

STATIKA TEKNIK

- **Fathan Mubina Dewadi**
- **Retna Kristiana**
- **Mursalim Ninoy La Ola**
- **Asri Mulya Setiawan**
- **Fatmawaty Rachim**
- **Tukimun**
- **La Ode Dzakir**
- **Iis Roin Widiati**
- **Anugrah Yasin**
- **Muhammad Buttomi Masgode**
- **Fauzan Hamdi**

STATIKA TEKNIK

Fathan Mubina Dewadi

Retna Kristiana

Mursalim Ninoy La Ola

Asri Mulya Setiawan

Fatmawaty Rachim

Tukimun

La Ode Dzakir

Iis Roin Widiati

Anugrah Yasin

Muhammad Buttommi Masgode

Fauzan Hamdi



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

STATIKA TEKNIK

Penulis :

Fathan Mubina Dewadi
Retna Kristiana
Mursalim Ninoy La Ola
Asri Mulya Setiawan
Fatmawaty Rachim
Tukimun
La Ode Dzakhir
Iis Roin Widiati
Anugrah Yasin
Muhammad Buttomi Masgode
Fauzan Hamdi

ISBN : 978-623-198-474-6

Editor : Ari Yanto, M.Pd

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

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

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jl. Pasir Sebelah No. 30 RT 002 RW 001
Kelurahan Pasie Nan Tigo Kecamatan Koto Tengah
Padang Sumatera Barat
Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id
Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Juli 2023

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 Statika Teknik ini.

Buku Ini Membahas Konsep Partikel, Keseimbangan Statik, Results Sistem Gaya, Analisis Struktur, Sifat Mekanik Material, Analisis Tegangan, Transformasi Tegangan 3D, Defleksi Balok Tertentu, Metode Energi Regangan, Momen Inersia, Metode Castigliano.

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, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 KONSEP PARTIKEL.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Pengertian Atom	2
1.3 Pembahasan Ion	3
1.4 Partikel Penyusun Atom	4
1.5 Soal-Soal Latihan.....	5
DAFTAR PUSTAKA.....	6
BAB 2 KESEIMBANGAN STATIK.....	13
2.1 Pendahuluan.....	13
2.2 Keseimbangan Gaya Pada Struktur Balok.....	13
DAFTAR PUSTAKA.....	20
BAB 3 RESULTAN GAYA.....	23
3.1 Pengertian Resultan Gaya	23
3.2 Perhitungan Resultan Gaya.....	25
3.2.1 Perhitungan Resultan dari Gaya Yang Kolinier.....	26
3.2.2 Perhitungan Resultan Gaya Yang Koplanar dan Kongruen	27
3.2.3 Perhitungan Resultan Gaya non kongruen	29
3.2.3 Perhitungan Resultan Gaya Yang Sejajar.....	32
DAFTAR PUSTAKA.....	34
BAB 4 ANALISIS STRUKTUR.....	35
4.1 Pendahuluan.....	35
4.2 Tujuan Analisis Struktur	36
4.3 Faktor Penting Analisis Struktur	37
4.3.1 Sifat Material Struktur	37
4.3.2 Pembebanan	38
4.3.3 Sistem Struktur	39

4.3.4 Cara Melakukan Analisis Struktur.....	40
4.4 Metode Pada Analisis Struktur Bangunan.....	41
4.4.1 Metode Gaya.....	42
4.4.2 Metode Perpindahan.....	42
4.4.3 Metode Perkiraan.....	43
4.5 Elemen Struktur	44
4.5.1 Balok.....	44
4.5.2 Kolom	44
4.5.3 Pelat.....	44
4.5.4 Membran.....	45
4.6 Kestabilan Struktur.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47
BAB 5 SIFAT MEKANIK MATERIAL	49
DAFTAR PUSTAKA.....	72
BAB 6 ANALISIS TEGANGAN (STRESS)	73
6.1 Pendahuluan.....	73
6.2 Sifat Mekanis Bahan	74
6.3 Tegangan dan Regangan Normal	77
6.3.1 Tegangan Normal.....	77
6.3.2 Regangan Normal.....	78
6.3.3 Diagram Tegangan dan Regangan.....	83
6.4 Elastisitas dan Plastisitas.....	91
6.4.1 Hukum Hooke	94
6.4.2 Modulus Young.....	95
6.4.3 Deformasi Akibat Beban Aksial.....	95
6.4.4 Angka Poisson	99
6.4.5 General Hooke's Law.....	101
6.5 Tegangan dan Regangan Geser.....	103
6.5.1 Tegangan Geser.....	103
6.5.2 Regangan Geser.....	106
6.5.3 Hubungan Antara E, ν dan G.....	107
6.6 Pengaruh Panas	108
6.7 Material Komposit.....	111

6.8 Prinsip Saint Venant's.....	112
6.9 Faktor Keamanan dan Tegangan Ijin	114
6.9.1 Faktor Keamanan.....	114
6.9.2 Tegangan Ijin	115
DAFTAR PUSTAKA.....	116
BAB 7 TRANSFORMASI TEGANGAN 3D	119
7.1 Pendahuluan.....	119
7.1.1 Definisi Tegangan.....	119
7.1.2 Definisi Tegangan Menurut Ahli	119
7.2 Tegangan 2 Dimensi.....	121
7.3 Tegangan dalam 3 Dimensi.....	125
7.4 Transmormasi Tegangan 3 Dimensi	126
DAFTAR PUSTAKA.....	133
BAB 8 DEFLEKSI BALOK TERTENTU	135
8.1 Pendahuluan.....	135
8.2 Konsep Dasar Defleksi Balok	136
8.2.1 Prinsip Kekekalan Perpindahan	137
8.2.2 Prinsip Dasar Mekanika.....	139
8.2.3 Prinsip Elastisitas	141
8.2.4 Prinsip Konservasi.....	143
8.3 Analisis Defleksi Balok.....	144
8.3.1 Teori Balok Euler-Bernoulli	144
8.3.2 Analisis defleksi balok dengan beban titik.....	148
8.3.3 Analisis defleksi balok dengan beban terdistribusi.....	150
8.3.4 Defleksi Balok Dengan Beban Gaya Lateral	152
8.3.5 Defleksi Metode Elemen Hingga Untuk Analisis Defleksi Balok.....	154
8.3.6 Analisis Defleksi Balok Dengan Mempertimbangkan Faktor Geometri.....	156
8.4 Pengaruh Material Dan Faktor Lainnya Pada Defleksi Balok.....	157
8.5 Aplikasi Dalam Desain Struktural	159

DAFTAR PUSTAKA.....	161
BAB 9 METODE ENERGI REGANGAN	163
9.1 Konsep Energi Regangan	163
9.2 Energi Regangan untuk Batang Lurus yang Dikenai Gaya Tarik P	163
9.3 Energi Regangan untuk Batang Melingkar	164
9.4 Energi Regangan untuk Batang yang Dikenai Momen Lentur	164
9.5 Teori Castigliano.....	165
DAFTAR PUSTAKA.....	182
BAB 10 MOMEN INERSIA.....	183
10.1 Pendahuluan.....	183
10.2 Teori Tentang Momen Kelelahan	183
10.3 Gaya Rotasi Dan Keseimbangan Gaya.....	184
10.3.1 Kinematik Gaya Rotasi	185
10.3.2 Dinamika Rotasi	186
10.4 Momen Kelelahan Batang Pejal	188
10.5 Momen Kelelahan Segitiga Pejal Sama Sisi	190
10.6 Momen Kelelahan Segiempat Pejal	192
10.7 penutup	195
DAFTAR PUSTAKA.....	196
BAB 11 METODE CASTIGLIANO	197
11.1 Pendahuluan.....	197
11.2 Teorema Castigliano Struktur Balok	197
11.2.1 Teorema Pertama Castigliano.....	198
11.2.2 Teorema Kedua Castigliano	199
11.3 Torema Castigliano Struktur Rangka.....	202
DAFTAR PUSTAKA.....	215
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Jenis-Jenis Partikel	1
Gambar 1.2. Visualisasi Atom	2
Gambar 1.3. Visualisasi Ion	3
Gambar 2.1. Sebuah mobil yang bergerak dengan kecepatan konstan	24
Gambar 3.2. Gaya yang searah akan saling menjumlahkan, dan gaya yang berlawanan akan saling mengurangi	24
Gambar 3.4. Gaya segaris yang searah	26
Gambar 3.5. Gaya segaris yang berlawanan arah	27
Gambar 3.6. Gaya saling tegak lurus	27
Gambar 3.7. Gaya membentuk sudut α	28
Gambar 3.8. Gaya kongruen koplanar pada sumbu XY	28
Gambar 3.9. Gaya kongruen koplanar pada sumbu XY	30
Gambar 3.10. Gaya kongruen koplanar pada sumbu XY	32
Gambar 4.1. Ilustrasi Struktur, Pembebanan dan Gaya Dalam	36
Gambar 5.1. Alat uji tarik	51
Gambar 5.2. Gambar singkat uji tarik	53
Gambar 5.3. Kurva tegangan-regangan teknis	54
Gambar 5.4. Perbandingan antara kurva tegangan regangan teknik Dengan kurva tegangan regangan sejati	56
Gambar 5.5. Logam	60
Gambar 5.6. Polimer	60
Gambar 5.7. Keramik	61
Gambar 5.8. Komposit	62
Gambar 5.9. Semikonduktor	63
Gambar 5.10. Bioaterial	64
Gambar 5.11. Dimensi dan ukuran spesimen untuk uji lengkung	70

Gambar 5.12. Spesimen root transversal bend tampak atas dan samping.....	70
Gambar 5.13. Spesimen face transversal bend tampak atas dan samping.....	71
Gambar 6.1. Batang prismatik yang mengalami tarik.....	77
Gambar 6.2. Regangan normal pada batang BC	79
Gambar 6.3. Regangan pada batang BC akibat penambahan beban	80
Gambar 6.4. Regangan pada batang BC dengan panjang 2L.....	81
Gambar 6.5. Contoh spesimen uji kuat tarik baja tulangan.....	84
Gambar 6.6. Contoh alat uji kuat tarik baja tulangan.....	84
Gambar 6.7. Diagram tegangan regangan tipikal material liat dan getas.....	86
Gambar 6.9. Diagram tegangan regangan hasil pengujian kuat tarik baja tulangan.....	91
Gambar 6.10. Hubungan tegangan-regangan penampang baja	92
Gambar 6.11. Diagram hubungan tegangan-regangan pada baja dan aluminium.....	93
Gambar 6.12. Deformasi akibat beban aksial.....	96
Gambar 6.13. Deformasi akibat beban aksial.....	97
Gambar 6.14. Reaksi pada batang BDE	97
Gambar 6.15. <i>Displacement</i> pada titik B dan D	98
Gambar 6.16. Perubahan bentuk pada struktur	100
Gambar 6.17. General Hooke's Law pada struktur tiga dimensi.....	102
Gambar 6.18. Gaya geser pada baut	103
Gambar 6.19. Tegangan pada struktur tiga dimensi.....	105
Gambar 6.20. Gaya aksial pada benda tegar	107
Gambar 6.21. Tegangan pada struktur akibat pengaruh temperatur.....	109

Gambar 6.22. Gaya aksial dan angka Poisson pada material komposit.....	111
Gambar 6.23. Penampang pelat yang mengalami gaya luar.....	113
Gambar 6.24. Distribusi tegangan pada pelat yang akibat gaya luar.....	114
Gambar 7.1. Komponen Tegangan 3 Dimensi	120
Gambar 7.2. Komponen Tegangan 2 Dimensi	121
Gambar 7.3. Elemen Komponen Perubahan Sudut pada Sumbu x dan y.....	122
Gambar 7.4. Elemen Segi Tiga AOB dengan elemen tegangan normal dan tegangan geser.....	123
Gambar 7.5. Ilustrasi Tegangan 3 Dimensi	125
Gambar 7.6. Sistem sumbu asal dan baru	127
Gambar 7.7. Cosinus arah sumbu l.....	128
Gambar 7.8. Cosinus arah sumbu m	129
Gambar 7.9. Cosinus arah sumbu m	129
Gambar 7.10. Potongan tetrahedron dari bagian kubus	130
Gambar 8.1. Perilaku Balok Lentur berdasarkan Teori Balok Euler-Bernoulli	146
Gambar 9.1. Balok Dikenai Gaya Tarik.....	163
Gambar 10.1. Gaya Translasi.....	184
Gambar 10.2. Gaya Rotasi.....	185
Gambar 10.3 Perpindahan Dari Titik A Ke Titik B	185
Gambar 10.4. Momen Gaya Menyebabkan Gerak Rotasi Benda.....	187
Gambar 10.5. Momen Inersia	188
Gambar 10.6 Batang Diputar Pada Porosnya.....	188
Gambar 10.7 Segitiga Yang Diputar Terhadap Sumbu Yang Melalui Titik Pusat Massa	190
Gambar 10.8. Membagi Segitiga Menjadi 4 Potongan.....	191
Gambar 10.9 Segiempat Terputar Pada Titik Pusat Massa A	192

Gambar 10.10. Segiempat Yang Terbagi Menjadi 4 Bagian.....	193
Gambar 11.1. Teorema pertama Castigliano.....	198
Gambar 11.2. Teorema kedua Castigliano	200
Gambar 12.3. Struktur rangka batang dengan beban eksternal.....	205
Gambar 11.4. Struktur rangka batang dengan perubahan beban eksternal dan penentuan arah beban reaksi gaya (R) vertikal dan horizontal	206
Gambar 11.5. Gambar batang dan gaya yang bekerja pada Join D	207
Gambar 11.6. Gambar gaya batang bekerja pada Join D	208
Gambar 11.7. Gambar batang dan gaya yang bekerja pada Join B	209
Gambar 11.8. Gambar gaya batang bekerja pada Join B.....	210
Gambar 11.9. Gambar batang dan gaya yang bekerja pada Join A.....	211
Gambar 11.10. Gambar gaya batang bekerja pada Join A.....	212

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Penjumlahan Komponen Gaya	29
Tabel 3.2. Penjumlahan Komponen Gaya Non Kongruen.....	31
Tabel 6.1. Hasil pengujian tarik baja D-13 mm.....	88
Tabel 6.2. Nilai angka Poisson	101
Tabel 10.1. Momen kelelahan pada benda yang berputar pada sumbu yang melalui massanya.....	194
Tabel 11.1. Derivasi parsial Gaya Internal (N) terhadap Gaya Eksternal (P)	213

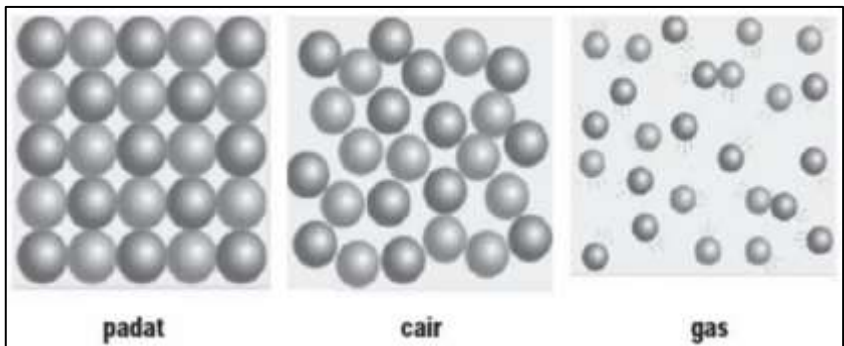
BAB 1

KONSEP PARTIKEL

Oleh Fathan Mubina Dewadi

1.1 Pendahuluan

Saat sebelum kita mangulas mengenai elemen baiknya, kita wajib mengkaji partikel sebab partikel ialah seluruh suatu yang menaiki ruang serta mempunyai massa (Dewadi, Lillahulhaq, *et al.*, 2023). Bentuk- bentuk umumnya partikel ini terdiri dari padat, cair ataupun gas (Nanda *et al.*, 2023). Tetapi bila dikaji lebih kecil lagi ada sebutan yang diucap elemen pada sesuatu partikel (Nanda, Supriyanto, Dewadi, *et al.*, 2022). Di mana elemen ialah bagian yang sangat kecil yang dipecah jadi 3 bagian yaitu molekul, atom dan ion (Rumus Hitung, 2017). Berikut akan dijelaskan pada gambar 1.1 mengenai partikel.

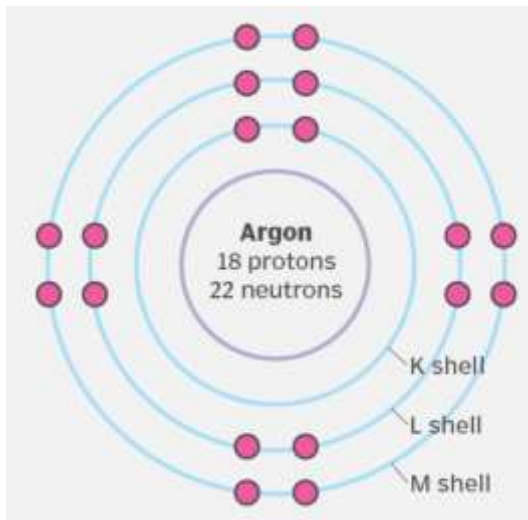


Gambar 1.1. Jenis-Jenis Partikel (Fisika Zone, 2023)

1.2 Pengertian Atom

Istilah atom sendiri mengacu dari bahasa Yunani yang berarti sudah satu yang sudah tidak dapat dipecah lagi (Dewadi, Jati, *et al.*, 2023). Dan juga sebuah materi tidak dapat dibagi lagi (Nanda & Dewadi, 2023). Namun di sekitar materi terdapat bagian-bagian kecil (Dewadi, Amir, *et al.*, 2022).

Namun ada sebuah percobaan yang saat membagi materi yang paling kecil didapatkan istilah yang bernama atom (Fathan *et al.*, 2022). Atom merupakan bagian yang paling kecil dari materi (Dewadi & Ma'arof, 2022). Seperti yang telah dijelaskan bahwa partikel merupakan materi yang paling kecil (Suhara, Dewadi, & Hamdani, 2023). Atom merupakan materi yang lebih kecil dari partikel karena pada dasarnya selain atom terdapat juga yang namanya itu molekul dan ion (Santosa *et al.*, 2022). Berikut akan dijelaskan gambar atom pada gambar 1.2.



Gambar 1.2. Visualisasi Atom (Lutkevich, 2023)

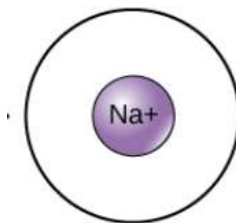
Mengacu pada istilah atom, para ilmuwan telah mendefinisikan (Dewadi & Supriyanto, 2021). Lalu didapat beberapa definisi yaitu atom merupakan bagian terkecil yang tidak bisa dipisahkan lagi (Dewadi, 2023b). Istilah lain bisa juga dibilang tidak dapat dipisahkan dari penyusun (Dewadi, 2016).

Segala materi yang ada di dunia lalu atau merupakan partikel yang paling kecil dari suatu zat yang dimana sudah tidak bisa diuraikan kembali (S. H. Wibowo *et al.*, 2023).

Dan atom juga merupakan sebuah bola yang dimana memiliki muatan positif yang dikelilingi juga oleh yang namanya elektron (Dewadi, Maryadi, *et al.*, 2022). Lalu pendapat lain ada yang mengemukakan bahwa atau merupakan partikel yang tersusun atas beberapa inti yaitu proton dan neutron yang dibeli oleh elektron (C. Wibowo *et al.*, 2022).

1.3 Pembahasan Ion

Dengan menelaah definisi-definisi ilmuwan sesungguhnya atom tidak dapat dibagi lagi karena partikel dasarnya terdiri dari proton neutron dan elektron (Dewadi & Sigalingging, 2021). yang dimaksud ini adalah berdasarkan dari atom namun jika dipecah lagi atom tersebut sudah bukan atau namanya (Mulyadi *et al.*, 2023). Namun ketika atom itu pecah atau bisa dibilang pecahan atom dapat disebut yang dinamakan itu ion (Setiawan & Dewadi, 2022). Berikut akan dijelaskan mengenai ion pada gambar 1.3.



Gambar 1.3. Visualisasi Ion (Utami, 2021)

1.4 Partikel Penyusun Atom

Penjelasan untuk beberapa partikel penyusun atom atau partikel dasar pada suatu atom yaitu neutron proton dan elektron (Dewadi, 2023a). Neutron merupakan partikel yang tidak memiliki muatan atau bisa dibilang partikel netral (Dewadi, 2021a). Dimana pada neutron ini memiliki massa yang dimana massanya merupakan gabungan dari massa proton dan elektron (Nanda & Dewadi, 2022). Bisa dibilang masa campuran dari kedua partikel tersebut (Murtalim *et al.*, 2020). Proton merupakan partikel yang memiliki muatan positif atau bernilai + 1 dan memiliki diameter sebesar 1/3 kali dari diameter elektron dengan massa 1840 kali dari elektron (Nanda, Supriyono, Ma'arof, *et al.*, 2022).

Elektron merupakan partikel yang bermuatan negatif (C. Wibowo & Dewadi, 2022). Beda hal seperti proton namun dengan nilai kebalikan dari proton (Jakariya *et al.*, 2023). Proton yaitu bernilai minus 1 masaknya lebih ringan dari neutron (Dewadi, 2021b). Neutronnya itu 1/1840 dari masa proton dan neutron (Suhara, Dewadi, & Febrian, 2023).

Molekul dapat didefinisikan sebagai kumpulan beberapa atom yang tersusun dari dua ataupun lebih atom di dalam suatu susunan yang diikat oleh yang namanya ikatan kimia (Nanda, Karyadi, Dewadi, *et al.*, 2022).

Molekul ini dapat dibentuk dari penggabungan beberapa unsur sejenis maupun unsur yang berbeda jenis (Dewadi *et al.*, 2019). di mana dalam penggabungan harus menggunakan beberapa perbandingan (Khoirudin *et al.*, 2021). Ion merupakan atom yang memiliki muatan listrik (Lulut Alfaris *et al.*, 2022). Pada dasarnya ion memiliki muatan yang berbeda, yang bermuatan positif disebut dengan kation dan yang bermuatan negatif disebut dengan anion (Farahdiansari *et al.*, 2021). Kedua muatan ini baik kation dan anion bergabung dalam perbandingan yang tidak tetap (Nanda, Karyadi, & Dewadi, 2022). Namun juga tetap untuk membentuk suatu senyawa yang netral (Mulyadi & Dewadi, 2021).

1.5 Soal-Soal Latihan

1. Bagaimana cara bekerja suatu atom (Ma'arof et al., n.d.)?
2. Apa perbedaan atom dan molekul (C. Wibowo, Dewadi, *et al.*, 2021)?
3. Bagaimana zat padat dapat merapat antar partikel (Dimyati *et al.*, 2021)?
4. Seberapa renggang jarak partikel pada zat cair (Abbas *et al.*, 2021)?
5. Perlukah media lain dalam memfiltrasi energi dengan proses peleburan atom (C. Wibowo, Setiawan, et al., 2021)?

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A., Prayitno, P., Nurkim, N., Prumanto, D., Dewadi, F. M., Hidayati, N., & Windarto, A. P. 2021. Implementation of clustering unsupervised learning using K-Means mapping techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1088(1), 012004.
- Dewadi, F. M. 2016. Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W. *Fakultas Sains Dan Teknologi, Institut Sains Dan Teknologi Al-Kamal, Jakarta*, 1–57.
- Dewadi, F. M. 2021a. Analisis Efektivitas Liquid Section Heat Exchanger dengan Tube in Tube Heat Exchanger dari Sisi Aplikatif. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 28–36.
- Dewadi, F. M. 2021b. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat Dan Jejaring*, 4(1), 13–23.
- Dewadi, F. M. 2023a. BAB 3 GEJALA KERADIOAKTIFAN UNSUR-UNSUR TIDAK STABIL. *Kimia Dasar II*, 47.
- Dewadi, F. M. 2023b. PENGARUH PEMANASAN BBM CAMPURAN DENGAN PARAMETER PEMANASAN SUHU TERHADAP DENSITAS BAHAN BAKAR. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 105–113.
- Dewadi, F. M., Amir, A., Rahman, M. A., Ramdani, R. T., & Suciyanti, Q. P. 2022. Upaya Meminimalisir Kadar Debu Pada Laboratorium Teknik Mesin dengan Vertical Garden. *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat Dan Jejaring*, 4(2), 128–135.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D., & Maulana, E. 2019. *JOJAPS*.

