant Karawang hingga Agustus 2018 dan dari Oktober 2018 hingga saat ini sebagai General Manager di PT. Kuramo Indonesia Berdaya, Sukabumi. Berkarir menjadi dosen dimulai saat diangkat menjadi dosen tetap Teknik Mesin di Sekolah Tinggi Teknik Karawang dari 2015 hingga 2018, kemudian dilanjutkan menjadi Dosen Tetap Program Studi Teknik Mesin di Politeknik Sukabumi dari 2018 hingga saat ini.

BIODATA PENULIS



Dr. Eng. Ansarullah Lawi

Dosen Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Batam

Penulis lahir 23 Juni 1977 di Parepare Sulawesi Selatan 23 Juni 1977. Penulis adalah dosen tetap Teknik Industri di Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Batam. Setelah menempuh pendidikan pasca sarjananya di Kyushu University, Jepang, Ia kembali ke Indonesia sebagai praktisi di berbagai perusahaan seperti PT Epcos Indonesia, PT Labtech Penta Internasional, PT Caterpillar Indonesia Batam, dll. Pada tahun 2016, anak ke-5 dari pasangan H. Muhammadong Lawi, S.Si dan Hj. Rukiyah ini memutuskan untuk menjadi dosen mengabdikan pada negara, membagikan pengalaman-pengalaman yang berharga kepada generasi muda.

Bidang penelitian yang ditekuninya adalah diantaranya seperti; Ergonomi Biomekanika, Sistem Manufaktur, dan Manajemen Mutu. Di kampus Ia mengampu beberapa matakuliah seperti; Pengantar Rekayasa & Desain, Perancangan & Pengembangan Produk, Mekanika Teknik, Perbaikan Berkelanjutan, dll. Selain aktif menulis dan publikasi penelitian-penelitian sesuai bidang yang ditekuni, pernah beasiswa monbukagakusho dari Jepang ini juga sering diundang sebagai narasumber berdasarkan pengalaman-pengalamannya yang luar biasa selama studi di Jepang, serta pengalaman-pengalamannya sebagai praktisi di industri manufaktur selama lebih dari 10 tahun.

BIODATA PENULIS



Ryan Effendi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan

Penulis lahir di Balikpapan tanggal 20 Oktober 1998. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Balikpapan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin di Universitas Negeri Surabaya dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis menekuni bidang menulis, olahraga, dan penelitian energi terbarukan. Penulis pernah mendapatkan dana bantuan penelitian dari kemenristekdikti melalui program kreativitas mahasiswa bidang teknologi (PKM-T) pada tahun 2017 dan 2018, dan turut serta dalam pembuatan 2 proposal program kedaireka di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2022.

BIODATA PENULIS



Luluk Edahwati

Dosen tetap Fakultas Teknik prodi Teknik Mesin Universitas
Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Penulis lahir di Surabaya tanggal 11 Juni 1964. Penulis merupakan dosen tetap Fakultas Teknik prodi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Alhamdulillah penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada tahun 1990 di jurusan Teknik Kimia di UPNVJT kemudian melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia di ITS Surabaya (1997 -2001). Jenjang S3 penulis selesaikan di UNDIP Semarang jurusan Teknik Mesin dengan spesifikasi material (2015 – 2018). Semoga sedikit materi yang penulis berhasil selesaikan dapat bermanfaat aamiin.

BIODATA PENULIS



Shanti Kumbarasari, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Mesin Industri
Politeknik Industri ATMI

Penulis lahir di Blora tanggal 26 Mei 1979. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Mesin Industri Politeknik Industri ATMI. Menyelesaikan pendidikan S1 Universitas Sanata Dharma Yogyakarta pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 Universitas Pancasila pada Jurusan Magister Teknik Manufaktur . Telah menulis buku bersama mengenai Evaluating online Learning Challenges and Strategies, ISBN :978-93-90753-23-9. Toleransi dan Keakuratan dengan penerbit Get Press Indonesia ISBN: 978-623-198-921-5

BIODATA PENULIS



Subekti, ST., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Mercubuana, Jakarta

Penulis lahir di Bogor tanggal 23 November 1973. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Mercubuana. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin. Penulis menekuni bidang penelitian ke arah getaran, robotic, dan energy baru terbarukan.

BIODATA PENULIS



Iman Pradana A. Assagaf, S.T., M.Eng

Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Ternate tanggal 11 Oktober 1993 Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro, Politeknik Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hasanuddin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang Menulis pada bidang teknik mesin khususnya pengelasan.