- Dewadi, F. M., Jati, R. R., & Sofiyanti, B. 2023. PENGKLASIFIKASIAN MATERIAL DALAM PROSES PENGELASAN BERDASARKAN JENIS MATERIAL. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 2030–2035.
- Dewadi, F. M., Lillahulhaq, Z., Karyasa, T. B., & Sari, D. K. 2023. *Teknik Pendingin dan Tata Udara*. Global Eksekutif Teknologi.
- Dewadi, F. M., & Ma'arof, R. A. R. 2022. The selection of Sufficiently Efficient ISO LNG Tanks for Applications in Industrial Estates based on Edward Lisowski and Wojciech Czyzycki. *Journal of Mechanical Engineering, Science, and Innovation*, 2(1), 16–27.
- Dewadi, F. M., Maryadi, I., Yafid Effendi, S. T., Septiadi, W. N., Muhtar, S. T., Indrayana, I. P. T., Mustaqim, S. T., Edahwati, T. I. L., Murdani, E., & PFis, M. 2022. *PERPINDAHAN PANAS: DASAR DAN PRAKTIS DARI PERSPEKTIF AKADEMISI DAN PRAKTISI*. Indie Press.
- Dewadi, F. M., & Sigalingging, W. S. 2021. PENGARUH PARAMETER TEMPERATUR QUENCHING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO REAR HUB SPINDLES. *Buana Ilmu*, 5(2), 101–118.
- Dewadi, F. M., & Supriyanto, A. 2021. PENGARUH PENAHANAN SUHU REAKTOR PADA PENGUJIAN LDPE DENGAN DEBIT AIR 46 L/MIN. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 19–27.
- Dimiyati, D., Ashiedieque, A. D., Sukarman, S., Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rahardja, I. B., Ramadhan, A. I., & Suripto, H. 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Review*, 1(2), 96–105.

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M., & Rahdiana, N. 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 1–5.
- Fathan, F. M. D., Jati, R. R., & Sofiyanti, B. 2022. Pengenalan Material Yang Digunakan Dalam Proses Pengelasan Berdasarkan Spesifikasi Material. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), 300–305.
- Fisika Zone. 2023, May 8. *Susunan Molekul Zat Padat, Zat Cair, dan Gas*.
- Jakariya, J., Setiawan, D., & Dewadi, F. 2023. Pemakaian Peralatan K3 (Keselamatan Kesehatan Kerja) agar Tidak Terjadinya Kecelakaan Kerja. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 3(2).
- Khoirudin, K., Sukarman, S., Murtalim, M., Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rais, A., Abdulah, A., Anwar, C., & Abbas, A. 2021. A report on metal forming technology transfer from expert to industry for improving production efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 1(2), 96–103.
- Lulut Alfaris, S. T., Dewadi, F. M., Abdul Munim, S. E., Taba, H. T., Khasanah, S. P., Kom, M., Maing, C. M. M., PFis, M., Susano, A., & Kom, S. 2022. *MATRIKS DAN RUANG VEKTOR*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Lutkevich, B. 2023, May 8. *Atom*. TechTarget.
- Ma'arof, R. A. R., Saputra, O. A., Dewadi, F. M., & Noor, A. (n.d.). *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*.
- Mulyadi, D., & Dewadi, F. M. 2021. ANALISIS RANCANGAN SEL SURYA UNTUK KEBUTUHAN CADANGAN ENERGI LISTRIK DI KOLAM WILAYAH GRAHA RAYA BINTARO, TANGERANG SELATAN. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 6–12.

- Mulyadi, D., Mubina, F. D., Budiansyah, A. C., & Kurniawan, B. R. 2023. PERBANDINGAN SIFAT-SIFAT MEKANIK MATERIAL HYTREL 5557M MURNI DAN CAMPURAN DAUR ULANG. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 93–104.
- Murtalim, M., Dewadi, F. M., & Sunandar, S. 2020. ANALISIS UNJUK KERJA ECO RACING SEBAGAI SUPLEMEN PENGHEMAT BAHAN BAKAR. *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)*, 3(1), 335–340.
- Nanda, R. A., & Dewadi, F. M. 2022. Pemanfaatan Aquaponic di Wilayah Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 1(1), 16–21.
- Nanda, R. A., & Dewadi, F. M. 2023. SIMULASI STRESS ANALYSIS PADA MATA PAHAT KAYU UNTUK MELIHAT PENGARUH ERGONOMI PADA TUKANG MEBEL UMKM DESA KEDUNGJERUK DALAM MEMAHAT DENGAN PENDEKATAN METODE ELEMEN HINGGA. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 771–784.
- Nanda, R. A., Karyadi, K., & Dewadi, F. M. 2022. Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH-1750 Berbasis Mikrokontroler: Studi Kawasan Kampus UBP Karawang. *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat Dan Jejaring*, 5(1), 74–81.
- Nanda, R. A., Karyadi, K., Dewadi, F. M., Amir, A., & Rizkiyanto, M. 2022. Archimedes' Principle Applied to Buoy Design for Measuring Purposes in Offshore Illumination Conditions. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 3(1), 40–48.

- Nanda, R. A., Supriyanto, A., & Dewadi, F. M. 2023. Using the MPX5500DP Sensor for Monitoring Microcontroller-Based HVAC Systems and IOT. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 8(1), 1–8.
- Nanda, R. A., Supriyanto, A., Dewadi, F. M., Jati, R. R., & Kurniawan, L. A. 2022. PERANCANGAN DAN PERAKITAN ELEKTRONIKA MIKROKONTROLER BERBASIS IOT UNTUK STUDI PENGUKURAN SISTEM HVAC. *BUANA ILMU*, 7(1), 43–55.
- Nanda, R. A., Supriyono, T., Ma'arof, R. A. R., & Dewadi, F. M. 2022. Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(2), 1–8.
- Rumus Hitung. 2017, November 28. *Konsep Partikel Materi*.
- Santosa, I., Firdaus, A., Hidayat, R., Rusnoto, R., Wibowo, A., & Dewadi, F. M. 2022. The Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 3(1), 1–8.
- Setiawan, M. D., & Dewadi, F. M. 2022. Perancangan Panel Surya di Wilayah Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan demi Penghematan Energi Masyarakat. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 1(1), 22–27.
- Suhara, A., Dewadi, F. M., & Febrian, R. 2023. ANALISAPENGARUHPELUMASTERHADAPGESEKAN MENGGUNAKANMETODETINKEN LOAD. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 14–24.

- Suhara, A., Dewadi, F. M., & Hamdani, M. H. 2023. PENGARUH TEMPERATUR SUHU PADA PENGASAPAN TELUR BEBEK DI DESA KARYA BAKTI KECAMATAN BATUJAYA KABUPATEN KARAWANG. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 2511–2519.
- 'Utami, S. 2021, February 2. *Ion: Pengertian, Proses Pembentukan, dan Contoh Ikatannya*. Kompas.
- Wibowo, C., & Dewadi, F. M. 2022. DESIGN PRESSURE REDUCTION SYSTEM (PRS) UNTUK COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) KAPASITAS 30 NM3/H DALAM SISI TEKNIS DAN EKONOMIS. *TEKINFO*, 2(2 Juni), 60–65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M., & Al-Afgani, A. 2021. Implementasi Material Titanium Pada Sepeda Listrik Sebagai Rangka Yang Efisien. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 13–18.
- Wibowo, C., Setiawan, D., & Dewadi, F. M. 2021. IMPROVEMENT OF DRAINAGE AS ONE OF THE SOLUTIONS FOR FLOOD CONTROL IN RT 12 RW 06 CAKUNG PENGKILINGAN EAST JAKARTA. *International Journal of Engagemet and Empowerment*, 1(3), 174–183.
- Wibowo, C., Surbakti, D., & Dewadi, F. M. 2022. REPAIR OF GARBAGE CARTS AS PART OF UPSTREAM SIDE WASTE MANAGEMENT IN THE PERMATA MILLAN JAKARTA ENVIRONMENT: PERBAIKAN GEROBAK SAMPAH SEBAGAI BAGIAN DARI MANAJEMEN SAMPAH SISI HULU DI LINGKUNGAN PERMATA PENGKILINGAN JAKARTA. *Indonesian Journal of Engagemet, Community Services, Empowerment and Development*, 2(2), 165–174.
- Wibowo, S. H., Musa, P., Artiyasa, M., Dewadi, F. M., & Nggego, D. A. 2023. *Robotika*. Global Eksekutif Teknologi.

BAB 2

KESEIMBANGAN STATIK

Oleh Retna Kristiana

2.1 Pendahuluan

Statika merupakan ilmu yang mempelajari semua benda yang tetap (statis) (Widodo, 2018). Dalam ilmu statika, dipelajari keseimbangan gaya di mana suatu konstruksi yang tetap diam walaupun pada konstruksi tersebut ada gaya-gaya yang bekerja dan konstruksi yang paling sederhana adalah konstruksi statis tertentu (Tumewu et al., 2019). Suatu benda yang menerima gaya, apabila dalam keadaan diam, berarti benda tersebut berada dalam keadaan seimbang, artinya gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang antara gaya aksi dan reaksi. Menurut Hukum Keseimbangan/ Hukum Newton I : suatu sistem gaya yang bekerja pada suatu benda berada dalam keadaan seimbang, apabila resultan gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol.

2.2 Keseimbangan Gaya Pada Struktur Balok

Balok adalah salah satu elemen struktural yang paling umum digunakan dalam berbagai aplikasi teknik (Vigneshwaran & Behera, 2014). Struktur balok merupakan tipe elemen struktural yang penting untuk para profesional konstruksi serta mayoritas insinyur wajib akrab dengan balok. Untuk keperluan struktur bangunan, utamanya balok, kekuatan elemen balok struktur merupakan unsur utama yang harus diperhatikan (Budi, 2007). Struktur ini memainkan peran penting dalam bagaimana berat dipindahkan serta memastikan bahwa fondasi bangunan tertanam kokoh di tanah. Dalam konstruksi balok sederhana, terdiri dari

komponen utama berupa tumpuan dan beban. Tumpuan yang biasa digunakan dalam suatu konstruksi yaitu tumpuan sendi, tumpuan roll, tumpuan jepit. Sifat tumpuan sendi adalah : mampu menerima reaksi gaya vertikal dan gaya horisontal, tidak dapat menerima momen. Sifat tumpuan roll dapat memberikan reaksi gaya vertikal, tidak dapat menerima gaya horisontal dan tidak dapat menerima momen. Sifat tumpuan jepit yaitu dapat menerima semua reaksi: gaya vertikal, gaya horisontal, dan momen (Irawan, 2008). Suatu benda yang menerima gaya, apabila dalam keadaan diam, berarti benda tersebut berada dalam keadaan seimbang, artinya gaya-gaya yang bekerja dalam keadaan seimbang antara gaya aksi dan reaksi. Syarat perlu dan cukup untuk keseimbangan suatu benda tegar secara analitis adalah : jumlah gaya arah x = 0 ($\sum F_x = 0$), jumlah gaya arah y = 0 ($\sum F_y = 0$), jumlah momen = 0 ($\sum M = 0$). Dari persamaan tersebut dapat dikatakan bahwa benda tidak bergerak dalam arah translasi atau arah rotasi (diam). Jika ditinjau dari Hukum III Newton, maka keseimbangan terjadi jika gaya aksi mendapat reaksi yang besarnya sama dengan gaya aksi tetapi arahnya saling berlawanan. Parameter yang mempengaruhi perilaku balok seperti jarak antar rasio beban terhadap rentang (Hassan Abdelkareem, 2007).

Contoh keseimbangan gaya :

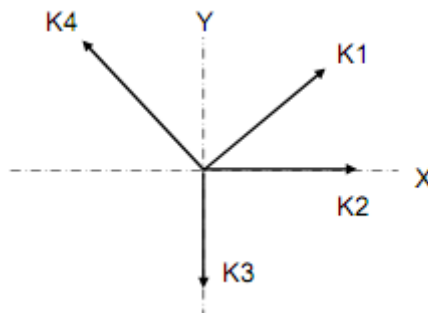
a. Gaya konkuren

Gaya-gaya seimbang apabila,

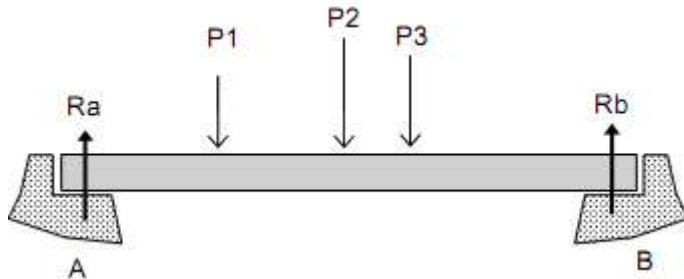
$$R_x = \sum K_x = 0$$

$$R_y = \sum K_y = 0$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$



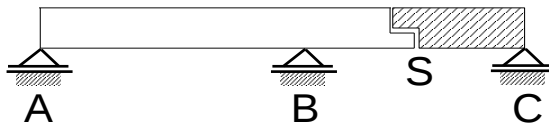
b. Dalam bentuk aplikasi pada jembatan;



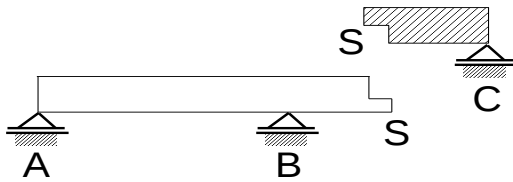
Balok diatas dua tumpuan (A dan B), dalam keadaan seimbang terdapat gaya-gaya,
 $R_a + R_b = P_1 + P_2 + P_3$

Balok dapat disegmentasi pada setiap posisi balok dan dapat dibagi menjadi serangkaian elemen balok yang didukung sederhana (Ting *et al.*, 2021).

Dalam Konstruksi Gerber yang perlu diperhatikan ialah mana yang dimaksud balok anak dan mana yang balok induk. Balok gerber merupakan struktur balok panjang yaitu balok yang disambung dengan balok lain dengan titik sambungan berupa sendi.



SC adalah balok yang menumpang pada balok BC sehingga Balok AB merupakan konstruksi yang mendukung atau utama (balok induk) dan Balok SC merupakan konstruksi yang didukung atau menumpang (balok anak). Untuk keperluan analisis statis tertentu pada balok gerber, maka kita perlu untuk mem-freebody-kan balok gerber tersebut. Dalam konteks ini, kita perlu melepas balok gerber menjadi balok anak dan balok induk.

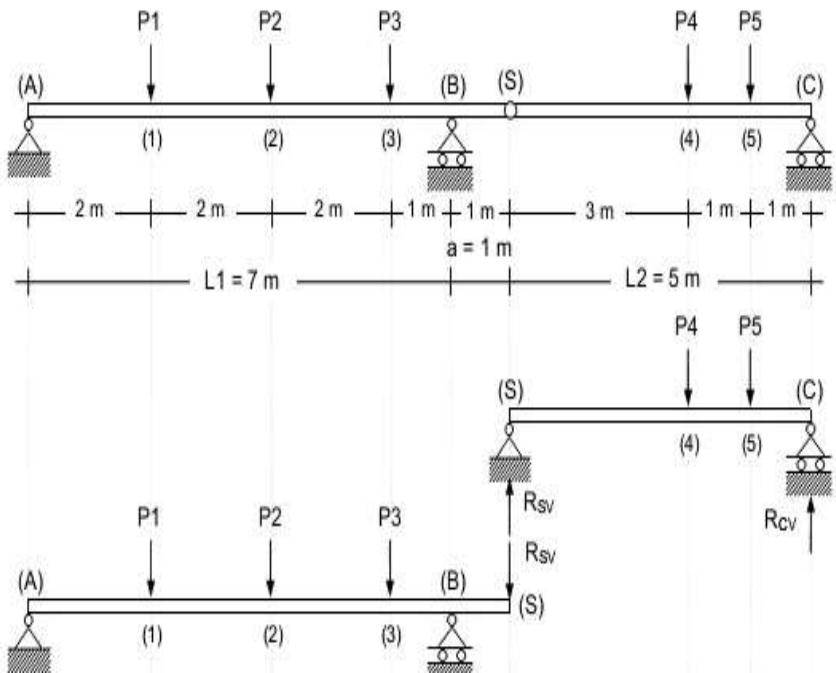


Konstruksi diatas dapat dianalisa sebagai berikut :

Balok anak SC dilepas dari balok induk AB, lalu Balok Gerber menjadi freebody SC dan freebody AB, kemudian Balok induk AB memikul beban yang disalurkan dari titik sambungan S. Perletakan yang dicari tetap pada sendi dan rol A, B, & C.

Berikut ini merupakan soal dan pembahasan mengenai mencari nilai reaksi perletakan untuk keseimbangan gaya pada suatu konstruksi gerber yang tetap diam walaupun pada konstruksi tersebut ada gaya-gaya yang bekerja ;

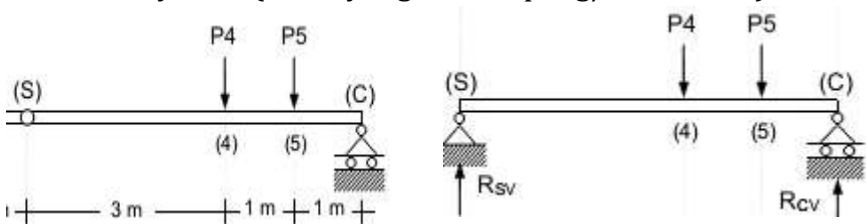
Suatu konstruksi seperti tergambar diatas memikul muatan terpusat $P_1 = 2$ ton, $P_2 = 3$ ton, $P_3 = 2$ ton, $P_4 = 4$ ton dan $P_5 = 3$ ton pada freebody A – B– S dan S – C.



Perhitungan reaksi perletakan pada balok gerber, dimulai dengan menghitung reaksi perletakan potongan (*freebody*) dari balok yang menumpang atau yang tidak stabil terlebih dahulu.

Perhitungan perletakan :

1. Freebody S - C (balok yang menumpang/balok anak)

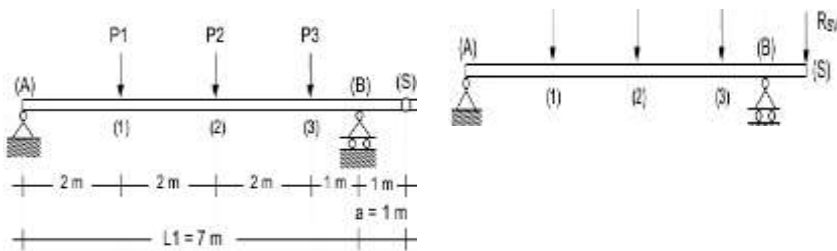


➤ $\sum M_C = 0 \rightarrow R_{sv} \cdot 5m - P_4 \cdot 2m - P_5 \cdot 1m = 0$

$$\begin{aligned}
 R_{SV} \cdot 5m &= 4\text{ton} \cdot 2m + 3\text{ ton} \cdot 1m \\
 R_{SV} &= \frac{11\text{ ton} \cdot m}{5m} \\
 R_{SV} &= 2,2\text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } \sum M_S = 0 &\rightarrow -R_{CV} \cdot 5m + P_5 \cdot 4m + P_4 \cdot 3m = 0 \\
 R_{CV} \cdot 5m &= 3\text{ton} \cdot 4m + 4\text{ ton} \cdot 3m \\
 R_{CV} &= \frac{24\text{ ton} \cdot m}{5m} \\
 R_{CV} &= 4,8\text{ ton}
 \end{aligned}$$

2. Freebody A - B- S (balok induk)



$$\begin{aligned}
 \text{➤ } \sum M_A = 0 &\rightarrow -R_{BV} \cdot 7m + P_1 \cdot 2m + P_2 \cdot 4m + P_3 \cdot 6m + R_{SV} \cdot 8m = 0 \\
 R_{BV} \cdot 7 &= 2\text{ton} \cdot 2m + 3\text{ton} \cdot 4m + 2\text{ton} \cdot 6m + 2,2\text{ ton} \cdot 8m \\
 R_{BV} &= \frac{45,6\text{ ton} \cdot m}{7m} \\
 R_{BV} &= 6,514\text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{➤ } \sum M_B = 0 &\rightarrow R_{AV} \cdot 7m - P_1 \cdot 5m - P_2 \cdot 3m - P_3 \cdot 1m + R_{SV} \cdot 1m = 0 \\
 R_{AV} \cdot 7m &= 2\text{ton} \cdot 5m + 3\text{ton} \cdot 3m + 2\text{ton} \cdot 1m - 2,2\text{ton} \cdot 1m \\
 R_{AV} &= \frac{18,8\text{ ton} \cdot m}{7m} \\
 R_{AV} &= 2,686\text{ ton}
 \end{aligned}$$

➤ Pengecekan keseimbangan gaya :

$$\sum V = 0 \rightarrow R_{AV} + R_{BV} - P_1 - P_2 - P_3 - R_{SV} = 0$$

$$2,686 \text{ ton} + 6,514 \text{ ton} - 2 \text{ ton} - 3 \text{ ton} - 2 \text{ ton} - 2,2 \text{ ton} = 0$$
$$0 = 0 \text{ (memenuhi)}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Budi, A. S. 2007. Pengaruh Dimensi Bilah Terhadap Keruntuhan Lentur Balok Laminasi Bambu Penting. *Media Teknik Sipil*, 85–92.
- Elly Tjahjono, Sulistyoweni, 1999, Modul Pembelajaran Mekanika Teknik I, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Hassan Abdelkareem, K. 2007. A Study On Flexural Behavior Of Prestressed Concrete Simple Beams With External Tendons Under Static Loads. *JES. Journal of Engineering Sciences*, 35(4), 869–889.
<https://doi.org/10.21608/jesaun.2007.114321>
- Irawan, A. P. 2008. Studi Eksperimental Fenomena Defleksi Pada Konstruksi Balok Sederhana Sebagai Modul Pembelajaran Mekanika Kekuatan Material. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin VII*.
- Thamrin Nasution, 2012, Modul Kuliah Statika I, Departemen Teknik Sipil, FTSP, ITMI, Medan
- Timoshenko, Young, D.H., 1992, Mekanika Teknik Edisi ke-4, Erlangga, Jakarta.
- Ting, K., Yingsheng, B., Erlei, B., Huixiang, S., & Tao, G. 2021. Flexible Application of Static Balance Principle in Beam Internal Force Diagram. *Journal of Physics: Conference Series*, 2012(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2012/1/012011>
- Tumewu, D., Saerang, E. J., & Harahap, J. Th. 2019. Studi Perbandingan Metode Perhitungan Struktur Statis Tak Tentu pada Portal Bangunan Gedung. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 1(2), 1. <https://doi.org/10.47600/jtst.v1i2.230>
- Vigneshwaran, K., & Behera, R. K. 2014. Vibration Analysis of a Simply Supported Beam with Multiple Breathing Cracks. *Procedia Engineering*, 86, 835–842.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.104>

Wesli, 2010, Mekanika Rekayasa, Graha Ilmu, Yogyakarta.
Widodo, E. 2018. *Buku Ajar Pengantar Mekanika Teknik*. Umsida
Press. <https://doi.org/10.21070/2018/978-602-5914-44-7>

BAB 3

RESULTAN GAYA

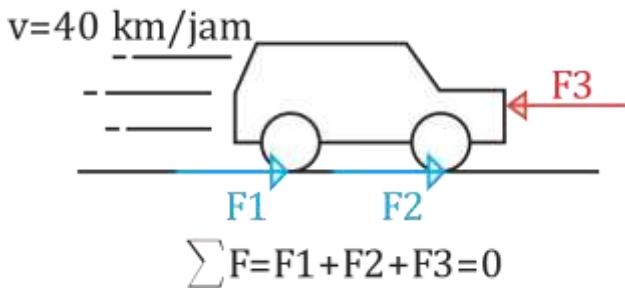
Oleh Mursalim Ninoy La Ola

3.1 Pengertian Resultan Gaya

Resultan gaya adalah suatu gaya tunggal yang merupakan gabungan atau jumlah dari total gaya-gaya yang bekerja pada suatu objek atau sistem. Ketika beberapa gaya bekerja pada suatu objek atau sistem secara bersamaan, masing-masing besaran gaya, arah, dan titik tangkapnya saling berinteraksi sehingga menghasilkan suatu gaya tunggal yang memiliki besaran, arah, dan titik tangkap yang disebut dengan resultan gaya.

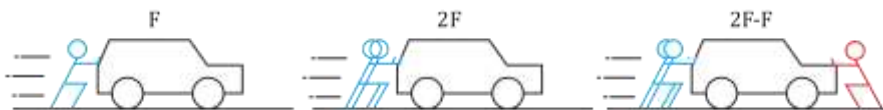
Sesuai dengan hukum Newton, resultan gaya bernilai 0 (nol) pada benda yang statis (diam) atau bergerak dengan kecepatan konstan. Pada benda yang mengalami percepatan, resultan gaya berbanding lurus dengan percepatan yang dialami benda. Gaya yang searah akan saling menjumlahkan, dan gaya yang berlawanan akan saling mengurangi.

Perumpamaan kondisi setimbang dimana resultan gaya bernilai 0 (nol) yaitu pada sebuah mobil yang diparkir pada jalanan datar dan tak ada angin berhembus. Kondisi seimbang juga dapat diumpamakan pada sebuah mobil yang sedang bergerak ke depan dengan kecepatan konstan (gambar 3.1). Sebenarnya terdapat banyak gaya yang bekerja pada mobil tersebut, dimulai dari gaya dari perputaran ban yang berasal dari mesin mobil, gaya gesekan ban dengan aspal, hingga hambatan angin yang menahan laju kendaraan. Dari semua gaya yang bekerja mobil tetap bergerak ke depan dengan kecepatan konstan (misal tetap pada 40 km/jam) maka dapat disimpulkan resultan gaya yang bekerja pada mobil tersebut bernilai 0 (nol).



Gambar 2.1. Sebuah mobil yang bergerak dengan kecepatan konstan

Pada mobil dengan kondisi awal seimbang (diam terparkir) yang kemudian didorong dengan gaya sebesar F seorang diri ke depan, maka resultan gaya yang bekerja adalah bernilai F positif ke depan (gambar 3.2). Jika ada dua orang yang mendorong dengan gaya sebesar F maka resultan gaya sebesar $2F$. Apa bila ada orang tambahan yang mendorong mobil tersebut dari arah berlawanan maka yang terjadi akan saling mengurangi. Untuk mobil yang bergerak dengan kecepatan konstan (40 km/jam), resultan gaya bernilai positif saat kita menginjak pedal gas untuk mempercepat laju mobil sehingga meningkat menjadi lebih dari kecepatan awal (40 km/jam).



Gambar 3.2. Gaya yang searah akan saling menjumlahkan, dan gaya yang berlawanan akan saling mengurangi.

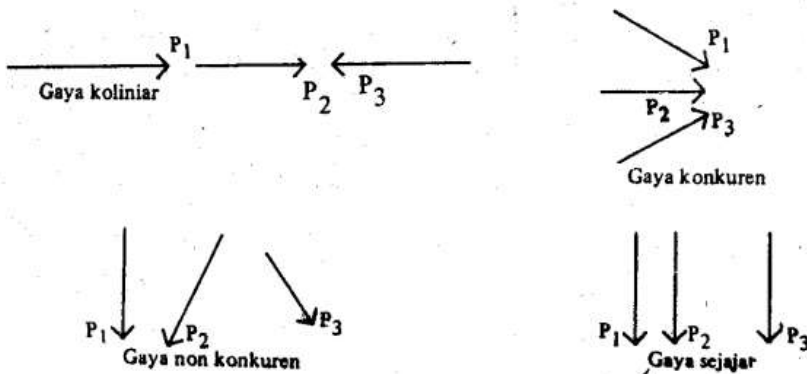
Secara matematis, resultan gaya statika dapat dihitung dengan menjumlahkan semua gaya vektor yang bekerja pada

benda dan menghasilkan sebuah vektor hasil yang disebut resultan gaya. Jika resultan gaya sama dengan nol, maka benda dalam keadaan keseimbangan (diam atau dalam kecepatan konstan), sedangkan jika resultan gaya tidak sama dengan nol, maka benda akan bergerak (mengalami percepatan).

3.2 Perhitungan Resultan Gaya

Setiap gaya mempunyai besaran, arah dan titik tangkap (Kamarwan,1980). Komposisi dari beberapa gaya yang bekerja terdapat beberapa kemungkinan sebagai berikut :

1. Komposisi gaya kolinier yaitu kumpulan beberapa gaya yang memiliki garis kerja pada satu garis lurus.
2. Komposisi gaya koplanar yaitu kumpulan beberapa gaya yang bekerja pada satu bidang (dua dimensi).
3. Komposisi gaya ruang adalah kumpulan gaya yang bekerja di dalam bidang ruang (tiga dimensi).
4. Komposisi gaya kongruen adalah kumpulan beberapa gaya yang bekerja melalui sebuah titik, sedangkan gaya non kongruen adalah gaya yang titik tangkapnya pada sembarang titik.
5. Komposisi gaya sejajar adalah kumpulan beberapa gaya yang garis kerjanya sejajar baik dalam satu bidang atau satu ruang.



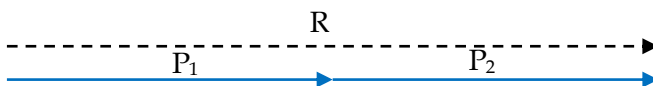
Gambar 3.3. Beberapa komposisi gaya.
(Sumber : Kamarwan, 1980)

3.2.1 Perhitungan Resultan dari Gaya Yang Kolinier

Resultan gaya yang segaris atau kolinier dapat dihitung dengan penjumlahan sederhana.

1. Gaya searah dihitung dengan menjumlahkan gaya searah. Gaya P_1 , dan P_2 sama-sama bernilai positif dan digambarkan ke arah kanan (gambar 2.4). Resultan R adalah garis yang berimpit dan besarnya sama dengan persamaan dibawah ini :

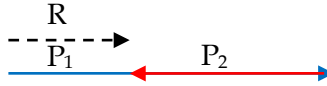
$$R = P_1 + P_2$$



Gambar 3.4. Gaya segaris yang searah

2. Gaya berlawanan arah saling mengurangi. Gaya P_1 bernilai positif dan digambarkan ke arah kanan (gambar 2.5) dikurangi dengan P_2 yang digambarkan ke arah kiri. Resultan R adalah garis yang berimpit dan besarnya dihitung dengan persamaan berikut :

$$R = P_1 - P_2$$



Gambar 3.5. Gaya segaris yang berlawanan arah

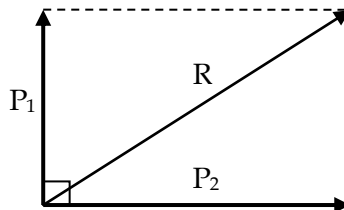
3.2.2 Perhitungan Resultan Gaya Yang Koplanar dan Kongruen

Resultan gaya yang koplanar kongruen adalah resultan dari gaya-gaya yang bekerja pada satu bidang dimana titik tangkap dari semua komposisi gaya berada pada satu titik.

1. Resultan gaya dari dua buah gaya yang tegak lurus dalam satu bidang

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}$$

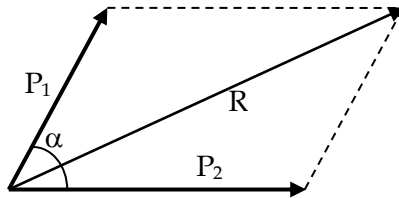
Secara grafis :



Gambar 3.6. Gaya saling tegak lurus

2. Resultan gaya dari dua buah gaya yang membentuk sudut α dalam satu bidang

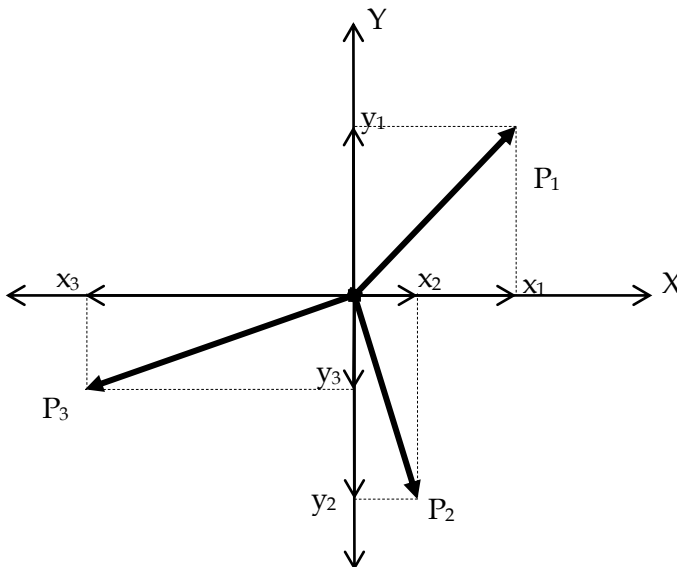
$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot \cos \alpha}$$



Gambar 3.7. Gaya membentuk sudut α

3. Resultan gaya pada sumbu XY

Komposisi gaya P_1 , P_2 dan P_3 diketahui sebidang (koplanar), dengan titik tangkap berada pada satu titik (kongruen) di titik 0 pada sumbu XY. Resultan gaya dihitung dengan menjumlahkan proyeksi dari masing-masing gaya P_1 , P_2 , P_3 terhadap sumbu X dan Y. Proyeksi gaya P_1 pada sumbu X diberi nama x_1 , dan proyeksi pada sumbu Y diberi nama y_1 . Begitu juga untuk gaya P_2 dan P_3 (gambar 3.8).



Gambar 3.8. Gaya kongruen koplanar pada sumbu XY

Gaya-gaya yang telah diproyeksi kemudian dijumlahkan seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Penjumlahan Komponen Gaya

Gaya	X	Y
P ₁	x ₁	y ₁
P ₂	x ₂	y ₂
P ₃	x ₃	y ₃
	Σx	Σy

Resultan gaya kemudian dapat dihitung dengan menjumlahkan masing-masing komponen proyeksi gaya sesuai arah sumbunya kemudian dimasukkan ke dalam persamaan berikut:

$$R = \sqrt{\Sigma x^2 + \Sigma y^2}$$

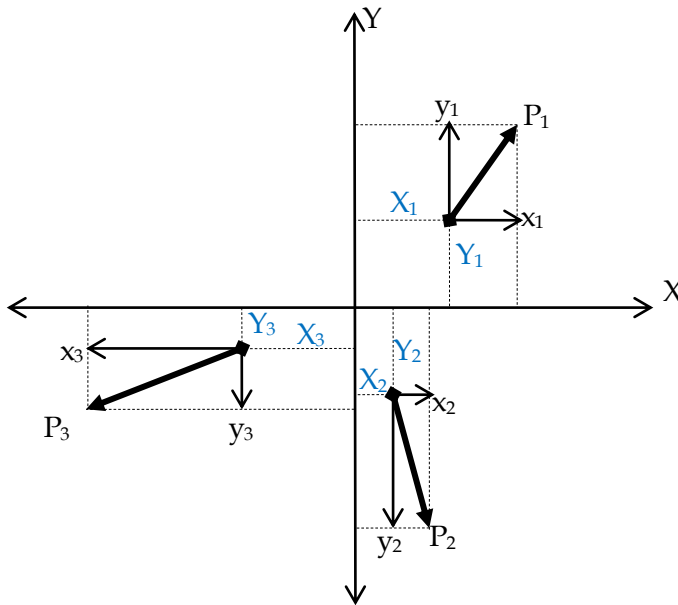
Arah dari resultan gaya kemudian bisa dihitung dari titik 0, dengan sudut α terhadap sumbu X dengan persamaan

$$\tan \alpha = \frac{\Sigma y}{\Sigma x}$$

3.2.3 Perhitungan Resultan Gaya non kongruen

Pada komposisi gaya yang koplanar tetapi tidak kongruen, masing-masing gaya P₁, P₂, dan P₃ memiliki titik tangkap yang berbeda (gambar 3.9). Untuk dapat menghitung resultan gaya dari gaya-gaya tersebut, masing-masing perlu di proyeksikan menjadi komponen gaya terhadap sumbu X dan Y.

Contoh pada gaya P₁, diproyeksikan menjadi komponen gaya x₁ pada sumbu X dan y₁ pada sumbu y dengan koordinat titik tangkap X₁ dan Y₁. Semua gaya ditentukan komponen proyeksi serta koordinat titik tangkapnya.



Gambar 3.9. Gaya kongruen koplanar pada sumbu XY

Semua koordinat titik tangkap dan komponen proyeksi masing-masing gaya dihitung. Kemudian dilakukan perhitungan momen dimana jarak titik tangkap terhadap sumbu x dan y menjadi lengan bagi masing-masing komponen yang tegal lurus. Pada P_1 , gaya komponen y_1 dikalikan X_1 , serta gaya komponen x_1 dikalikan Y_1 , seperti menghitung momen kopel dimana momen bernilai positif jika berputar searah jarum jam dan bernilai negatif jika berlawanan arah jarum jam. Semua komponen tadi dihitung seperti pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Penjumlahan Komponen Gaya Non Kongruen

Gaya	X	MX	Y	MY
P ₁	x ₁	x ₁ .Y ₁	y ₁	-y ₁ .X ₁
P ₂	x ₂	-x ₂ .Y ₂	-y ₂	y ₂ .x ₂
P ₃	-x ₃	x ₃ .Y ₃	-y ₃	-y ₃ .x ₃
	Σx	ΣMX	Σx	ΣMy

Dari tabel 3.2 kemudian dapat ditentukan resultan gaya R_x (resultan gaya yang bekerja sejajar sumbu X), R_y (resultan gaya yang bekerja sejajar sumbu Y) dan M₀, dimana :

$$R_x = \Sigma x$$

$$R_y = \Sigma y$$

$$M_0 = \Sigma M_x + \Sigma M_y$$

Koordinat titik tangkap untuk resultan gaya dari beberapa gaya yang non kongruen tersebut kemudian dapat dihitung dengan persamaan:

$$x = \frac{M_0}{\Sigma x};$$

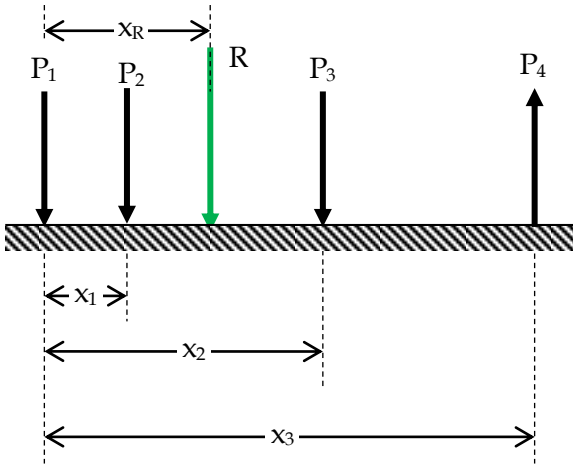
$$y = \frac{M_0}{\Sigma y}$$

Arah dari resultan gaya kemudian bisa dihitung dari titik tangkap resultan gaya yaitu x,y, dengan sudut α terhadap sumbu X dengan persamaan

$$tg \alpha = \frac{\Sigma x}{\Sigma y}$$

3.2.3 Perhitungan Resultan Gaya Yang Sejajar

Pada bagian ini akan dihitung resultan gaya dari beberapa gaya yang bekerja secara paralel pada satu bidang. Misal ada 4(empat) gaya paralel dengan besaran yang berbeda-beda bekerja tegak lurus pada suatu bidang seperti pada gambar 2.9.



Gambar 3.10. Gaya kongruen koplanar pada sumbu XY

Khusus untuk gaya yang sejajar seperti ini persetujuan tanda positif dan negatif dapat disesuaikan untuk mempermudah perhitungan. Dapat dilihat terdapat 3(tiga) gaya yang mengarah ke bawah yaitu P_1 , P_2 , dan P_3 sedangkan P_4 mengarah ke atas. Resultan gaya dapat dihitung dengan menganggap P_1 , P_2 dan P_3 yang mengarah ke bawah sebagai gaya positif, sedangkan P_4 bernilai negatif.

Besarnya resultan gaya dihitung dengan persamaan sederhana penjumlahan dari gaya-gaya yang sejajar.

$$R = \Sigma P = P_1 + P_2 + P_3 - P_4$$

Sedangkan untuk mengetahui letak posisi resultan gaya, dihitung sebagai momen dengan acuan gaya yang paling ujung. Dalam persoalan ini, gaya acuan yang dipilih adalah gaya P_1 , sehingga dalam perhitungan momen, lengan P_1 bernilai 0 (nol).

$$R \cdot x_R = \Sigma M_x = P_1 0 + P_2 x_1 + P_3 x_2 - P_4 x_3$$

Jarak resultan gaya dari titik tangkap P_1 adalah x_R , diperoleh dengan membagi total momen dengan besarnya gaya resultan R .

$$x_R = \frac{\Sigma M_x}{R}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Kamarwan, Sidharta S. 1980. *Statika: Bagian dari mekanika teknik*. Jakarta: UI Press.
- Mathalino.com. 2023. *Resultant of Paralel Force System*. Diakses pada 10 Mei 2023, dari [https:// mathalino.com/ reviewer/ engineering-mechanics/resultant-of-paralel-force-system](https://mathalino.com/reviewer/engineering-mechanics/resultant-of-paralel-force-system)

BAB 4

ANALISIS STRUKTUR

Oleh Asri Mulya Setiawan

4.1 Pendahuluan

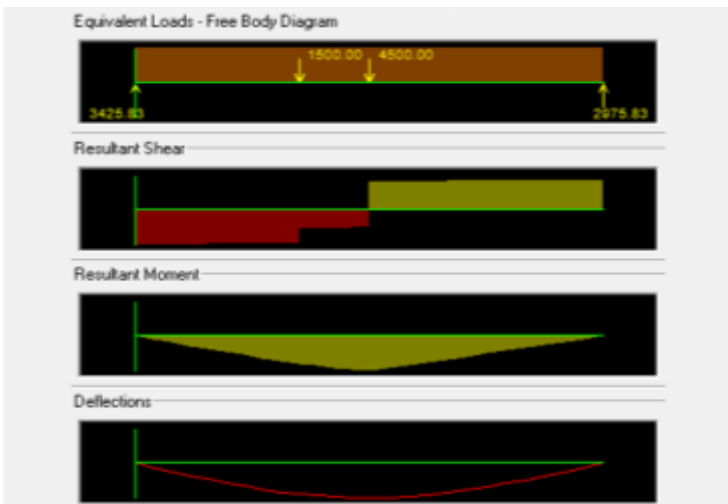
Analisis struktur adalah proses menghitung dan menentukan efek akibat beban yang bekerja pada struktur (bangunan, jembatan, dermaga atau objek lainnya) yang menimbulkan reaksi berupa gaya dalam (*internal forces*) pada struktur. Analisis struktur juga merupakan ilmu untuk menentukan efek dari beban pada struktur fisik dan komponennya. Adapun cabang pemakaiannya meliputi analisis bangunan, jembatan, perkakas, mesin, tanah, dll.

Analisis struktur menggabungkan bidang mekanika teknik, teknik material dan matematika teknik untuk menghitung deformasi struktur, kekuatan internal, tegangan, tekanan, reaksi tumpuan, percepatan, dan stabilitas. Hasil analisis tersebut digunakan untuk memverifikasi kekuatan struktur yang akan maupun telah dibangun. Dengan demikian analisis struktur merupakan bagian penting dari desain rekayasa struktur.

Analisis struktur adalah suatu proses dimana engineer menentukan respons suatu struktur terhadap suatu pembebanan. Respons struktur dinyatakan dengan gaya-gaya yang terjadi didalam struktur dan deformasi yang dialami. Metode-metode analisa struktur biasanya dinyatakan sebagai algoritma matematis; sebenarnya metode-metode ini didasari oleh informasi-informasi yang diperoleh dari aplikasi mekanika rekayasa, penelitian di laboratorium, eksperimen model/lapangan, pengalaman, dan engineering judgment (Achfas Zacoeb, 2018).

4.2 Tujuan Analisis Struktur

Analisis struktur sangat penting untuk memastikan bagaimana alur, distribusi dan dampak beban terhadap struktur yang ditinjau. Selain beban yang mempengaruhi perilaku struktur adalah bahan yang digunakan dan geometri (sistem) struktur. Dengan melakukan analisis struktur maka dapat diketahui bagaimana perilaku struktur dan tingkat keamanannya saat dikenai beban yang diperkirakan akan bekerja. Analisis Struktur dapat dilakukan selama tahapan desain, pada saat pengujian maupun pasca konstruksi.



Gambar 4.1. Ilustrasi Struktur, Pembebanan dan Gaya Dalam

Saat ini hampir semua analisis struktur dilakukan dengan menggunakan model matematika yang mengacu pada kaidah-kaidah mekanika, di mana model bisa elastis atau inelastis, linear atau non-linear, gaya dapat statis atau dinamis, dan model struktur mungkin bisa satu dimensi, dua dimensi atau tiga dimensi. Analisis dan pemodelan juga harus mengacu pada peraturan standar yang

berlaku. Namun dalam beberapa proyek yang strategis, seperti misalnya jembatan cable stayed bentang panjang, selain analisis struktur menggunakan model matematis, juga dilakukan pembuatan model skalatis untuk memverifikasi apakah analisis perhitungan dengan model matematis sesuai dengan perilaku struktur yang sebenarnya.

4.3 Faktor Penting Analisis Struktur

Analisis struktur sangat penting untuk memastikan bagaimana alur, distribusi dan dampak beban terhadap struktur yang ditinjau. Selain beban yang mempengaruhi perilaku struktur adalah bahan yang digunakan dan geometri (sistem) struktur. Dengan melakukan analisis struktur maka dapat diketahui bagaimana perilaku struktur dan tingkat keamanannya saat dikenai beban yang diperkirakan akan bekerja. Analisis Struktur dapat dilakukan selama tahapan desain, pada saat pengujian maupun pasca konstruksi. Hal-hal yang harus diketahui dalam pengerjaan analisis struktur:

4.3.1 Sifat Material Struktur

Untuk melakukan analisis struktural yang akurat, data lengkap mengenai sifat material yang digunakan sangat penting. Data tersebut meliputi berat jenis, kuat tarik, kuat tekan, modulus elastisitas, poisson ratio dan lainnya, dimana data-data sifat material tersebut diperoleh melalui pengujian. Vendor penyedia beton ataupun baja saat ini sudah menyertakan data sheet sifat material yang ditawarkan.

Selain dari sifat material kekuatan suatu elemen struktur juga tergantung dari dimensi dan bentuk geometrinya. Dan tentunya material yang digunakan harus sesuai dengan standar peraturan yang berlaku. Beberapa peraturan berikut mengatur ketentuan penggunaan baja dan beton dalam perancangan struktur antara lain:

- a) SNI 2847-2013 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung,
- b) SNI 2052-2014 Baja tulangan beton
- c) SNI 1729-2015 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.

4.3.2 Pembebanan

Salah satu elemen penting lainnya dalam analisis struktur adalah keakuratan estimasi beban yang diperkirakan akan membebani struktur. Beban struktur adalah gaya yang bekerja pada bagian struktur, atau pada sistem struktur, yang dengan analisis struktur dapat dihitung bagaimana alur dan distribusi gaya tersebut pada tiap elemen struktur yang menyebabkan gaya dalam (internal forces) pada elemen-elemen tersebut dan sekaligus menghitung berapa besarnya. Dengan mengetahui besarnya beban yang membebani suatu elemen struktur dan diketahui pula kekuatan elemen tersebut, maka dapat diketahui mampu tidaknya suatu elemen menahan beban yang bekerja tersebut.

Tentunya beban yang melebihi kekuatan elemen struktur akan menyebabkan kegagalan struktur dan kondisi seperti itu yang akan dipertimbangkan selama desain struktur. Untuk gedung dan jembatan, beban vertikal utama adalah beban gravitasi, termasuk berat sendiri struktur dan berat dari semua bagian bangunan yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, alat atau mesin yang merupakan bagian yang tidak terpisahkan dengan bangunan, yang dikenal sebagai beban mati.

Beban lainnya yang disebut beban hidup yaitu adalah berat dari penghuni dan atau barang-barang yang dapat berpindah, yang bukan merupakan bagian dari bangunan, bisa berupa beban terpusat, atau beban merata yang terdistribusi ke area yang luas seperti lantai. Selain beban gravitasi beban horisontal juga harus

diperhitungkan seperti angin, gaya inersia akibat gempa bumi atau tekanan tanah.

Untuk pembebanan dalam analisis struktur tidak boleh lebih kecil dari yang diatur dalam : SNI 1727 – 2013 Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain. Sedangkan untuk beban gempa rencana harus memenuhi SNI 1726 – 2012 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung.

4.3.3 Sistem Struktur

Selain sifat material masing-masing elemen penyusun system struktur, pembebanan yang bekerja pada struktur, tentunya sistem struktur akan mempengaruhi distribusi beban dari mulai lokasi beban sampai akhirnya disalurkan melalui sistemtem struktur sampai ke pondasi dan tanah di bawahnya. Berikut ini beberapa sistem struktur pada bangunan gedung:

- a) Rangka Kaku (*Rigid Frame*)
- b) Rangka Kaku dan inti (*Rigid Frame and Core*)
- c) Rangka dengan Pengaku (*Braced Frame*)
- d) Dinding Pendukung Sejajar (*Parallel Bearing Wall*)
- e) Inti dan Dinding Pendukung Fasade (*Core and Fasade Bearing Wall*)
- f) Box Berdiri Sendiri (*Self Support Box*)
- g) Pelat Rata (*Flat Slab*)
- h) Pelat Kantilever (*Cantilevered Slab*)
- i) Interspasi (*Interspatial*)
- j) Gantung (*Suspension*)
- k) Rangka Selang Seling (*Staggered Truss*)
- l) Kumpulan Tabung (*Bundled Tube*)
- m) Tabung dalam Tabung (*Tube in Tube*)

Seperti halnya pada gedung, struktur jembatan juga dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa jenis. Diantaranya:

- a) Berdasarkan jenis material dari elemen penyusunnya, contoh: jembatan baja, jembatan beton, jembatan komposit, jembatan pre-stress,
 - b) Berdasarkan bentuk dan geometri strukturnya, contoh : Jembatan Rangka, Jembatan box girder, Jembatan I girder, Jembatan balok T, Jembatan Pelat, gorong-gorong, box culvert,
 - c) Berdasarkan bagaimana jembatan tersebut mentransfer beban dari lantai jembatan ke pondasi, contoh: Jembatan Cable Stayed, Jembatan Suspension, Jembatan Pelengkung.
- Begitupun pada Struktur lain seperti bendungan, dermaga, terowongan dan lainnya.

Pemahaman terhadap sifat material, pembebanan dan system struktur sangat penting dalam pemodelan dan analisis struktur, untuk menghasilkan output analisis yang dapat merepresentasikan kondisi yang mendekati kondisi aktualnya.

4.3.4 Cara Melakukan Analisis Struktur

Metode yang digunakan dalam melakukan analisis struktur, tergantung pada tingkat akurasi yang dibutuhkan. Secara sederhana dapat dipilah menjadi:

- a) **Analisis Elemen Hingga/ *Finite Element Analysis* (FEA)** adalah metode numerik kompleks yang digunakan untuk menyelesaikan masalah rumit yang berisi sejumlah input variabel seperti kondisi batas, aplikasi beban, dan jenis tumpuan. Ini adalah metode yang jauh lebih rumit, namun akurat untuk menjalankan analisis struktur dibandingkan dengan perhitungan tangan. FEA mensyaratkan bahwa struktur dipecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (atau elemen) yang dapat dievaluasi secara individual untuk perkiraan solusi yang lebih akurat. Untuk kasus struktur yang sederhana FEA masih dapat dihitung secara manual dengan bantuan kalkulator ataupun spreadsheet

- walaupun akan menghabiskan waktu yang lebih lama, namun untuk struktur yang besar dan kompleks model FEA bisa terdiri dari ribuan entri matriks sehingga sangat tidak mungkin untuk dievaluasi oleh perhitungan manusia. Saat ini FEA masih merupakan metode analisis struktural yang sangat kuat dan akurat sehingga menjadi dasar dari sebagian besar Perangkat Lunak Analisis Struktur.
- b) **Perhitungan tangan** sederhana adalah cara perhitungan manual yang sangat cepat dan mudah untuk mengevaluasi efek kekuatan sederhana pada struktur sederhana. Seperti menghitung momen lentur, geser pada balok horizontal sederhana struktur statis tertentu (*simple beam*) ataupun balok menerus struktur statis tak tentu (*continuous beam*)
 - c) **Software Analisis Struktur.** Ada sejumlah besar Perangkat Lunak Analisis Struktural yang dapat melakukan perhitungan FEA akurat tanpa kesulitan harus secara manual mengatur proses yang kompleks, seperti ETABS, SAP2000, MIDAS, STAADPro, ABAQUS, SAFE, Tekla Structural Designer, S-FRAME ANALYSIS dan lainnya. Software-software tersebut bertujuan untuk membantu mempermudah penganalisis untuk pemodelan material struktur, geometri struktur, pembebanan struktur dan batasan-batasan lain yang ditentukan oleh engineer, melakukan perhitungan dan analisis gaya-gaya dalam pada elemen-elemen struktur akibat beban dan kombinasi beban yang bekerja dan membantu pengecekan kekuatan elemen pada tahap disain.

4.4 Metode Pada Analisis Struktur Bangunan

Setiap bangunan memiliki kerangka struktur. Rangka bangunan sendiri adalah bentuk struktur yang paling umum dijumpai. Salah satu contohnya adalah rangka beton bertulang bertingkat (*reinforced concrete multistory frames*).

4.4.1 Metode Gaya

Metode gaya (*forced method*) dipakai untuk menghitung gaya dalam (*internal force*) dan reaksi pada struktur tak tentu. Metode ini memiliki sebutan lain yaitu metode fleksibilitas atau deformasi konsisten. Metode ini sangat cocok untuk menganalisa bingkai statis tak tentu dengan satu lantai (*shorery*) dan geometri tak umum seperti bingkai runcing. Penggunaan metode gaya dalam kasus analisa struktur yaitu mencari nilai Derajat Ketidaksesuaian (*Degree of indeterminacy*). Hal ini karena tidak diketahui dalam metode gaya adalah gaya dan momen.

4.4.2 Metode Perpindahan

Berbeda dengan metode gaya, yang tidak diketahui di metode perpindahan (*Displacement Method*) adalah defleksi dan rotasi. Jadi untuk menentukan nilai perpindahan dapat dengan memakai persamaan kesetimbangan. Untuk menganalisa struktur dengan metode perpindahan, terdapat tiga metode yang saling berkaitan satu sama lain.

- a) **Metode Slope Defleksi (*Slope Deflection Method*)**, metode ini dapat untuk menganalisa balok dan rangka statis tertentu dan tak tentu. Pada metode ini, penyebab deformasi disebabkan oleh beban lentur yang dengan pengaruh tegangan aksial dan tegangan geser diabaikan. Semua sambungan rangka diasumsikan rangka kaku.yaitu sumbu antar sambungan tidak mengalami perubahan.
- b) **Metode Distribusi Momen (*Moment Distribution Method*)**, pada dasarnya, metode ini mulai dari mengasumsikan memiliki sambungan tetap. Ini merupakan metode aproksimasi berturut-turut yang dapat dilakukan pada setiap tingkatan akurasi yang diinginkan. Setiap itu, setiap sambungan membuka dan mengunci secara beruntun, momen internal pada sambungan

didistribusi dan diseimbangkan hingga sambungan berputar ke posisi semula.

- c) **Metode Kekakuan Langsung (*Direct Stiffness Method*)**, metode kekakuan langsung merupakan metode analisis matriks. Metode ini dirumuskan ke dalam persamaan kesetimbangan hubungan matriks tunggal. Persamaan perpindahan sendi bebas dapat dipilih secara otomatis dari matriks sistem penuh.

4.4.3 Metode Perkiraan

Menganalisa dengan metode perkiraan (*approximate method*) berguna untuk menentukan gaya dan momen pada elemen struktur yang berbeda dan mendalam untuk mendapatkan desain awal. Berdasarkan desain awal, bisa dengan analisis yang lebih detail sehingga desain berhasil dengan sempurna.

Analisis dengan metode perkiraan dilakukan dengan membuat asumsi struktur secara realistis. Untuk analisis rangka yang menerima beban vertikal, menggunakan titik belok sedangkan metode portal atau kantiliver dipakai untuk rangka yang menerima beban horizontal.

- a) **Metode Portal (*Portal Method*)**, metode portal dipakai untuk menganalisa bingkai beban horizontal.
- b) **Metode Kantilever (*Cantilever Method*)**, metode ini berlaku untuk struktur tingkat tinggi.
- c) **Metode Poin Infleksi (*Points of Inflection Method*)**, metode ini dipakai untuk menganalisa rangka dengan beban virtual. Setiap bingkai direduksi menjadi bentuk statis tertentu dengan cara menambahkan titik infleksi yang memadai.

4.5 Elemen Struktur

4.5.1 Balok

Sebuah balok langsing yang diberi perletakan sederhana akan menghasilkan lenturan. Sebutan masalah lentur diartikan pada studi mengenai tegangan dan deformasi yang timbul pada elemen yang mengalami aksi gaya. Umumnya tegak lurus pada sumbu elemen sehingga salah satu tepi serat mengalami perpanjangan dan tepi serat lainnya mengalami penyusutan. Persamaan sederhana untuk menentukan tegangan lentur pada balok dengan perletakan sederhana adalah:

$$\sigma = My/I_x$$

dimana : σ = tegangan lentur
 M = momen pada sumbu netral
 y = jarak tegak lurus sumbu netral ke tepi
 I_x = momen inersia luasan pada sumbu
 netral x .

4.5.2 Kolom

Selain dinding pemikul beban, kolom juga merupakan elemen vertikal yang sangat banyak digunakan. Umumnya kolom tidak mengalami lentur secara langsung dikarenakan tidak ada beban tegak lurus pada sumbunya. Kolom dikategorikan berdasarkan panjangnya. Kolom pendek adalah kolom yang kegagalannya berupa kegagalan material (ditentukan oleh kekuatan material). Kolom panjang adalah kolom yang kegagalannya ditentukan oleh tekuk, jadi kegagalannya adalah kegagalan karena ketidakstabilan, bukan karena kekuatan.

4.5.3 Pelat

Plat adalah struktur palanar kaku yang secara khas terbuat dari material monolit yang tingginya yang kecil dibandingkan dengan dimensi lainnya. Umumnya dapat dikatakan bahwa pelat

yang terbuat dari material homogen mempunyai sifat yang sama pada segala arah.

4.5.4 Membran

Membran adalah suatu struktur permukaan fleksibel tipis memikul beban terutama melalui proses tegangan tarik. Struktur membran cenderung dapat menyesuaikan diri dengan cara struktur dibebani. Selain itu struktur ini sangat peka terhadap efek aerodinamika dari angin. Efek ini dapat menyebabkan fluttering (getaran). Penstabilan bisa dilakukan dengan memberi gaya pra-tegang.

4.5.5 Cangkang

Cangkang adalah bentuk struktural berdimensi tiga yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan yang lengkung. Beban-beban yang bekerja pada permukaan cangkang diteruskan ke tanah dengan menimbulkan tegangan geser, tarik, dan tekan pada arah dalam bidang (*in-plane*) permukaan tersebut.

4.6 Kestabilan Struktur

Struktur akan mengalami perubahan bentuk pada saat dibebani. Pada struktur stabil, perubahan bentuk yang timbul umumnya kecil, dan akibat gaya internal yang timbul, struktur mempunyai kecenderungan untuk kembali ke bentuk semula apabila bebannya dihilangkan. Pada struktur tidak stabil, perubahan bentuk yang timbul mempunyai kecenderungan untuk terus bertambah selama struktur tersebut dibebani dan berkecenderungan untuk tidak kembali ke bentuk semula. Struktur tidak stabil mudah mengalami keruntuhan secara menyeluruh dan seketika begitu dibebani (Achfas Zacoeb, 2018).

Kestabilan struktur sangat ditentukan oleh konfigurasi elemen-elemen pembentuknya dan sistem penopangannya.

Konfigurasi struktur yang meliputi: banyaknya elemen struktur, cara menyusun dan menyambungkan elemen struktur.

Masalah kestabilan struktur juga bisa timbul dalam situasi lain. Elemen-elemen struktur yang langsing seperti batang yang panjang atau cangkang yang tipis mempunyai potensi kehilangan kestabilannya apabila dibebani gaya tekan.

DAFTAR PUSTAKA

https://hesa.co.id/analisis-struktur/#Tujuan_Analisa_Struktur
https://www.anakteknik.co.id/ish_sagita/articles/4-jenis-metode-pada-analisis-struktur-bangunan theconstructor.org
solutioninn.com

Zacoeb Achfas. 2018. *Konsep Dasar Analisis Struktur*.

BAB 5

SIFAT MEKANIK MATERIAL

Oleh Fatmawaty Rachim

Uji tarik dianggap sebagai metode tes ampuh untuk memahami sifat mekanik logam. Selama pengujian, bahan diuji terhadap beban daya dengan cara lain untuk mengukur kekokohnya. Hasil pengujian elastis sangat penting untuk desain dan perencanaan produk karena itu dapat memberikan informasi tentang kekuatan material. Ini membantu dalam merancang produk yang kokoh dan tahan lama. Pengujian tarik juga berguna dalam melengkapi informasi mengenai kekuatan bahan, dan dalam menentukan spesifikasi bahan. Oleh karena itu, uji tarik sangat bermanfaat karena memungkinkan pengukuran resistensi material terhadap gaya statis yang diterapkan secara perlahan. Bahasa yang menjadi model yang paling umum digunakan dalam pembuatan perangkat lunak adalah pemodelan berorientasi objek. Konsep ini menggunakan objek sebagai model, yang merepresentasikan objek-objek di dunia nyata dan diimplementasikan sebagai perangkat lunak. Pengerjaan tampilan item terletak pada bahasa pemrograman yang diatur artikel, salah satunya adalah bahasa pemrograman Smalltalk. Data beban dan elongasi yang diperoleh dari material selama uji tarik digunakan untuk mengevaluasi kekuatan material selama prosedur pengujian tarik.

Saat ini, industri berkembang pesat karena semakin banyak kebutuhan dan selera masyarakat dan peningkatan kapasitas pengeluaran. Akibatnya, persaingan di industri semakin ketat, sehingga perusahaan dituntut untuk memiliki strategi bersaing. Salah satu strategi yang penting adalah menyesuaikan harga produk dengan kemampuan dan daya beli masyarakat. Harga

produk sangat tergantung pada biaya produksi yang dipengaruhi oleh bagaimana bahan baku digunakan dan bagaimana sesuatu dilakukan. Kualitas produk dan biaya produksi akan menurun sebagai hasil dari praktik kerja yang efektif yang didasarkan pada prinsip efektivitas dan efisiensi. Jika suatu produk tidak memiliki kekurangan dan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan sebelumnya untuk mencapai nilai kegunaan setinggi mungkin sesuai dengan masa pakai produk, maka produk tersebut dianggap memiliki kualitas yang baik. Hal ini seringkali terlihat pada industri manufaktur, di mana produk-produk yang dihasilkan harus optimal agar dapat memenuhi harapan pelanggan dan meningkatkan daya saing.

a. Uji tarik

Uji tarik dilakukan dengan memberikan gaya atau tegangan tarik pada bahan untuk menguji atau mengidentifikasi kekuatan materi tersebut. Penarikan uji dilakukan secara terus menerus dengan menggunakan tegangan aktual eksternal atau perpanjangan sumbu benda uji. Hal ini bertujuan untuk menentukan nilai tarik dengan cara meningkatkan perpanjangan bahan secara teratur hingga terjadi putus. Agar dapat mengukur kekuatan tarik dari suatu bahan saat diberi beban tarik, garis gaya perlu berhimpit dengan garis sumbu bahan agar terjadi pembebanan yang sejajar dengan tarikan lurus. Namun, bila terjadi perpaduan gaya tarik pada sudut yang berimpit, hasilnya akan menjadi gaya lentur. Dalam tes tarik tersebut, hasil pengujian mencatat adanya keterkaitan. Selama uji tarik, transisi antara tegangan dan regangan dibuat. Dalam bidang teknik, mesin uji tarik sering digunakan untuk memastikan sifat mekanik suatu material. Mesin uji lentur terdiri dari beberapa bagian utama, termasuk penginapan, alat penahan contoh, kerangka dan komponen ulet, dan kerangka perkiraan. Uji tarik sering

dilakukan untuk memberikan informasi mendasar tentang kekuatan material dan untuk mendukung spesifikasi material. Pada saat menguji kekuatan tarik suatu benda, beban gaya tarik ditempatkan pada sumbu benda dan bertambah secara terus-menerus, sementara pengamatannya berfokus pada perubahan panjang yang terjadi pada benda uji. seperti terlihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1. Alat uji tarik

<http://alatuji.com/detail/238/33/alat-uji-tarik-utm-dengan-intensitas-400-kn>

b. Tegangan regangan teknik

Salah satu atribut mekanik bahan yang dapat diukur adalah kekuatan tarik, dan ini dapat dihasilkan melalui uji tarik. Dalam uji tarik uniaxial atau satu arah, benda yang diuji diberikan beban atau gaya tarik yang diterapkan dalam satu arah, dan gaya ini terus bertambah secara

bertahap. Seiring dengan peningkatan gaya, benda akan bertambah panjang secara proporsional.

c. Tegangan teknis

Tegangan rata-rata yang dihasilkan selama uji tarik diperoleh dari kurva teoritis tegangan. Hal ini dilakukan dengan membagi beban yang diterapkan dengan luas penampang awal lintang benda uji itu.

(fhianunikoe.blogspot.com)

$$\sigma = \frac{P}{A_o} \text{ (N/mm}^2 \text{)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

P = gaya yang diberikan pada benda uji (N)

Ao = luas penampang awal benda uji (mm²)

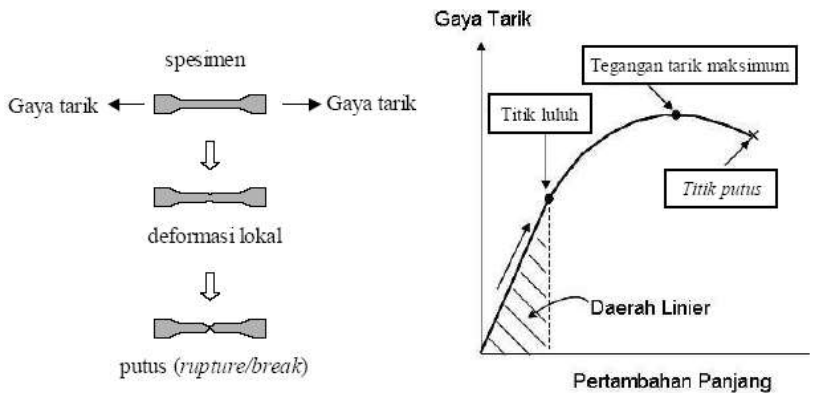
d. Tegangan teknis

Regangan linier rata-rata yang dihitung dengan membagi panjang pengukur spesimen dengan panjang awalnya adalah regangan terukur.

(fhianunikoe.blogspot.com)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L - L_o}{L_o} \dots \dots \dots (2.2)$$

Jika suatu benda uji ditarik terus menerus sampai putus, maka akan dihasilkan sebuah profil tarikan lengkap yang berupa kurva, sesuai dengan gambaran yang dijelaskan pada kalimat tersebut Gambar 5.2. Dalam kalimat tersebut dijelaskan bahwa kurva tersebut memperlihatkan bagaimana hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang dari benda uji. Profil tarikan tersebut sangat penting dalam perancangan suatu produk yang menggunakan bahan tersebut.

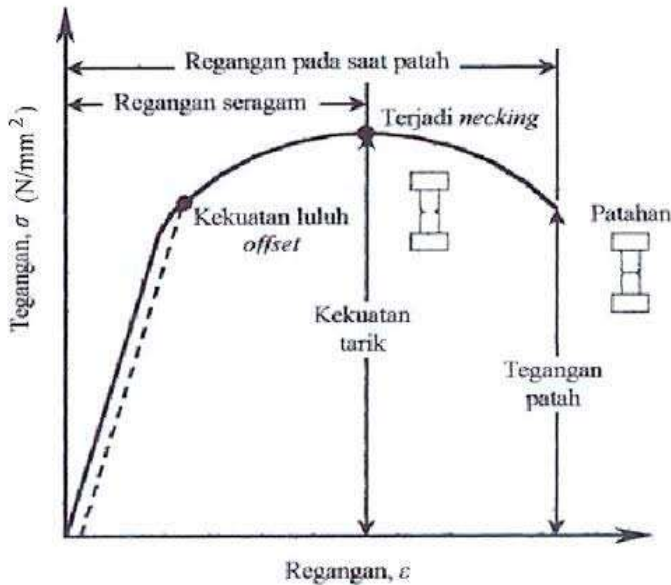


Gambar 5.2. Gambar singkat uji tarik.

<https://zwingly.wordpress.com/2011/03/21/uji-tarik-tensile-test/>

e. Tegangan regangan sejati

Proses regangan tekanan tidak memberikan gambaran yang akurat tentang fitur cacat yang sebenarnya karena tikungan tergantung pada bagian dasar benda uji sementara aspek berubah selama pengujian. Ketika beban mencapai nilai maksimumnya pada uji tarik logam lempung, terjadi penyempitan lokal. Beban yang diperlukan untuk melanjutkan deformasi adalah karena luas penampang spesimen menurun dengan cepat pada tahap ini menurun dengan cepat.



Gambar 5.3. Kurva tegangan-regangan teknis

Tegangan Stres biasanya akan berkurang karena regangan teknik juga mencapai beban maksimum. Namun, pada kenyataannya, logam terus mengeras hingga gagal, meningkatkan tegangan yang diperlukan untuk mempertahankan deformasi. Tekanan asli adalah tumpukan pada detik tertentu dibagi dengan daerah penampang benda uji, A_0 , dimana tumpukan diterapkan.

Rekayasa tegangan-regangan mengacu pada dimensi awal benda uji (luas dan panjang), sedangkan tegangan-regangan yang akurat membutuhkan luas dan panjang aktual pada saat pengukuran. Pada regangan rendah, tidak banyak perbedaan antara kedua kurva, tetapi seiring pengerasan regangan berkembang melampaui titik luluh, perbedaannya menjadi lebih jelas. Area necking (pengurangan penampang)

memiliki dampak yang lebih besar pada perbedaan ini. Spesimen sebenarnya mampu menahan penurunan beban dalam rekayasa tegangan-regangan karena luas awal A_0 konstan ketika tegangan $= P / A_0$ dihitung. Luas aktual selalu mengecil hingga terjadi patahan pada kurva tegangan-regangan yang sebenarnya, dan benda uji mampu menahan peningkatan tegangan akibat $\sigma' = P / A_i$. (fhianunikoe.blogspot.com)

Persamaan untuk menghubungkan antara tegangan-regangan sejati dan tegangan-regangan teknis adalah sebagai berikut: (fhianunikoe.blogspot.com)

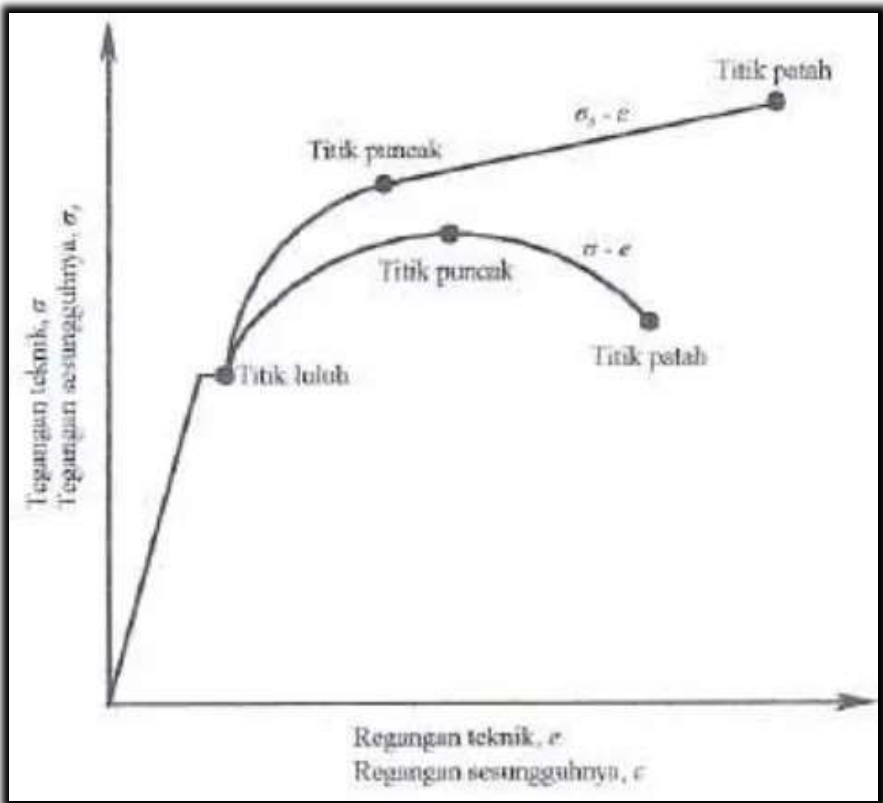
$$\sigma' = \sigma (1 + \epsilon), (N/mm^2) \dots (2.3)$$

$$\epsilon' = \ln (1 + \epsilon), (\%) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

σ' = tegangan sejati (N/mm^2)

ϵ' = regangan sjati (%)



Gambar 5.4. Perbandingan antara kurva tegangan regangan teknik
Dengan kurva tegangan regangan sejati

f. Kekuatan tarik

Meskipun Uji tarik biasanya menghasilkan kekuatan tarik atau kekuatan tarik maksimum (kekuatan tarik ultimat), tetapi nilai ini sebenarnya kurang penting untuk kekuatan material. Beban maksimum dimana bahan masih dapat menahan beban harus dikaitkan dengan kekuatan tarik untuk bahan elastis dalam kondisi sangat terbatas. Namun, ketika digunakan dalam kondisi tegangan yang

lebih kompleks, nilai kekuatan tarik tersebut kurang berguna dalam menentukan kekuatan material. Oleh karena itu, seringkali rancangan struktur logam elastis didasarkan pada kekuatan luluhnya daripada kekuatan tariknya. Namun, karena lebih mudah dan praktis untuk menggunakan kekuatan tarik dalam menentukan kekuatan material, metode ini masih lebih banyak digunakan.

Kekuatan tarik didefinisikan sebagai perbandingan antara beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji dan luas penampang lintang awal benda tersebut.

(<http://belajar.metalurgi.blogspot.com>)

$$\sigma_u = \frac{P_{maks}}{A_o}, (N/mm^2).....(2.5)$$

Hubungan Adalah umum untuk pelebaran empiris terjadi antara kekuatan tarik dan sifat mekanik lainnya seperti kekerasan dan kekuatan lelah digunakan. Namun, korelasi ini hanya berlaku untuk beberapa jenis material yang telah diteliti.

g. *Pemodelan UML (Unified Modeling Language) dan Visual Works Smalltalk*

Pasar perangkat lunak telah mengalami pertumbuhan yang signifikan karena adanya sistem informasi berbasis komputer, namun hal ini juga menantang dunia rekayasa perangkat lunak untuk mengembangkan metode rekayasa yang dapat memangkas waktu dan biaya produksi sekaligus meningkatkan kualitas produk. Dalam pemodelan rekayasa perangkat lunak, UML adalah bahasa visual standar yang dapat mengurangi biaya dan waktu sekaligus meningkatkan kualitas dan produktivitas. Penggunaan UML juga dapat mengatasi kerumitan dalam merancang arsitektur sistem perangkat lunak yang akan dibuat.

UML (*Brought Displaying Language*) adalah bahasa demonstrasi umum yang digunakan untuk penentuan, persepsi, peningkatan, dan dokumentasi informasi dan konten kerangka pemrograman. UML bertujuan untuk menjadi bahasa standar yang diakui untuk merancang, mendefinisikan, mengkonfigurasi, mendokumentasikan, dan memfasilitasi pengembangan sistem perangkat lunak lebih lanjut.

Ada beberapa cara untuk memandang Smalltalk. Meskipun berbeda dengan bahasa pemrograman lainnya, Smalltalk dapat dianggap sebagai bahasa pemrograman atau mungkin juga tidak. Namun, sebenarnya Smalltalk jauh lebih dari sekadar bahasa pemrograman. Berikut adalah beberapa interpretasi yang mungkin : (*Hunt J., JayDee Technology Ltd*)

1. Smalltalk adalah sebuah bahasa pemrograman yang berfokus pada orientasi objek.
2. Smalltalk juga dapat dianggap sebagai lingkungan pemrograman.
3. Selain itu, Smalltalk juga merupakan hasil dari pengembangan lingkungan pemrograman.

Faktanya, Smalltalk adalah sebuah program virtual karena obyek yang disimpan dalam program tersebut dijadikan gambar (*image*). Walaupun bahasa pemrogramannya berbeda dari bahasa pemrograman lainnya, hal inilah yang membuat Smalltalk unik dibandingkan dengan program-program lainnya.

Gambar (*image*) tersebut tidak hanya menyimpan kode bahasa pemrogramannya, tetapi juga menyimpan lingkungan (*environment*) yang digunakan pada saat itu. Hal ini membuat gambar tersebut dapat kompatibel dengan sistem operasi (sistem operasi) yang digunakan, dan inilah yang mengubah bahasa secara signifikan.

pemrograman lainnya, seperti yang disebutkan oleh Hunt J. dari JayDee Technology Ltd.

h. Apa itu material

Material adalah suatu substansi atau unsur yang membentuk suatu objek dan memiliki sifat dan karakteristik khusus. Kehadiran material telah menjadi penanda kemajuan dalam sejarah dan peradaban manusia, yang diwakili oleh zaman batu, zaman perunggu, dan zaman besi. Di era saat ini, material memegang peran penting di banyak bidang, termasuk dalam kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kebanyakan mesin atau struktur bergantung pada sifat-sifat material yang membentuknya.

i. Material teknik

Material teknik merujuk pada bahan atau unsur dasar yang membentuk suatu objek dalam bidang teknik, seperti perancangan, industri manufaktur, simulasi, dan rekayasa. Dalam memproduksi produk yang memenuhi kebutuhan, penting untuk memahami keterkaitan antara struktur, sifat, pemrosesan, dan kinerja material dan mengoptimalkannya. Karena itu, pemilihan material yang tepat dan sesuai perlu diperhatikan.

Struktur material berkaitan dengan sintesis bagian-bagian dalam materi. Struktur nano, yang terdiri dari atom, elektron, dan molekul, membentuk struktur material pada skala atom. Struktur material terdiri dari kelompok atom yang membentuk struktur dalam skala yang lebih besar mikroskopik. Struktur mikroskopik ini kemudian membentuk struktur makroskopik yang dapat diamati tanpa bantuan alat khusus.

j. Klasifikasi material teknik

Berdasarkan konvensi, terdapat Logam, polimer, dan keramik adalah tiga jenis bahan utama yang

dikelompokkan dan diklasifikasikan menurut susunan atom dan sifat kimianya. Jenis bahan lainnya termasuk komposit, semikonduktor, dan biomaterial selain ketiga kategori tersebut.

1. Logam



Gambar 5.5. Logam. <https://www.idntimes.com/science/discovery/nisa-widya-amanda/logam-terkuat-di-dunia>

Atom logam, unsur paling melimpah di tabel periodik, membentuk bahan logam. Atom logam terikat satu sama lain dalam ikatan logam, dimana elektron valensi dapat bergerak bebas. Karena itu, bahan ini buram dan bagus dalam mentransfer panas dan listrik. Meskipun kekuatannya relatif tinggi, logam juga rentan terhadap deformasi. Beberapa contoh bahan logam adalah Besi, Baja, Aluminium, Tembaga, Emas, Perak, dan lain-lain sebagainya.

2. Polimer



Gambar 5.6. Polimer. <http://twineer.com/AbBl>

Klasifikasi material polimer meliputi elastis dan plastik. Polimer biasanya merupakan senyawa organik yang terdiri dari karbon, oksigen, dan hidrogen. Molekul polimer memiliki ukuran yang besar karena ketiga unsur tersebut tersusun dalam rantai. Ikatan kovalen menyatukan atom-atom dalam rantai polimer, sedangkan ikatan van der Waals menyatukan rantai. Polimer umumnya memiliki ketebalan yang rendah, mudah beradaptasi, dan lentur.

3. Keramik



Gambar 5.7. Keramik

<https://www-daftarharga.blogspot.com/2018/05/daftar-harga-keramik-lantai.html>

Material keramik terdiri dari senyawa antara ikatan kovalen dan ionik antara logam dan nonlogam. Biasanya, oksida, nitrida, dan karbida membentuk bahan keramik. Contoh bahan artistik termasuk kaca, beton, dan produksi gerabah yang diproduksi menggunakan lumpur. Sebagian besar bahan keramik adalah isolator panas dan listrik, dapat menahan suhu tinggi, dan keras tetapi rapuh.

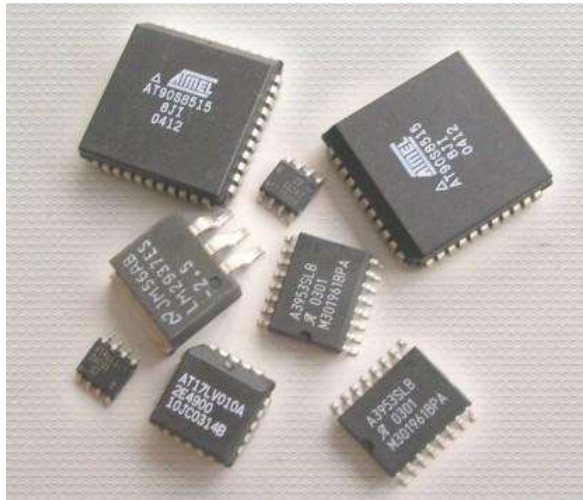
4. Komposit



Gambar 5.8. Komposit <http://twineer.com/AbW9>

Sejumlah jenis material yang berbeda digabungkan untuk membentuk material komposit. Fiberglass yang menggunakan material polimer sebagai matriks dan fiber glass sebagai penguat merupakan salah satu contoh yang sering dijumpai. Sifat-sifat dari masing-masing komponen harus bekerja sama untuk menciptakan efek sinergis saat bahan-bahan ini digabungkan. Dalam kasus fiberglass, komponen polimer berkontribusi pada fleksibilitas material dan kemudahan pembentukannya, sedangkan serat kaca berkontribusi pada kekuatannya yang tinggi.

5. Semikonduktor



Gambar 5.9. Semikonduktor. <http://twineer.com/Abar>

Material Semikonduktor dapat memimpin daya yang berada di tengah antara pemandu dan pelindung. Selain itu, bahkan dalam jumlah kecil, bahan ini sangat sensitif terhadap atom pengotor. Dalam ruang yang sangat kecil, atom pengotor harus dikontrol. Pengembangan sirkuit terpadu (IC), yang telah merevolusi banyak perangkat elektronik dan komputer, telah dibantu secara signifikan oleh bahan semikonduktor. Misalnya, penggunaan ponsel sedang meningkat saat ini. kecil ukurannya dan semakin canggih fungsinya berkat penggunaan material semikonduktor.

6. Bioaterial



Gambar 5.10. Bioaterial. <http://twineer.com/AblQ>

Material biomaterial digunakan sebagai pengganti bagi bagian tubuh yang rusak atau tidak berfungsi setelah dicangkok atau ditanamkan (implanted) ke dalam tubuh manusia atau hewan. Material ini harus bebas dari zat berbahaya dan beracun yang harus sesuai dengan jaringan sel ketika bereaksi dengan tubuh. Penerapan biomaterial tidak boleh menyebabkan reaksi biologis yang merugikan dalam hal ini. Salah satu jenis biomaterial yang digunakan sebagai pengganti tulang buatan misalnya stainless steel yang dilapisi titanium.

k. Sifat-sifat material

Kemampuan material atau komponen untuk menahan beban, gaya, dan energi tanpa mengalami kerusakan merupakan salah satu dari sekian banyak sifat yang dimiliki material.

Pembagian sifat-sifat secara umum

A. Sifat mekanik

Sifat mekanik merupakan sifat yang menunjukkan kekokohan material ketika material tersebut terkena beban mekanik, baik dalam keadaan diam maupun bergerak, dan contoh sifat mekaniknya adalah:

1. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan material merujuk pada kemampuan suatu material untuk menahan tegangan tanpa mengalami patah. Terdapat beberapa jenis kekuatan yang dibagi berdasarkan jenis beban yang bekerja pada material tersebut, seperti kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lentur.

2. Kekakuan (*stiffness*)

Dapat diartikan bahwa kekakuan material adalah kapasitas material untuk menahan beban atau tegangan tanpa mengalami deformasi.

3. Kekenyalan (*elasticity*)

Definisi dari elastisitas material adalah kemampuan bahan untuk menahan tegangan tanpa mengalami deformasi permanen setelah beban dihilangkan, artinya material dapat kembali ke bentuk dan ukuran asal setelah mengalami deformasi sementara.

4. Plastisitas (*plasticity*)

Plastisitas adalah kemampuan suatu bahan untuk menahan deformasi plastis atau deformasi permanen tanpa mengalami kerusakan. Bahan ulet atau plastisitas tinggi adalah bahan yang mudah berubah bentuk di bawah tekanan plastis, sedangkan bahan ulet atau plastisitas tinggi sulit

mengalami deformasi plastik disebut sebagai bahan getas atau memiliki plastisitas rendah.

5. Keuletan (*ductility*)

Ductile adalah sifat material yang memiliki kemampuan menahan tarikan dan lentur dengan bentuk yang dapat ditarik seperti kabel. Material yang bersifat ductile harus memiliki kekuatan dan fleksibilitas yang cukup. Keuletan material biasanya diukur dengan persentase perubahan ukuran dalam periode waktu tertentu. Sifat ini sering digunakan dalam teknik industri, dan beberapa bahan yang memiliki sifat ductile antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dan sebagainya.

6. Ketangguhan (*toughness*)

Ini mengacu pada kapasitas material untuk menahan sejumlah penyerapan energi.

7. Kegetasan (*brittleness*)

Kerapuhan adalah sifat bahan yang berkebalikan dengan keuletan. Sifat ini menyebabkan material mudah pecah dengan sedikit pergeseran permanen. Material yang rapuh juga mudah mengalami kerusakan saat terkena beban regangan tanpa memberikan regangan yang signifikan. Contohnya adalah besi cor yang termasuk dalam bahan yang memiliki sifat kerapuhan.

8. Kelelahan (*fatigue*)

Fatigue adalah kecenderungan logam untuk patah di bawah beban dinamis berulang yang jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

9. Melar (*creep*)

Creep adalah kecenderungan logam untuk mengalami deformasi plastis ketika mengalami beban yang relatif konstan untuk waktu yang lama pada suhu tinggi.

10. Kekerasan (*hardness*)

Sifat material yang mampu menahan tekanan atau penetrasi disebut juga ketahanan terhadap aus atau wear resistance, yang mencerminkan kemampuan material untuk tahan terhadap pengikisan atau pengikisan.

B. Sifat fisik-sifat kimia

Sifat-sifat suatu bahan yang berkaitan dengan sifat atau kondisi fisiknya dikenal sebagai sifat fisik dan kimianya. Contoh properti ini termasuk yang berikut:

1. Temperatur di mana suatu zat berubah dari keadaan padat menjadi cair disebut titik lebur.
2. Kemampuan suatu bahan dalam menghantarkan panas dan listrik dikenal sebagai konduktivitas termal dan listrik.
3. Massa jenis mengacu pada massa suatu bahan dalam suatu volume tertentu.
4. Warna adalah sifat yang membedakan bahan berdasarkan spektrum cahaya yang dipantulkan atau diserap oleh bahan tersebut.
5. Kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap korosi atau karat disebut ketahanan korosi.

C. Sifat teknologi

Sifat teknologi adalah sifat yang memudahkan suatu bahan untuk diproses lebih lanjut. Beberapa contoh sifat teknologi adalah:

1. Machinability adalah kapasitas material untuk dipotong dengan alat pemotong seperti pahat, gergaji, kikir, dan gerinda. Ketika ada gerakan relatif antara benda kerja dan alat pemotong, proses pemotongan berlangsung.
2. Kapasitas bahan untuk larut dan mengisi bentuk tanpa ketidaksempurnaan seperti istirahat, istirahat, porositas, atau isolasi disebut castability.
3. Kemampuan suatu bahan untuk disambung menggunakan panas tanpa cacat seperti tahap keras, patah, atau bengkok disebut kemampuan las.
4. Kemampuan bentuk mengacu pada kapasitas material untuk mengalami deformasi plastis tanpa penipisan dan di bawah beban rendah. Penyempitan penampang yang disebabkan oleh deformasi plastis dikenal sebagai necking..

D. Pengujian material

Kapasitas material untuk menahan deformasi plastis tanpa terjadi necking dan dengan beban yang rendah disebut kemampuan pembentukan. Necking merujuk pada penyempitan penampang saat terjadi deformasi plastis.

Pengujian pada material Secara umum terdiri dari dua bagian:

1. Pengujian Yang Mengerikan Pengujian ini menimbulkan kerusakan pada benda kerja, selanjutnya pengujian ini membutuhkan contoh pengujian yaitu salinan benda kerja yang terbuat dari bahan sejenis.
2. Uji tak rusak tidak memerlukan benda uji dan dapat dilakukan langsung pada benda kerja karena

tidak menimbulkan kerusakan. Cacat pada permukaan atau bawah permukaan benda kerja dapat ditemukan dengan menggunakan tes ini.

l. Baja karbon rendah

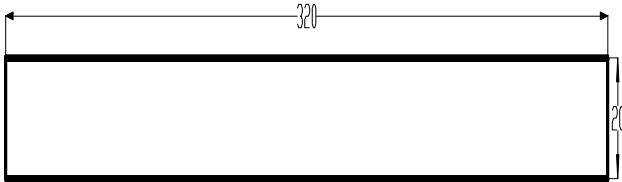
Baja jenis ini sangat reaktif, dan bila terkena air, oksigen, dan ion, dengan cepat berubah kembali menjadi oksida besi, juga dikenal sebagai karat. Kekuatan takik dan kepekaan terhadap retak las mempengaruhi kemampuan las baja karbon rendah. Dengan mengurangi jumlah karbon C dan meningkatkan jumlah Mn, baja karbon rendah dapat memiliki kekuatan torehan yang lebih tinggi. Ketika rasio harga Mn/C naik, suhu di mana kekuatan rendah bertemu dengan kekuatan takik akan menurun.

Baja ASTM SA36 adalah baja lunak keseluruhan yang terdiri dari organisasi sintesis karbon (C), mangan (Mn), silikon (Si), belerang (S), dan fosfor (P). Baja ini digunakan untuk aplikasi primer dan pengembangan umum, misalnya bentang, plat laut, tangki minyak, dan lain-lain. Meskipun baja ASTM SA36 termasuk dalam baja karbon rendah, baja ini tidak dapat diquenching dan ditemper untuk mengeras atau melakukan heat treatment. Untuk mendapatkan kekerasan pada baja ini, harus diselesaikan melalui pemadatan permukaan, misalnya karburisasi, nitridasi atau karbonitridasi. Hingga 500 Brinell (kurang-lebih) dapat menjadi kekerasan permukaan. 50 HRC) pada kedalaman permukaan 10 hingga 20 mikron bergantung pada batas interaksi.

m. Uji lengkung

Uji lengkung (*bending test*) adalah suatu metode pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas material secara visual. Uji lengkung juga dapat digunakan untuk

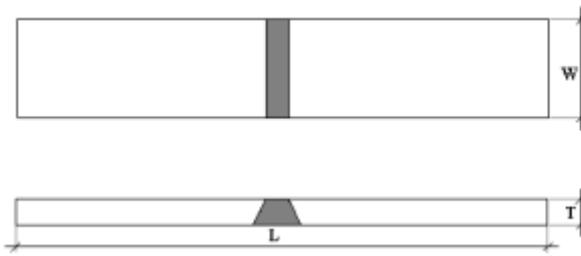
mengukur kekuatan material di bawah beban dan keserbagunaan sambungan las yang sangat banyak pada logam yang dilebur maupun pada zona pemanasan yang terkena panas pada saat pengelasan (HAZ).



Gambar 5.11. Dimensi dan ukuran spesimen untuk uji lengkung

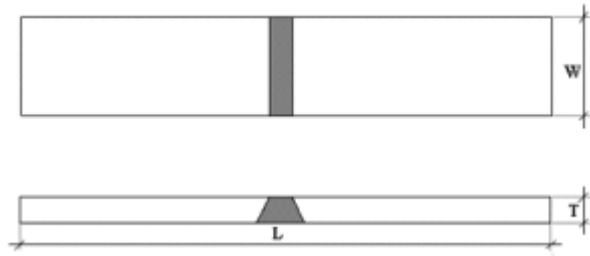
Standart dimensi percobaan

Root bend



Gambar 5.12. Spesimen root transversal bend tampak atas dan samping. <https://navale-engineering.blogspot.com/2012/04/uji-bahan-uji-lengkung-bending-test.html>

Face bend



Gambar 5.13. Spesimen face transversal bend tampak atas dan samping

DAFTAR PUSTAKA

- Azwinur, Syukran, H. 2018. "Kaji Sifat Mekanik Sambungan Las Butt Weld Dan," *Jurnal Sintek*, 12(1), hal. 9–16. Tersedia pada:
<https://jurnal.umj.ac.id/index.php/sintek/article/view/2601>.
- Hidayat, W. 2019. "Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material," *Jurnal Material Teknik*, 4, hal. 1–19.
- Salindeho, R.D., Soukota, J. dan Poeng, R. 2018. "Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material," *Jurnal J-Ensitem*, 3(1), hal. 1–11.
- Satyarini, E. dan Bawono, B. 2013. "Optimalisasi Sifat-Sifat Mekanik Material S45C," hal. 1–10.
- T.Sofyan, B., 2011. *Ets World*. [Online]
<https://www.etsworlds.id/2017/10/klasifikasi-dan-jenis-material-teknik.html> [Diakses 29 4 2023].

BAB 6

ANALISIS TEGANGAN (STRESS)

Oleh Tukimun

6.1 Pendahuluan

Mekanika bahan merupakan bagian dari ilmu mekanika terapan yang membahas tentang kekakuan dari benda-benda padat ataupun pejal akibat beban luar atau pembebanan yang bekerja pada benda tersebut. Dalam beberapa buku teks lain, mekanika bahan dikenal dengan nama kekuatan bahan (*strength of materials*) dan mekanika benda terdeformasi (*mechanics of deformable bodies*). Tujuan dari mempelajari Mekanika bahan adalah agar dapat mengetahui sifat-sifat dari bahan yang akan digunakan dalam mendesain konstruksi, baik dari segi keamanan dan kekuatan bahan itu sendiri.

Sejarah mengenai mekanika bahan dan pengembangannya merupakan suatu perpaduan yang sangat menarik antara teori dan eksperimen yang telah dilakukan lama sebelumnya oleh para ilmuwan beberapa abad yang lalu. Penelitian dalam mekanika bahan dimulai sejak era Leonardo Da Vinci (1452 – 1519) dan Galileo Galilei (1564 – 1642) yang berhasil menentukan kekuatan kawat, batang dan balok melalui eksperimen, walaupun mereka tidak berhasil mengembangkan teori-teori yang memadai menurut ukuran sekarang yang dapat menjelaskan hasil pengamatan dan eksperimen dari mereka.

Robert Hooke (1635 – 1703) adalah ilmuwan ternama dari Inggris yang berhasil sebagai orang pertama yang menyelidiki sifat-sifat elastis dari bahan, dengan cara menguji

beraneka ragam bahan yang memiliki sifat demikian dengan mengukur regangan dari kawat-kawat panjang yang menyangga beban-beban tersebut dan memperhatikan pemanjangan. Dimana menurut Hooke bahwa, pemanjangan yang terjadi selalu memperlihatkan perbandingan (*proportion*) terhadap berat beban yang bersangkutan yang menyebabkan pemanjangan-pemanjangan tersebut, sehingga dapat dikatakan bahwa Hooke berhasil membuktikan adanya hubungan linear antara beban-beban yang bekerja pada kawat dan pemanjangan yang dihasilkan.

Leonhard Euler (1707 – 1783) yang berhasil menggunakan teori matematika pada kolom yang dalam hal ini adalah perhitungan beban kritis teoritis kolom yang kemudian menjadi dasar dari teori kolom (*Column Theory*) saat ini, walaupun sebelumnya banyak yang tidak menggunakan hasil penemuan dari Euler ini.

Thomas Young (1773 – 1829) adalah ilmuwan asal Inggris yang memperkenalkan ide modulus elastisitas dalam penyelidikan terhadap tarik dan tekan pada batang prismatis. Walaupun modulus elastisitasnya tidak sama dengan yang digunakan pada saat ini karena hal tersebut menyangkut sifat-sifat dari batang dan juga bahan baku yang digunakan. Simeon Denis Poisson (1781 – 1840) adalah seorang ilmuwan matematika dari Perancis yang mencoba menghitung angka ini dengan suatu teori molekuler dari bahan-bahan.

6.2 Sifat Mekanis Bahan

Setiap material atau bahan memiliki sifat-sifat mekanis yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya. Sifat-sifat mekanis dari bahan-bahan tersebut, dapat diketahui dengan melakukan pengujian terhadap sifat mekanis dari material tersebut. Ada beberapa sifat mekanis dari bahan yang dapat

menjelaskan bagaimana reaksi dari bahan apabila dibebani dengan beban tertentu. Sifat-sifat mekanis bahan antara lain :

1. Kekakuan (*stiffness*)

Kekakuan adalah sifat bahan yang mampu renggang pada tegangan yang tinggi tanpa diikuti adanya regangan yang besar atau merupakan ketahanan bahan terhadap deformasi. Kekakuan merupakan fungsi dari modulus elastisitas bahan (E), sehingga material dengan nilai modulus elastisitas yang tinggi akan mengalami deformasi yang lebih kecil terhadap beban atau mempunyai nilai kekakuan yang tinggi dibandingkan dengan bahan dengan nilai modulus elastisitas yang lebih rendah.

2. Kekuatan (*strength*)

Kekuatan adalah sifat bahan yang ditentukan oleh tegangan yang paling besar dari bahan yang mampu renggang sebelum mengalami kerusakan. Kekuatan bahan dapat didefinisikan oleh batas proporsional sampai tegangan maksimum dari sebuah bahan. Namun tidak ada satu nilai yang dapat mendefinisikannya, karena perilaku bahan sangat tergantung pada beban dan sifat pembebanan yang bekerja.

3. Elastisitas (*elasticity*)

Elastisitas adalah sifat bahan yang dapat kembali ke bentuk semula setelah mengalami pembebanan. Nilai elastisitas bahan sangat sulit untuk ditentukan secara tepat, sehingga nilai ini hanya dapat ditentukan berdasarkan batas elastisitasnya.

4. Keuletan (*ductility*)

Keuletan atau keliatan adalah sifat bahan yang mampu mengalami deformasi akibat adanya beban yang bekerja, sebelum mengalami kerusakan. Dalam perencanaan struktur, elemen atau komponen struktur diharapkan direncanakan dengan sebuah tingkat daktilitas tertentu

dengan tujuan untuk menjamin struktur tidak langsung mengalami gagal struktur (collapse) apabila menerima beban yang bekerja di luar kombinasi beban yang direncanakan. Struktur yang berperilaku liat pada umumnya apabila mengalami pembebanan pada batas-batas tertentu, akan menunjukkan adanya tanda-tanda kerusakan yang dapat dijadikan sebagai peringatan untuk pembatasan beban yang bekerja pada suatu struktur tertentu.

5. Kegetasan (*brittleness*)

Kegetasan merupakan sifat bahan yang menunjukkan tidak terjadinya proses deformasi mekanisme plastis pada bahan tersebut, sehingga tidak terdapat tanda-tanda kerusakan melainkan bahan langsung mengalami kerusakan total atau patah. Dalam perencanaan elemen struktur, sifat getas bahan harus dibatasi sehingga elemen struktur tidak berperilaku getas. Pada umumnya, elemen struktur yang direncanakan getas apabila mengalami peningkatan beban dalam jumlah tertentu, akan langsung mengalami kerusakan total tanpa didahului dengan adanya tanda-tanda kerusakan seperti pada struktur daktail.

6. Kelunakan (*malleability*)

Kelunakan adalah sifat bahan yang mengalami deformasi plastis terhadap beban tekan yang bekerja sebelum mengalami kerusakan atau patah.

7. Ketangguhan (*toughness*)

Ketangguhan adalah sifat bahan yang dapat menahan beban kejut dalam tingkat tinggi. Apabila sebuah bahan menerima beban kejut, maka sebagian beban akan diserap dan sebagian lagi akan dipindahkan.

8. Kelenturan (*resilience*)

Kelenturan adalah sifat bahan yang mampu menerima beban kejut tingkat tinggi tanpa menimbulkan tegangan yang

berlebih pada kondisi batas elastis. Hal ini menunjukkan bahwa energi yang diserap selama proses pembebanan berlangsung disimpan dan dikeluarkan, apabila bahan tidak dibebani.

6.3 Tegangan dan Regangan Normal

6.3.1 Tegangan Normal

Apabila terdapat sebuah batang prismatic yang dibebani oleh gaya-gaya aksial P pada ujung-ujung batang seperti dalam gambar di bawah ini, maka gaya-gaya aksial tersebut akan menimbulkan gaya tarik yang sama rata pada penampang batang, sehingga batang tersebut akan mengalami kondisi tarik (*tension*). Untuk kondisi sebaliknya, dimana gaya P yang bekerja menekan batang, maka batang tersebut akan mengalami kondisi tekan (*compressive*).



Gambar 6.1. Batang prismatic yang mengalami tarik

Intensitas gaya yang bekerja pada batang prismatis di atas disebut dengan tegangan (*stress*) yang pada umumnya dinyatakan dengan notasi huruf Yunani σ (sigma). Dengan menganggap bahwa tegangan yang bekerja pada struktur atau elemen struktur, terdistribusi secara merata pada seluruh penampang batang, maka resultan yang terjadi sama dengan hasil perkalian antara intensitas tegangan dengan luas penampang batang (A). Dengan demikian, secara umum persamaan untuk tegangan yang terjadi pada struktur atau elemen struktur tersebut, dapat dituliskan dalam bentuk :

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

Dimana :

δ = tegangan yang terjadi pada penampang batang.

P = gaya tarik atau tekan yang bekerja pada penampang batang.

A = luas penampang batang.

Apabila tegangan yang terjadi disebabkan oleh gaya tarik P, maka tegangan tersebut adalah tegangan tarik (*tensile stress*) tetapi, apabila arah gaya P dibalik dan menyebabkan batang mengalami tekan, maka tegangan yang terjadi adalah tegangan tekan (*compressive stress*).

Karena tegangan yang bekerja dalam arah tegak lurus terpotong, maka tegangan yang terjadi berbentuk tegangan normal. Dengan demikian tegangan normal yang terjadi pada struktur atau elemen struktur dapat berupa tegangan tarik atau tegangan tekan.

6.3.2 Regangan Normal

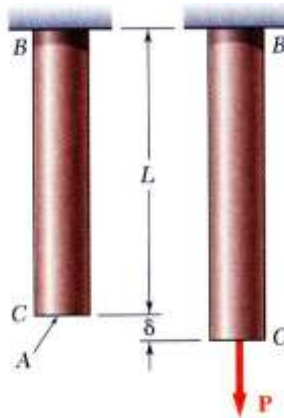
Apabila sebuah batang mengalami perubahan bentuk yang dalam hal ini berupa pertambahan ataupun pengurangan panjang, akibat beban tarik atau beban tekan yang bekerja pada batang tersebut, maka batang tersebut mengalami regangan (*strain*). Pada umumnya regangan dinyatakan dalam notasi huruf Yunani ε (epsilon). Pada gambar di bawah ini, terlihat sebuah batang BC yang mengalami beban aksial P pada luasan penampang batang (A). Akibat adanya beban aksial yang bekerja tersebut, maka batang BC mengalami pertambahan panjang sebesar (δ), sehingga regangan yang terjadi dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\delta = \frac{\delta}{L}$$

Dimana :

ε = pertambahan atau pengurangan panjang.

L = panjang batang sebelum mengalami regangan.



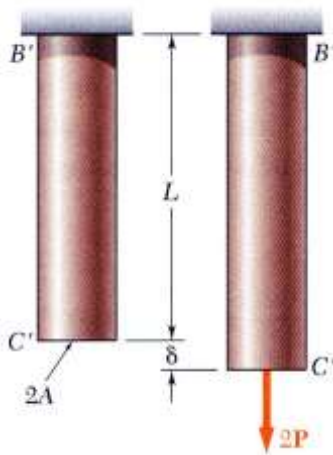
Gambar 6.2. Regangan normal pada batang BC (Beer et.al, 2002)

Apabila pada batang BC, terjadi peningkatan beban aksial sebesar $2P$, maka regangan yang terjadi seperti dalam gambar di bawah ini, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\sigma = \frac{2P}{2A}$$

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

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

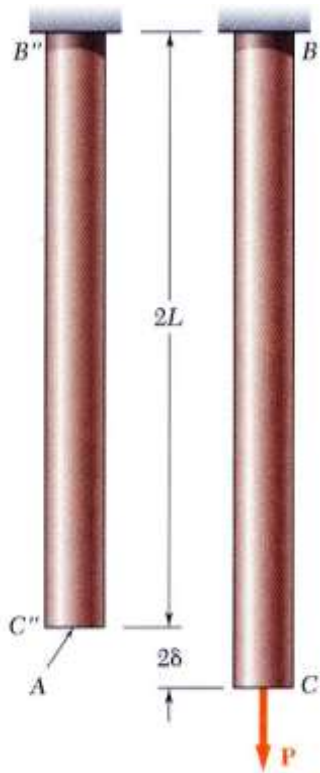


Gambar 6.3. Regangan pada batang BC akibat penambahan beban (Beer et.al, 2002)

Dengan perilaku yang sama, apabila beban aksial bekerja pada batang BC dengan panjang yang berbeda yaitu $2L$, maka perpanjangan batang yang terjadi akibat beban P sebesar 2δ . Dengan demikian nilai regangan yang terjadi pada batang BC, dapat diekspresikan seperti dalam gambar dan persamaan di bawah ini :

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

$$\varepsilon = \frac{2\delta}{2L} = \frac{\delta}{L}$$



Gambar 6.4. Regangan pada batang BC dengan panjang $2L$ (Beer et.al, 2002)

Berdasarkan kondisi-kondisi di atas, dapat disimpulkan bahwa bentuk regangan dan deformasi menunjukkan adanya pengaruh perubahan panjang pada suatu material. Dimana material yang mengalami gaya tekan maupun tarik, akan mengalami perubahan panjang (δ). Pada beberapa material tertentu seperti karet misalnya, yang digunakan sebagai elastomer pada struktur jembatan atau gedung tahan gempa, apabila dibebani dengan beban yang kecil, maka deformasi yang terjadi akan cukup besar, berbeda dengan material lain

seperti baja yang bersifat kaku, apabila menerima beban yang bernilai sama namun deformasi yang terjadi relatif lebih kecil.

Selain itu, seperti halnya dengan tegangan, maka dalam regangan mengenal adanya konsep regangan tarik, apabila batang mengalami pertambahan panjang akibat gaya tarik P dan regangan tekan, apabila batang mengalami pengurangan panjang akibat gaya tekan P .

Regangan (ε) disebut dengan regangan normal (*normal strain*) apabila berhubungan dengan tegangan normal (*normal stress*). Regangan normal merupakan perbandingan antara dua ukuran panjang, sehingga regangan merupakan besaran yang tidak berdimensi (*dimension less quantity*) dan dinyatakan sebagai bilangan murni yang tidak bergantung pada suatu sistem satuan apapun.

Contoh 6.1 :

Sebuah batang baja berdiameter 25 mm² dengan panjang 3 meter, mengalami gaya tarik sebesar 40 kN. Apabila akibat gaya tarik tersebut, batang baja tersebut mengalami pertambahan panjang sebesar 1,2 mm maka hitunglah tegangan dan regangan tarik yang terjadi pada batang baja tersebut !

Penyelesaian :

Tegangan pada batang :

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{40 \times 10^3}{0,25 \times \pi \times 25^2} \\ &= 81,4873 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Regangan pada batang :

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

$$\begin{aligned}
 &= \frac{12}{3000} \\
 &= 0,0004
 \end{aligned}$$

6.3.3 Diagram Tegangan dan Regangan

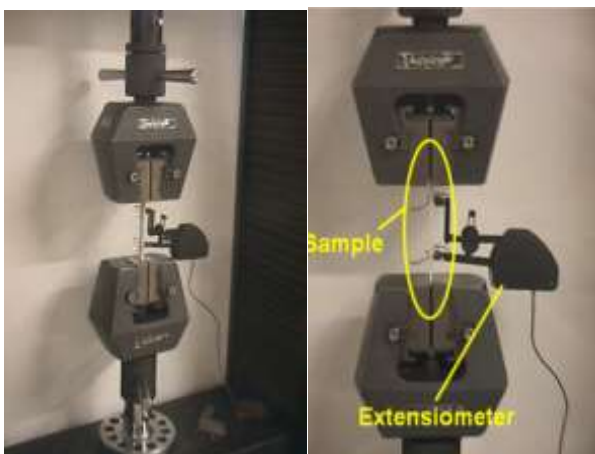
Sifat-sifat mekanik dari material yang digunakan dalam bidang konstruksi, pada umumnya didapatkan berdasarkan hasil pengujian di laboratorium yang dilakukan pada spesimen contoh bahan tertentu yang mempunyai ukuran lebih kecil dari ukuran sebenarnya. Spesimen yang dibuat sebagai bahan contoh pengujian, biasanya menggunakan skala model atau berdasarkan standar yang berlaku.

Pengujian material di laboratorium (materials testing) dilakukan dengan peralatan uji tertentu, yang mampu memberikan pembebanan pada spesimen contoh mewakili kondisi pembebanan yang sebenarnya. Agar hasil-hasil pengujian dapat dibandingkan dengan mudah, maka dimensi dari spesimen contoh dan metode pengujian yang digunakan, harus mengikuti standarisasi yang berlaku.

Sebagai contoh standarisasi metode pengujian spesimen dalam dunia konstruksi telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) diantaranya, SNI 07-2529-1991 tentang metode pengujian kuat tarik baja beton, SNI 03-3399-1994 tentang metode pengujian kuat tarik kayu di laboratorium dan lain sebagainya.

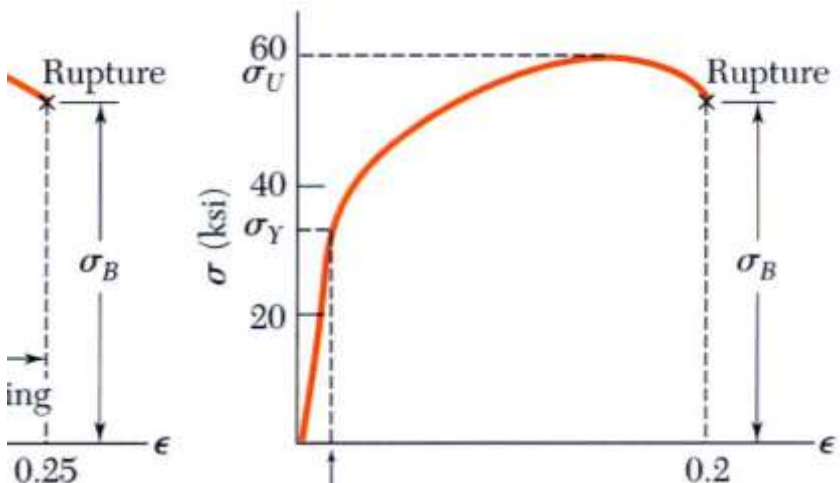


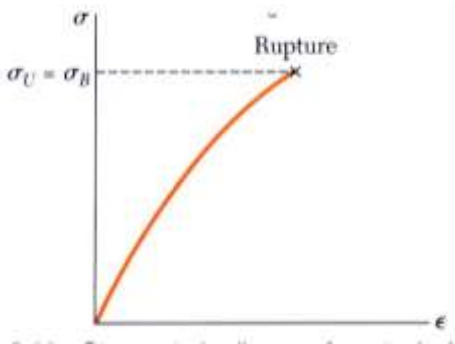
Gambar 6.5. Contoh spesimen uji kuat tarik baja tulangan (Wuaten, 2007)



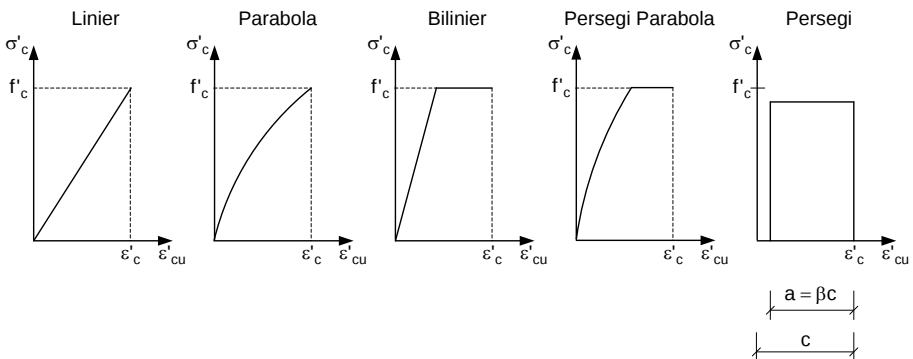
Gambar 6.6. Contoh alat uji kuat tarik baja tulangan (Wuaten, 2007)

Hasil pengujian dari material tertentu, pada umumnya akan dapat menggambarkan sifat-sifat mekanik dari material tersebut, yang diberikan dalam bentuk gambar diagram hubungan antara tegangan dan regangan. Selain itu, diagram tegangan dan regangan dapat memberikan informasi yang cukup lengkap mengenai perilaku material terhadap pembebanan, dimana akan dapat diketahui kapan material akan mencapai berbagai kondisi seperti leleh, putus, hancur dan lain sebagainya. Diagram tegangan dan regangan, dapat menunjukkan sifat mekanik dari material yang sedang diuji, baik getas ataupun liat. Dalam bidang teknik sipil, perencanaan yang mengacu kepada penggunaan terhadap material yang bersifat getas harus dihindari, sehingga di beberapa metode perancangan selalu membatasi kemampuan material yang digunakan. Sebagai contoh, dalam perencanaan struktur beton bertulang, terjadi pembatasan luasan tulangan terpasang dengan hanya menggunakan 75% dari kondisi berimbanganya.





Gambar 6.7. Diagram tegangan regangan tipikal material liat dan getas (Beer et.al, 2002)



Gambar 6.8. Contoh diagram tegangan regangan beton dalam berbagai kondisi (Kusuma, 1993)

Pada gambar diagram hubungan tegangan regangan baja tulangan di bawah ini, dapat terlihat dengan jelas perilaku dari baja tulangan berdiameter D13 mm yang diuji tarik dan mengalami pembebanan. Dimana akibat adanya pembebanan, pada awalnya kemampuan baja menunjukkan peningkatan tegangan yang bernilai linier elastis sampai pada suatu kondisi pembebanan tertentu. Akibat pertambahan beban, maka

kemampuan baja akan mencapai kondisi leleh tetapi terus mengalami pertambahan tegangan seiring dengan terjadinya penambahan beban, sampai baja mencapai nilai tegangan maksimumnya.

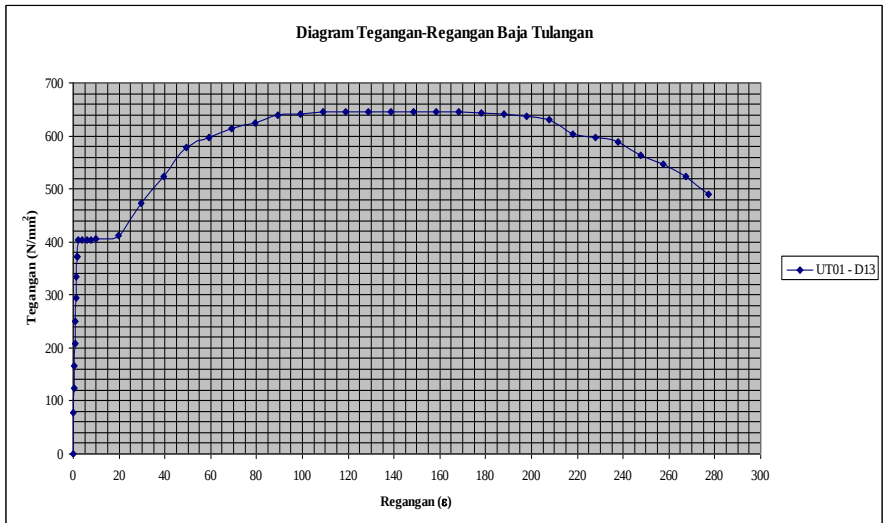
Setelah mencapai nilai tegangan maksimum, tegangan baja akan terus mengalami penurunan sampai baja mengalami kondisi putus akibat penambahan beban. Dalam tabel di bawah ini terdapat hasil pengujian kuat tarik baja tulangan diameter 13 mm. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* dan dari hasil pengujian didapat data-data berupa beban tarik yang dibebankan dan pertambahan panjang batang yang terjadi pada spesimen. Data tersebut, kemudian diolah untuk mendapatkan nilai tegangan, regangan dan elastisitas, yang digambarkan dalam bentuk diagram tegangan regangan.

Tabel 6.1. Hasil pengujian tarik baja D-13 mm (Wuaten, 2007)

Beban Tarik		Perpanjangan (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (10 ⁻³)	Elastisitas	Ket
Lbs	Newton					
0	0,00	0	0,0000	0,000000	0,000	
28	127,12	10	77,8241	0,198020	393011,507	
45	204,30	20	125,0744	0.396040	315812,818	
60	272.40	30	166,7658	0,594059	280722,505	
75	340,50	40	208,4573	0.792079	263177,348	
90	408,60	50	250,1488	0,990099	252650,255	
106	481,24	60	294,6197	1,188119	247971.546	
120	544,80	70	333,5317	1,386139	240619,290	
134	608,36	80	372,4437	1,584158	235105,098	
134	608,36	90	372,4437	1,782178	208982,309	
145	658,30	100	403,0175	1,980198	203523,816	Leleh
145	658,30	200	403,0175	3,960396	101761,908	
145	658,30	300	403,0175	5,940594	67841,272	
145	658,30	400	403,0175	7,920792	50880,954	
146	662.84	500	405,7969	9,900990	40985,486	
148	671,92	1000	411.3557	19,801980	20773,465	
170	771,80	1500	472,5032	29,702970	15907,609	

Beban Tarik		Perpanjangan (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (10 ⁻³)	Elastisitas	Ket
Lbs	Newton					
188	853,52	2000	522,5330	39,603960	13193,958	
208	944,32	2500	578,1216	49,504950	11678,056	
215	976,10	3000	597,5776	59,405941	10059,223	
221	1003,34	3500	614,2542	69,306931	8862,811	
225	1021,50	4000	625,3719	79,207921	7895,320	
230	1044,20	4500	639,2691	89,108911	7174,020	
231	1048,74	5000	642,0485	99,009901	6484,690	
232	1053,28	5500	644,8279	108,910891	5920,693	
232	1053,28	6000	644,8279	118,811881	5427,302	
232	1053,28	6500	644,8279	128,712871	5009,817	
232	1053,28	7000	644,8279	138,613861	4651,973	
232	1053,28	7500	644,8279	148,514851	4341,841	
232	1053,28	8000	644,8279	158,415842	4070,476	
232	1053,28	8500	644,8279	168,316832	3831,037	Maksimu m
231. 5	1051,01	9000	643,4382	178,217822	3610,403	
230.	1046,47	9500	640,6588	188,118812	3405,607	

Beban Tarik		Perpanjangan (mm)	Tegangan (MPa)	Regangan (10 ⁻³)	Elastisitas	Ket
Lbs	Newton					
5						
229	1039,66	10000	636,4896	198,019802	3214,273	
227	1030,58	10500	630,9308	207,920792	3034,477	
217	985,18	11000	603,1365	217,821782	2768,945	
215	976,10	11500	597,5776	227,722772	2624,145	
212	962,48	12000	589,2393	237,623762	2479,715	
203	921,62	12500	564,2244	247,524752	2279,467	
197	894,38	13000	547,5479	257,425743	2127,013	
188	853,52	13500	522,5330	267,326733	1954,660	
176	799,04	14000	489,1798	277,227723	1764,541	Putus

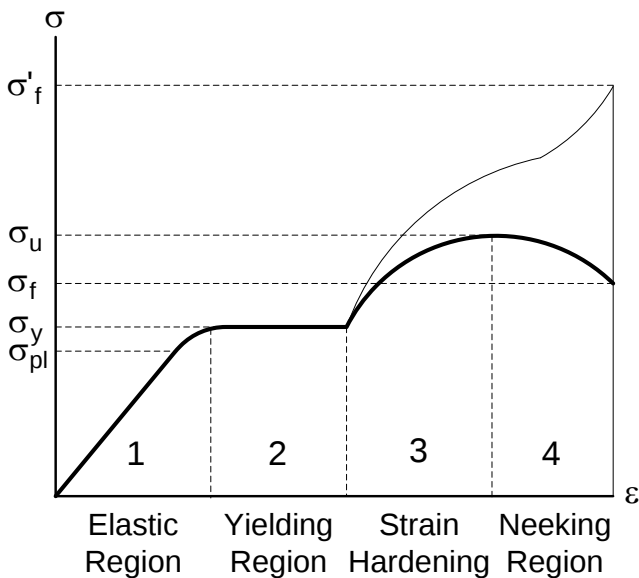


Gambar 6.9. Diagram tegangan regangan hasil pengujian kuat tarik baja tulangan (Wuaten, 2007)

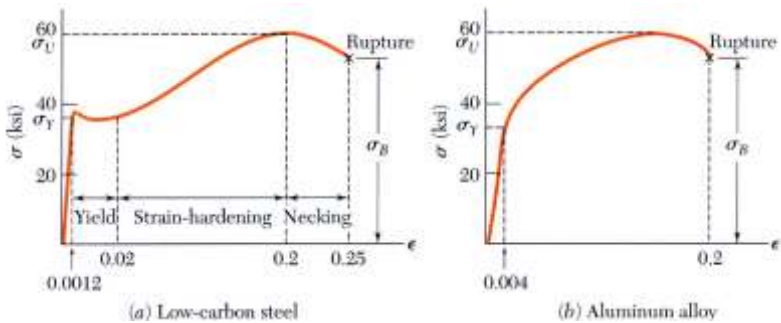
6.4 Elastisitas dan Plastisitas

Dalam diagram tegangan-regangan yang telah dijelaskan sebelumnya, memperlihatkan sifat-sifat mekanik dari material apabila dibebani secara statis dalam keadaan tarik maupun tekan. Apabila beban yang bekerja dihilangkan secara perlahan-lahan dan materialnya tidak dibebani, maka sifat bahan akan kembali ke bentuk aslinya seperti sebelum dibebani. Sifat material seperti ini, disebut dengan elastisitas (*elasticity*) dan materialnya sendiri disebut elastis (*elastic*). Sedangkan plastisitas (*plasticity*) adalah kondisi dimana sebuah material mengalami regangan yang tidak elastis di atas nilai batas regangan elastis. Perlakuan terhadap material yang berperilaku elastis dan plastis sangat berbeda, sehingga perlu bagi para engineer untuk memahami sifat material dan metode perancangan yang sesuai dengan sifat material tersebut.

Pada umumnya, hampir sebagian besar material konstruksi mempunyai kondisi awal (*initial condition*) berada pada daerah diagram tegangan-regangan yang berperilaku elastis dan linier. Sebagai contoh pada gambar diagram hubungan tegangan-regangan baja, daerah yang bersifat elastis dan linier dinyatakan dengan garis lurus seperti dalam gambar bawah ini.



Gambar 6.10. Hubungan tegangan-regangan penampang baja



Gambar 6.11. Diagram hubungan tegangan-regangan pada baja dan aluminium (Beer et.al, 2002)

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada bagian satu merupakan garis lurus dan menyatakan daerah linier elastis (*elastic region*). Pada daerah ini, kemiringan garis menyatakan besarnya nilai modulus elastisitas (*Young modulus*). Pada bagian dua yang berupa garis mendatar menyatakan daerah leleh (*yield*), dimana tegangan yang terjadi dapat dianggap konstan. Pada bagian tiga adalah daerah *strain hardening*, dimana terjadi kenaikan tegangan sampai mencapai nilai tegangan maksimum. Sedangkan pada bagian empat adalah daerah dimana tegangan yang telah mencapai tegangan maksimum mengalami penurunan sampai putus (*neckling*). Besarnya regangan dan tegangan pada setiap daerah tersebut sangat dipengaruhi oleh mutu baja yang ditentukan oleh besarnya kandungan karbon (C). Apabila kandungan karbon dalam baja tersebut rendah, maka besarnya tegangan leleh juga akan rendah, tetapi panjang daerah leleh dan *strain hardening* akan lebih panjang. Sebaliknya apabila kandungan karbon cukup tinggi maka panjangnya daerah leleh dan *strain hardening* akan semakin pendek.

6.4.1 Hukum Hooke

Pada umumnya hampir sebagian besar material konstruksi, menunjukkan adanya hubungan antara tegangan dan regangan. Dimana untuk setiap terjadinya peningkatan nilai tegangan, akan diikuti dengan naiknya nilai regangan yang sebanding, sebelum material tersebut mencapai nilai tegangan maksimum. Apabila nilai tegangan, pada suatu material tertentu telah mencapai nilai tegangan maksimum, maka hubungan yang terjadi antara tegangan dan regangan tidak lagi proporsional antara satu dengan yang lainnya.

Pada suatu material yang berperilaku elastis dan memperlihatkan suatu hubungan yang linier antara tegangan dan regangan, maka kondisi ini disebut dengan elastis linier. Pada umumnya hampir semua material konstruksi padat berperilaku elastis linier seperti logam, kayu, beton, plastik dan keramik. Hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tekan atau tarik yang sederhana, dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (6.3)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (6.4)$$

Dimana :

E = adalah suatu konstanta pembanding yang disebut dengan modulus elastisitas.

ε = regangan.

Persamaan di atas ditemukan oleh Robert Hooke (1635 – 1703) pada tahun 1687, seorang ilmuwan dari Inggris yang pertama kali menyelidiki sifat-sifat elastis dari beraneka ragam bahan seperti, logam, kayu dan tulang. Dengan demikian persamaan hubungan linier antara tegangan dan regangan

untuk suatu batang yang mengalami tekan atau tarik tersebut, dikenal dengan nama Hukum Hooke (*Hooke Law*).

6.4.2 Modulus Young

Modulus elastistas (*modulus of elasticity*) adalah kemiringan dari diagram tegangan-regangan dalam daerah elastis linier dan harganya bergantung pada material tertentu yang digunakan dan dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (6.5)$$

Modulus elastisitas sering disebut juga dengan nama modulus Young (*Young's Modulus*). Hal ini dilakukan untuk menghargai jasa-jasa ilmuwan asal Inggris Thomas Young (1773 – 1829) yang dalam penelitiannya terhadap kondisi batang-batang prismatis akibat bekerjanya beban tarik dan tekan, memperkenalkan ide modulus elastisitas.

6.4.3 Deformasi Akibat Beban Aksial

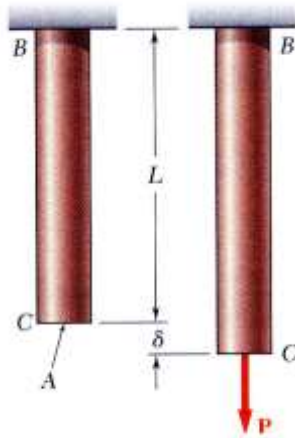
Akibat bekerjanya beban aksial, maka penampang material akan mengalami tegangan dan regangan yang menyebabkan terjadinya pertambahan atau pengurangan panjang sebesar δ atau disebut dengan deformasi.

Dalam kondisi seperti gambar di bawah ini, deformasi yang terjadi merupakan kombinasi dari hubungan antara tegangan dan regangan berdasarkan hukum Hooke's dimana :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad \rightarrow \quad \delta = \frac{PL}{AE}$$

Untuk berbagai variasi kombinasi pembebanan aksial, nilai deformasi yang terjadi pada sebuah penampang dapat dituliskan dalam bentuk :

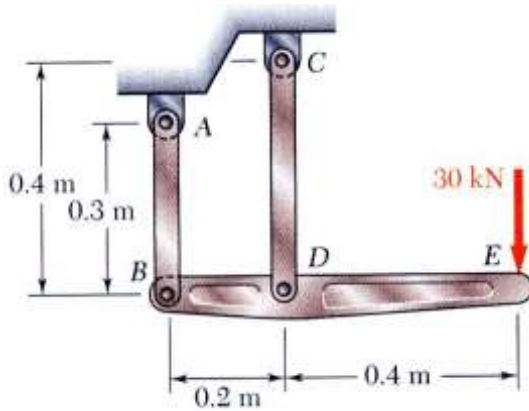
$$\delta = \sum_i \frac{P_i \cdot L_i}{A_i \cdot E_i} \quad (6.6)$$



Gambar 6.12. Deformasi akibat beban aksial (Beer et.al, 2002)

Contoh 6.2 :

Diketahui sebuah batang kaku BDE seperti tergambar di bawah ini, didukung oleh dua buah batang lainnya AB dan CD. Apabila diketahui batang AB terbuat dari aluminium dengan modulus elastisitas bahan (E) sebesar 70 GPa dan luas penampang batang (A) sebesar 500 mm². Sedangkan batang BC terbuat dari baja dengan modulus elastisitas bahan (E) sebesar 200 GPa dan luas penampang batang (A) sebesar 600 mm². Apabila gaya yang bekerja sebesar 30 kN, maka tentukanlah defleksi yang terjadi di titik B dan D !



Gambar 6.13. Deformasi akibat beban aksial (Beer et.al, 2002)

Penyelesaian :

Perhitungan freebody batang BDE :

$$\Sigma M_B = 0$$

$$30 \times 0,60 - F_{CD} \times 0,20 = 0$$

$$18 - F_{CD} \times 0,20 = 0$$

$$F_{CD} = \frac{-18}{-0,20}$$

$$= 90 \text{ kN}$$

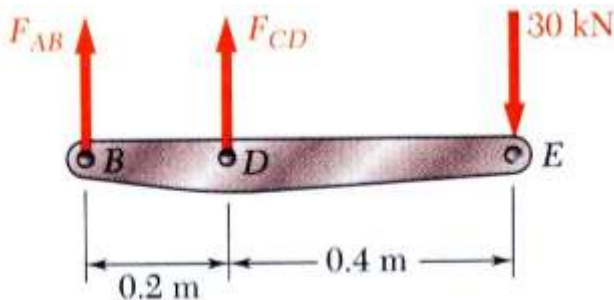
$$\Sigma M_D = 0$$

$$30 \times 0,40 + F_{AB} \times 0,20 = 0$$

$$12 + F_{AB} \times 0,20 = 0$$

$$F_{AB} = \frac{-12}{0,20}$$

$$= -60 \text{ kN}$$



Gambar 6.14. Reaksi pada batang BDE (Beer et.al, 2002)

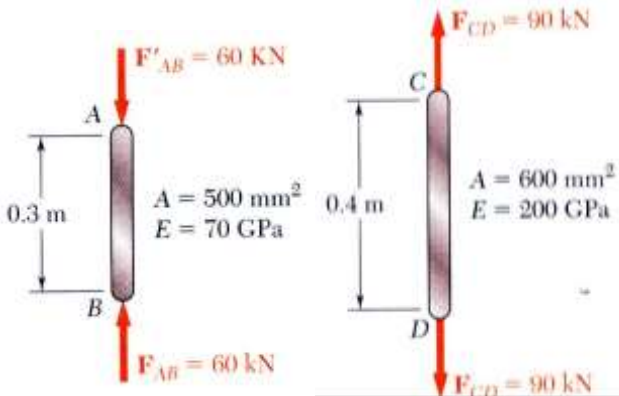
Perhitungan *displacement* di titik B dan D :

$$\delta_B = \frac{F_{AB} \cdot L}{A \cdot E}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(-60 \times 10^3) \cdot 0,30}{(500 \times 10^{-6}) \cdot (70 \times 10^9)} \\ &= -514 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ &= 0,514 \text{ mm } \uparrow \end{aligned}$$

$$\delta_D = \frac{F_{CD} \cdot L}{A \cdot E}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(90 \times 10^3) \cdot 0,40}{(600 \times 10^{-6}) \cdot (200 \times 10^9)} \\ &= 300 \cdot 10^{-6} \text{ m} \\ &= 0,300 \text{ mm } \downarrow \end{aligned}$$



Gambar 6.15. *Displacement* pada titik B dan D (Beer et.al, 2002)

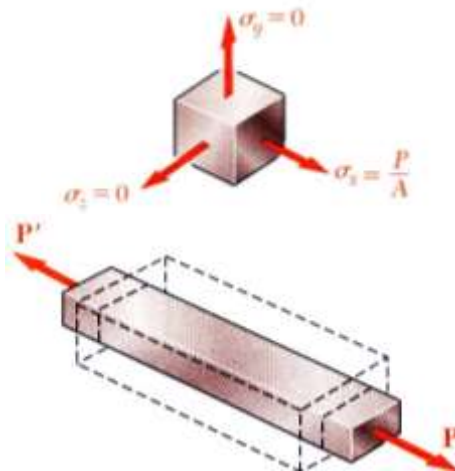
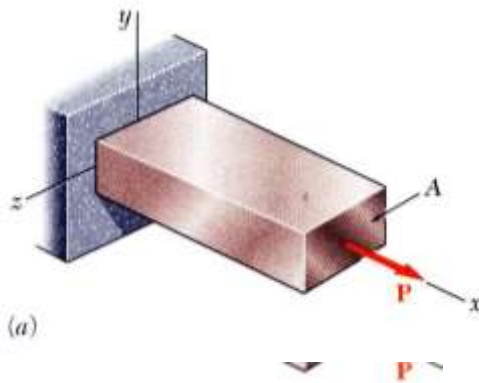
6.4.4 Angka Poisson

Apabila sebuah batang prismatik dibebani dalam keadaan tarik, maka pemanjangan aksial yang terjadi pada batang tersebut, diikuti dengan kontraksi lateral (*lateral contraction*) yang bekerja tegak lurus terhadap arah bekerjanya beban. Apabila terdapat material yang homogen dan isotropik, maka regangan lateral yang terjadi akan sebanding tegangan aksial yang bekerja. Material homogen adalah material yang memiliki komposisi yang sama di seluruh penampang badan, sehingga sifat-sifat elastisnya sama pada semua titik-titik di penampang badan. Sedangkan material disebut dengan isotropik, apabila mempunyai sifat-sifat elastik yang sama dalam semua arah. Dengan demikian bahan yang homogen dan isotropik menghasilkan regangan-regangan pada suatu penampang batang dalam kondisi tarik yang sama di semua titik pada penampang batang tersebut. Perbandingan antara regangan dan tegangan dalam arah lateral dan arah sumbu disebut dengan angka Poisson (*Poisson ratio's*) dan nyatakan dengan notasi dalam huruf Yunani ν (nu), serta dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\nu = \frac{\text{regangan-lateral}}{\text{regangan-aksial}} \quad (6.7)$$

Untuk batang dalam keadaan tarik, regangan lateral yang terjadi menyatakan suatu penurunan lebar dalam ukuran lebar (regangan negatif) dan regangan aksial menyatakan perpanjangan (regangan positif). Sedangkan untuk kondisi batang dalam keadaan tekan, kondisi yang terjadi adalah sebaliknya.

Angka Poisson diberikan untuk menghargai jasa-jasa seorang ilmuwan matematika asal Perancis, Simeon Denis Poisson (1781 - 1840) yang mencoba menghitung angka ini dengan sebuah teori molekular dari beberapa bahan.



Gambar 6.16. Perubahan bentuk pada struktur (Beer et.al, 2002)

Untuk bahan yang bersifat isotropik Poisson mendapat nilai ν sebesar 0,25 dan 0,33. Untuk beberapa harga nilai pembanding Poisson dari material dalam keadaan elastis linier dapat dilihat dalam tabel di bawah ini.

Tabel 6.2. Nilai angka Poisson

Bahan	Angka Poisson (ν)
Aluminium murni	0,33
Kuningan	0,34
Perunggu	0,34
Besi Tuang	0,20 – 0,30
Beton	0,10 – 0,20
Baja	0,27 – 0,30
Kaca	0,20 – 0,27

6.4.5 General Hooke's Law

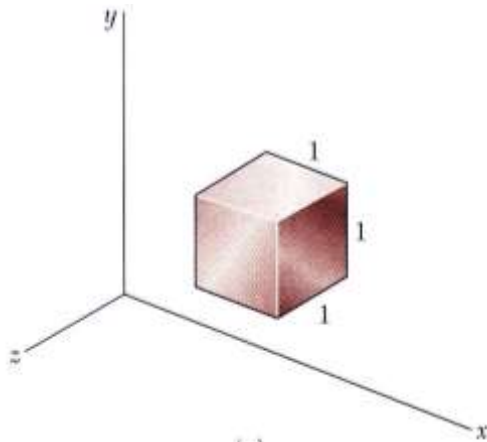
Pada struktur tiga dimensi atau struktur yang mengalami kombinasi beban dari tiga arah, komponen regangan normal dihasilkan dari nilai komponen tegangan berdasarkan prinsip superposisi. Dimana dalam prinsip ini berlaku ketentuan bahwa, nilai regangan yang terjadi bersifat linier terhadap nilai tegangan yang terjadi dan deformasi yang terjadi bernilai kecil.

Pada gambar di bawah ini, terdapat sebuah struktur tiga dimensi yang kemudian dibebani beban aksial dari tiga arah. Akibat pola pembebanan tersebut maka, pada struktur tersebut akan timbul regangan dalam arah x, y dan z yang dapat ditulis dalam bentuk :

$$\varepsilon_x = + \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu\sigma_y}{E} - \frac{\nu\sigma_z}{E}$$

$$\varepsilon_y = - \frac{\nu\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} - \frac{\nu\sigma_z}{E}$$

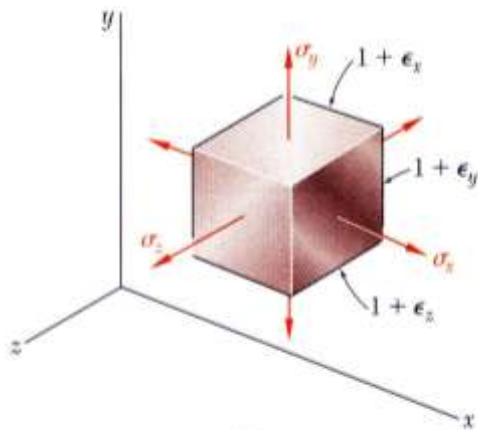
$$\varepsilon_z = - \frac{\nu\sigma_x}{E} - \frac{\nu\sigma_y}{E} + \frac{\sigma_z}{E}$$



(a)



(a)



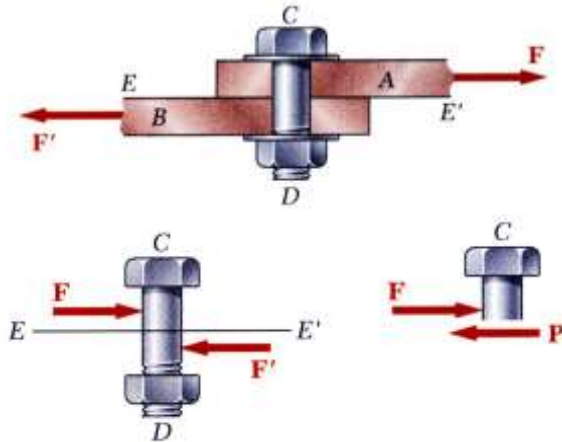
(b)

Gambar 6.17. General Hooke's Law pada struktur tiga dimensi (Beer et.al, 2002)

6.5 Tegangan dan Regangan Geser

6.5.1 Tegangan Geser

Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar atau menyinggung permukaan dan diberi notasi dengan huruf Yunani τ (tau). Tegangan geser dapat terjadi apabila terdapat gaya geser yang bekerja pada sebuah penampang batang. Pada gambar di bawah ini terlihat sebuah struktur sambungan baut tunggal yang mengalami gaya geser sebesar F .



Gambar 6.18. Gaya geser pada baut (Beer et.al, 2002)

Akibat gaya geser sebesar F yang bekerja pada baut, maka tegangan geser rata-rata yang terjadi dapat diperoleh dengan cara membagi gaya geser total (F) yang bekerja dengan luas penampang (A) baut yang menerima geser atau dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\tau_{rata} = \frac{F}{A} \quad (6.8)$$

Geser yang terjadi dapat berupa geser langsung (*direct shear*) dan geser murni (*pure shear*). Geser langsung dapat terjadi apabila tegangan geser diciptakan oleh suatu aksi

langsung dari gaya-gaya yang bekerja dengan memotong batang atau penampang. Pada struktur, geser langsung dapat terjadi pada detail sambungan paku, baut, paku keling las dan lain sebagainya. Geser murni dapat terjadi pada struktur atau elemen struktur yang hanya menerima gaya geser saja. Akibat adanya aksi tegangan-tegangan geser menyebabkan terjadinya perubahan bentuk material sehingga menghasilkan regangan-regangan geser (*shear strain*) pada struktur atau elemen struktur. Untuk material yang berperilaku elastis linier, tegangan geser yang terjadi berbanding lurus dengan regangan gesernya, sehingga Hukum Hooke untuk kondisi geser dapat digambarkan dalam bentuk :

$$\tau = G \cdot \gamma$$

Dimana :

G = modulus elastisitas geser (shear modulus elasticity).

γ = ukuran distorsi atau perubahan bentuk dari elemen (regangan geser).

Pada kondisi struktur atau komponen struktur tiga dimensi tegangan geser yang terjadi dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\tau_{xy} = G \cdot \gamma_{xy} \quad (6.10)$$

$$\tau_{yz} = G \cdot \gamma_{yz} \quad (6.11)$$

$$\tau_{zx} = G \cdot \gamma_{zx} \quad (6.12)$$

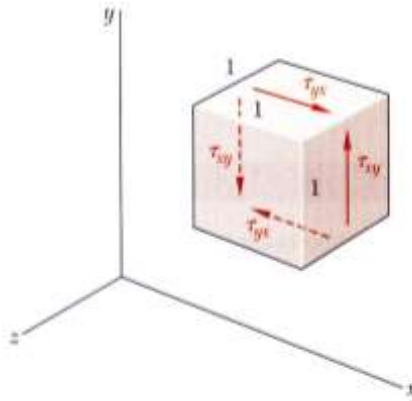
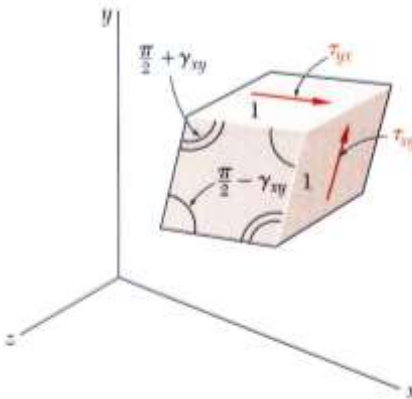


Fig. 2.46



Gambar 6.19. Tegangan pada struktur tiga dimensi (Beer et.al, 2002)

Hubungan antara modulus elastistas dalam keadan tarik dan geser dapat digambarkan dalam bentuk persamaan :

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

Dimana :

E = modulus elastisitas bahan.

ν = angka Poisson.

6.5.2 Regangan Geser

Apabila sebuah beban tarik aksial bekerja pada sebuah benda, maka benda tersebut akan mengalami deformasi arah longitudinal atau terjadi perpanjangan. Demikian halnya apabila yang bekerja berupa beban tekan aksial, maka akan menyebabkan deformasi tekan dalam arah longitudinal sehingga terjadi pemendekan. Apabila yang bekerja pada suatu benda berupa gaya geser, maka akan mengakibatkan deformasi geser yang sama dengan arah gaya geser tersebut bekerja. Deformasi ini, disebut dengan distorsi sudut (*angular distortion*). Dengan demikian regangan geser total adalah deformasi geser total dibagi dengan panjang batang L dan dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\varepsilon_s = \frac{\delta_s}{L} \quad (6.14)$$

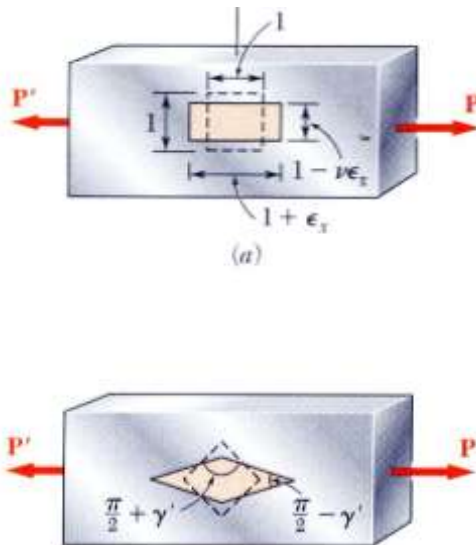
Sedangkan hubungan antara distorsi sudut dengan regangan geser, dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$\tan \phi = \frac{\delta_s}{L} = \gamma_s \quad (6.15)$$

Untuk sudut yang kecil, sudut tangensial pada umumnya sama dengan sudut yang dinyatakan dalam radian. Dimana satu radian adalah sudut yang dibentuk sedemikian sehingga panjang busur lingkaran, sama dengan panjang jari-jari lingkaran. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sudut dalam radian adalah panjang busur dibagi dengan jari-jari lingkaran, sehingga sudut tangensial adalah sama dengan sudut dalam radian yang sangat mendekati regangan geser.

6.5.3 Hubungan Antara E, ν dan G

Dalam ilustrasi di bawah ini, terdapat sebuah material persegi yang mengalami gaya aksial sebesar P dan P' . Akibat gaya aksial tersebut, pada benda mengalami perpanjangan searah dengan gaya aksial tersebut bekerja dan pada arah transversal bekerjanya gaya.



Gambar 6.20. Gaya aksial pada benda tegar (Beer et.al, 2002)

Akibat adanya gaya aksial yang menyebabkan terjadinya perubahan panjang pada material, maka terjadi regangan normal dan regangan geser normal pada material tersebut. Hubungan antara regangan normal dan regangan geser normal yang terjadi pada di atas, akibat adanya perubahan volume dan bentuk dapat digambarkan dalam persamaan :

$$\frac{E}{2G} = (1+\nu) \quad (6.20)$$

6.6 Pengaruh Panas

Pada umumnya material konstruksi menunjukkan adanya perubahan dimensional, apabila dipengaruhi oleh temperatur. Untuk beberapa material tertentu, besaran perubahan dimensional tiap satuan perubahan temperatur adalah konstan pada rentang temperatur sedang dan kebanyakan material konstruksi berekspansi akibat adanya kenaikan temperatur dan berkontraksi akibat adanya penurunan temperatur.

Pada umumnya, nilai standar perubahan dimensional tiap derajat perubahan temperatur untuk material konstruksi tertentu, diperoleh berdasarkan hasil pengujian di laboratorium. Nilai yang didapat ini, disebut dengan koefisien ekspansi termal linier (*linear coefficient of thermal expansion*) yang dilambangkan dengan huruf Yunani kuno α (alfa). Nilai α digunakan untuk mengukur perubahan panjang per satuan panjang tiap derajat perubahan temperatur dan nilai ini, pada umumnya mengandung nilai numerik, tanpa mempermasalahkan satuan panjang yang digunakan. Satuan untuk nilai α , pada umumnya dalam bentuk $\text{mm/mm}/^{\circ}\text{C}$, dimana nilai C menunjukkan derajat Celcius dalam satuan SI.

Apabila suatu material bebas untuk berekspansi atau berkontraksi akibat terjadinya variasi temperatur, maka kondisi ini pada umumnya akan diikuti dengan terjadinya tegangan pada material tersebut. Besar perubahan dimensional (δ_T) yang terjadi pada material akibat pengaruh termal dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$\delta_T = \alpha.L.(\Delta T) \quad (6.16)$$

Dimana :

δ_T = perubahan total panjang (mm).

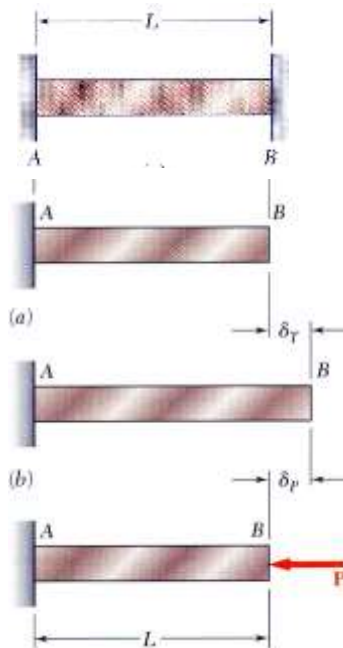
L = panjang awal benda uji (mm).

ΔT = perubahan temperatur ($^{\circ}\text{C}$).

Pada material yang direncanakan pada kondisi tertentu,

untuk tahan terhadap terjadinya variasi temperatur, maka pada material tersebut akan timbul tegangan internal yang disebut dengan tegangan termal (*thermal stress*). Pada dasarnya, proses terjadinya tegangan termal dapat dilakukan dengan cara menganggap bahwa perubahan dimensional δ_T yang terjadi karena perubahan temperatur dihitung dengan persamaan di atas. Sedangkan apabila benda direncanakan agar gaya aksial P berfungsi untuk mengembalikan panjang semula pada kondisi semula akibat perubahan temperatur (δ_P), maka perubahan dimensional dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$\delta_P = \frac{PL}{AE} = \sigma_s \left(\frac{L}{E} \right) \quad (6.17)$$



Gambar 6.21. Tegangan pada struktur akibat pengaruh temperatur (Beer et.al, 2002)

Apabila perubahan panjang total merupakan jumlah dari $\delta_P + \delta_T = 0$ maka :

$$\alpha \cdot L \cdot (\Delta T) + \sigma_s \left(\frac{L}{E} \right) = 0$$

Apabila nilai gaya aksial P direncanakan berfungsi untuk mengembalikan panjang batang ke kondisi semula akibat perubahan temperatur, maka P dapat dituliskan dalam bentuk :

$$P = -A \cdot E \cdot \alpha \cdot (\Delta T) \quad (6.18)$$

Tegangan termal dapat ditulis dalam bentuk :

$$\sigma_s = E \cdot \alpha \cdot (\Delta T) \quad (6.19)$$

Dimana :

σ_s = tegangan termal akibat variasi temperatur (MPa).

E = modulus elastisitas (MPa).

α = koefisien ekspansi termal ($1/^\circ\text{C}$).

ΔT = perubahan temperatur ($^\circ\text{C}$).

Contoh 7.3 :

Diketahui sebuah batang baja ASTM A36 dengan panjang 2540 mm dan luas penampang 50 mm^2 dengan modulus elastisitas (E) sebesar $207 \times 10^9 \text{ Pa}$ yang ditempatkan di antara dudukan kaku. Apabila pada temperatur 21°C baja tidak mengalami tegangan, maka hitunglah tegangan yang terjadi pada baja tulangan, apabila temperatur mengalami perubahan hingga -18°C dan batas proporsional baja sebesar 234 MPa !

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \sigma_s &= E \cdot \alpha \cdot (\Delta T) \\ &= (207 \times 10^9 \text{ Pa}) \cdot (11,7 \times 10^{-6} \text{ m/m/}^\circ\text{C}) \cdot 39^\circ\text{C} \\ &= 96,07 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Kontrol :

$$96,07 \text{ MPa} > 234 \text{ MPa} \quad \rightarrow \text{oke}$$

6.7 Material Komposit

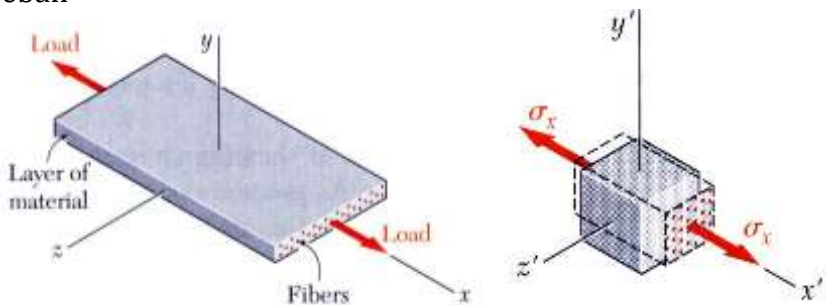
Material komposit adalah material yang terdiri dari dua atau lebih kombinasi jenis material dalam satu penampang. Pada umumnya material komposit digunakan untuk tujuan tertentu, dalam mengantisipasi kelemahan salassatu material terhadap sifat-sifat mekanik yang terjadi akibat gaya luar yang bekerja. Karena terdiri dari dua material yang berbeda, maka material komposit tidak bersifat homogen isotropic, melainkan non homogen anisotropic.

Dalam dunia konstruksi, material komposit merupakan salassatu material yang sangat familiar dan sering digunakan sebagai pilihan desain. Sebagai contoh adalah kombinasi gelagar baja dan pelat lantai beton bertulang pada struktur jembatan ataupun struktur gedung. Selain itu, material komposit dapat terbuat dari bahan fiber, grafit, kaca maupun polimer. Akibat kondisi ini, maka perilaku mekanik yang terjadi pada material komposit merupakan kombinasi dari sifat mekanik masing-masing material-material tersebut, yang bekerja dalam satu penampang.

Beban

Lapisan material

Beban



Gambar 6.22. Gaya aksial dan angka Poisson pada material komposit (Beer et.al, 2002)

Tegangan dan regangan normal yang terjadi pada penampang komposit berdasarkan Hukum Hooke dan hubungannya dengan modulus elastisitas (E) material, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

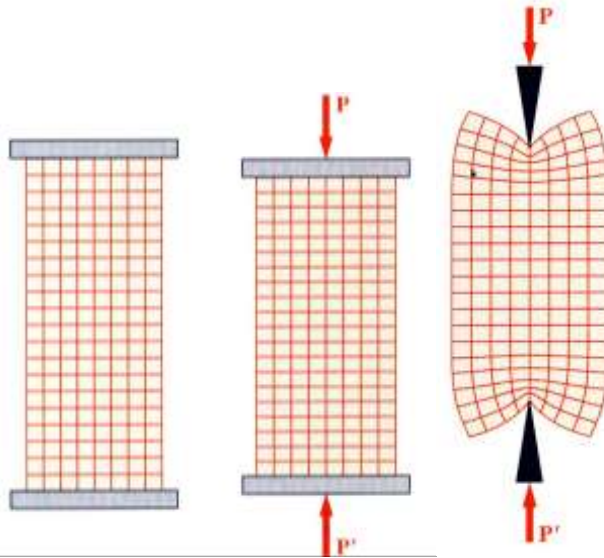
$$E_x = \frac{\sigma_x}{\varepsilon_x} ; E_y = \frac{\sigma_y}{\varepsilon_y} ; E_z = \frac{\sigma_z}{\varepsilon_z} \quad (6.21)$$

Sedangkan nilai kontraksi arah transvesal dalam hubungannya dengan angka Poisson, dapat dituliskan dalam bentuk :

$$v_{xy} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} ; v_{xz} = -\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x} \quad (6.22)$$

6.8 Prinsip Saint Venant's

Apabila pada sebuah material pelat bekerja gaya-gaya dari luar, maka tegangan dan regangan yang terjadi pada pelat tersebut, akan terdistribusi secara merata di semua bagian dari penampang pelat kecuali, pada titik penampang pelat dimana beban tersebut bekerja. Pada titik tersebut, tegangan yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan tegangan yang terjadi di titik-titik lain pada penampang pelat.

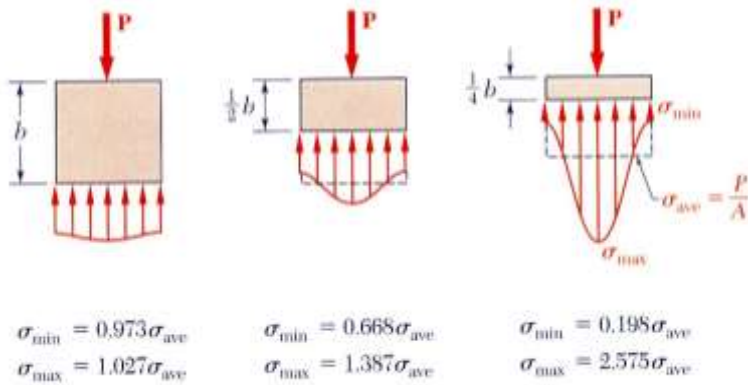


Gambar 6.23. Penampang pelat yang mengalami gaya luar
(Beer et.al, 2002)

Prinsip Saint Venant's berbunyi bahwa tegangan yang terjadi dapat diasumsikan secara terpisah dalam analisa bentuk beban, termasuk aplikasinya untuk beban titik.

Dari kondisi ini, maka konsentrasi tegangan yang terjadi berdasarkan prinsip Saint Venant's, dapat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ave}}}$$



Gambar 6.24. Distribusi tegangan pada pelat yang akibat gaya luar (Beer et.al, 2002)

6.9 Faktor Keamanan dan Tegangan Ijin

6.9.1 Faktor Keamanan

Dalam proses desain terhadap suatu struktur, salasatu hal yang perlu untuk diperhatikan adalah kapasitas struktur atau elemen struktur dalam menerima ataupun menyalurkan beban-beban yang bekerja. Struktur dan elemen struktur sangat diharapkan untuk dapat menerima semua kombinasi beban yang bekerja sesuai dengan perencanaan, sehingga terhindar dari proses gagal struktur. Kemampuan suatu struktur dalam menerima beban yang bekerja disebut sebagai kekuatan struktur. Dimana kriteria mendesain kekuatan struktur adalah dengan memberikan kekuatan ekstra terhadap struktur yang dirancang terhadap beban sebenarnya yang bekerja pada struktur tersebut. Perbandingan antara kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan disebut dengan faktor keamanan (*safety factor*) dan diberi notasi n .

6.9.2 Tegangan Ijin

Dalam praktek di lapangan banyak cara dan peraturan yang mengatur mengenai faktor keamanan dari suatu struktur atau elemen struktur. Terdapat hal-hal lain yang juga harus diperhatikan dalam proses desain struktur dan elemen struktur yaitu, memperhatikan kondisi material agar tetap berada dalam kondisi elastis sehingga dapat mencegah terjadinya deformasi-deformasi yang bersifat permanen. Kondisi untuk membatasi tegangan yang bekerja pada struktur atau elemen struktur untuk tidak melewati nilai batas tertentu dari material tertentu, disebut dengan tegangan ijin (*allowable stress*) atau tegangan kerja (*working stress*) dan dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{\sigma_s}{n}$$

Metode desain lain yang dapat digunakan untuk pembatasan nilai tegangan ijin adalah dengan menggunakan nilai tegangan ultimit (*ultimate stress*) dari material yang dapat digambarkan dalam bentuk persamaan :

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{\sigma_u}{n} \quad (6.25)$$

Dimana :

σ_s = tegangan leleh.

σ_u = tegangan ultimit

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2008., *Structural Analysis Lectures Notes*, Structural Engineering Course, India Institute Technology, Kharagpur, India.
- Anonim., *Diktat Mekanika Teknik I: Prodi Teknik Sipil*, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
- Anonim., *Diktat Mekanika Teknik II: Prodi Teknik Sipil*, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
- Anonim., *Diktat Mekanika Bahan I: Fakulta Prodi Teknik Sipil*, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
- Anonim., *Diktat Mekanika Bahan II: Fakulta Prodi Teknik Sipil*, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
- Beer P.F., Johnston E.R. Jr., Dewolf J.T., 2002. *Mechanics of Materials 3rd Edition*, McGraw Hill Companies, New York, USA.
- Chen W.F., 1995., *The Civil Engineering Handbook*, Edition, CRC Press LLC, United States of America.
- Hallyday, Risnick. 1984. *Fisika I*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Popov E.V., 1979. *Introduction to Mechanics Solid*, Prentice Hall Englewood Cliff, New Jersey, USA.
- Timoshenko S., Young D.H., 1982. *Theory of Structure*, McGraw Hill Companies, New York, USA.
- Todd J.D., 1984. *Teori dan Analisis Struktur*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Triwiyono A., 2003. *Mekanika Bahan*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Vable M., 2002., *Mechanics of Materials*, Oxford University Press, United Kingdom.
- Vazirani V.N., Ratwani, 1980. *Analysis of Structure*, Khana Publishers, India.
- Williams A., 2009., *Structural Analysis In Theory and Practice*, Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom.

- Wuaten H.M., 2008., *Analisis Struktur*, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda.
- Zainuri A.M., 2008., *Kekuatan Bahan*, Penerbit Andi, Yogyakarta.

BAB 7

TRANSFORMASI TEGANGAN 3D

Oleh La Ode Dzakir

7.1 Pendahuluan

7.1.1 Definisi Tegangan

Stress atau tegangan adalah perbandingan gaya (F) dengan luas penampang (A) (Arini dan Pradana, 2021). Rumus menghitung tegangan dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

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

Dimana:

σ = *Stress* (N/m²)

F = Gaya (N)

A = Luas (m²)

7.1.2 Definisi Tegangan Menurut Ahli

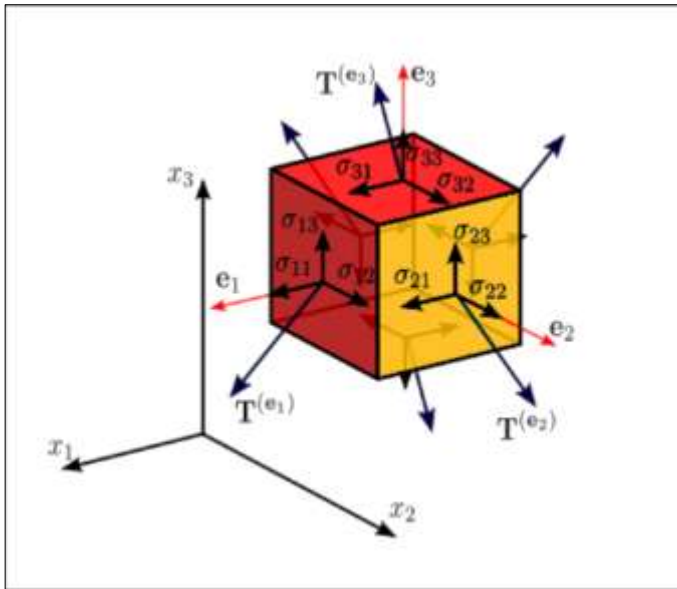
Menurut Iammirta dan Tediato (2018), tegangan merupakan besaran intensitas gaya atau reaksi yang bekerja pada permukaan benda persatuan luas.

Menurut Rai dkk (2014), tegangan (*stress*) adalah besaran tensor atau besaran yang mempunyai besar dan arah serta tergantung pada bidang dimana gaya tersebut bekerja. Tegangan atau stress tergantung pada:

1. Titik dimana gaya diberikan.
2. Luas penampang permukaan.
3. Gaya – gaya luar yang dikenakan pada benda.

Menurut Cauchy (1826), tensor tegangan terdiri dari 9 komponen σ_{ij} yang menggambarkan kondisi tegangan pada titik

dalam sebuah material yang mengalami deformasi. Tensor tegangan Cauchy berdasarkan pada hukum transformasi tensor yang mengalami perubahan sistem koordinat.



Gambar 7.1. Komponen Tegangan 3 Dimensi
(Sumber: Modifikasi Rai, 2014)

Tensor tegangan Cauchy dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_y & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

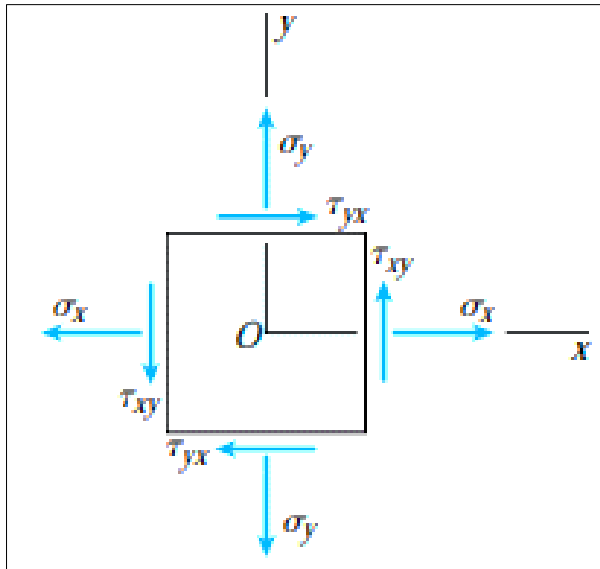
Deformasi bersifat elastis apabila beban yang bekerja pada material masih berada pada batas elastisitas dari material tersebut. Namun apabila beban atau gaya yang bekerja melebihi batas

elastisitas dari material maka material tersebut akan terdeformasi plastis (Tirana, 2022).

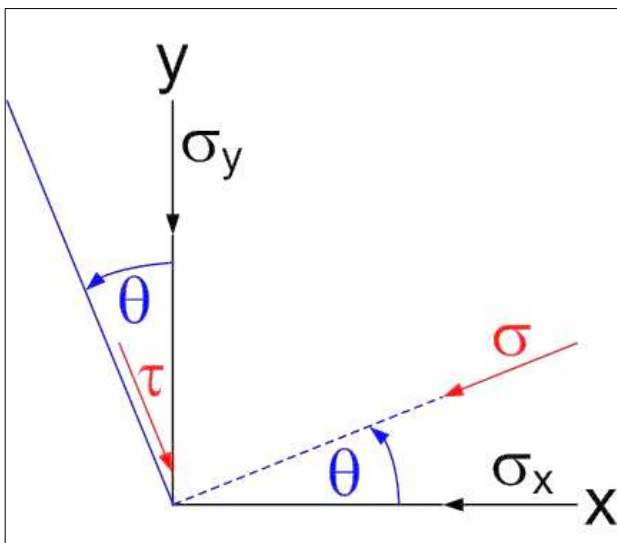
7.2 Tegangan 2 Dimensi

Analisis tegangan dalam dua dimensi merupakan metode yang digunakan untuk menyederhanakan perhitungan tegangan dalam tiga dimensi. Elemen tegangan yang umum digunakan dalam analisis tegangan dua dimensi adalah:

- Tegangan (*stress*) Normal: σ_x dan σ_y
- Tegangan (*stress*) Geser: τ_{xy} dan τ_{yx}

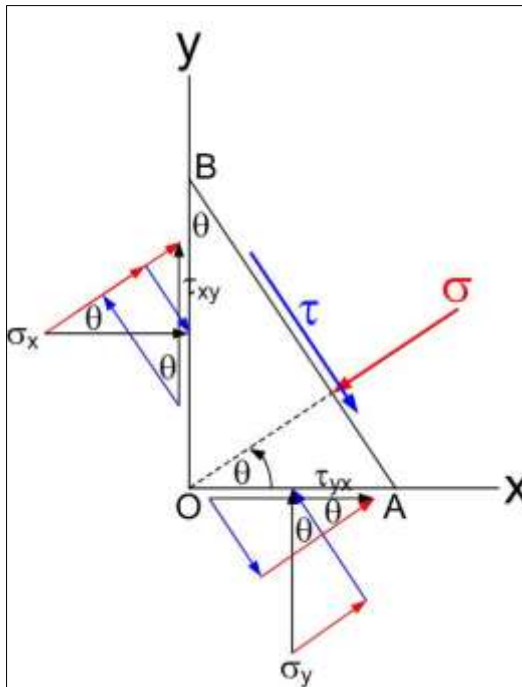


Gambar 7.2. Komponen Tegangan 2 Dimensi
(Sumber: Setiawan, 2019)



Gambar 7.3. Elemen Komponen Perubahan Sudut pada Sumbu x dan y
(Sumber: Rai dkk, 2014)

Berdasarkan gambar 8.3 diatas, selanjutnya akan ditentukan nilai tegangan normal serta nilai tegangan geser yang terdapat pada bidang yang arah normalnya membentuk sudut θ terhadap sumbu x dimana σ_x bekerja.



Gambar 7.4. Elemen Segi Tiga AOB dengan elemen tegangan normal dan tegangan geser
(Sumber: Rai dkk, 2014)

Bedasarkan gambar 7.4, panjang sisi segi tiga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$OA = a \sin \theta$$

$$OB = a \cos \theta$$

$$AB = a$$

Agar dapat mencapai kondisi kesetimbangan gaya, maka seluruh gaya yang bekerja pada arah tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) harus dalam kondisi setimbang.

$$\Sigma F_{\sigma} = 0$$

$$\begin{aligned}\sigma (at) &= \sigma_x \cos \theta (a \cos \theta)t + \tau_{xy} \sin \theta (a \cos \theta) t + \\ &\sigma_y \sin \theta (a \sin \theta) t + \tau_{yx} \cos \theta (a \sin \theta)t \\ \sigma &= \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \sin \theta \cos \theta\end{aligned}$$

Dengan persamaan trigonometri berikut ini:

$$\cos^2 \theta = \frac{1}{2} (1 + \cos 2\theta)$$

$$\cos^2 \theta + \sin^2 \theta = 1$$

$$\sin^2 \theta = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\theta)$$

$$2\sin^2 \theta \cos \theta = \sin 2\theta$$

Maka dapat diperoleh persamaan persamaan berikut:

$$\sigma = \frac{\sigma_x}{2} (1 + \cos 2\theta) + \tau_{xy} \sin 2\theta + \frac{\sigma_y}{2} (1 - \cos 2\theta)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{\sigma_x \cos 2\theta}{2} + \frac{\sigma_y}{2} - \frac{\sigma_y \cos 2\theta}{2} + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right) \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

$$\Sigma F_t = 0$$

$$\tau_{at} =$$

$$-\sigma_x \sin \theta a \cos \theta t + \tau_{xy} \cos \theta a \cos \theta t +$$

$$\sigma_y \cos \theta a \sin \theta t - \tau_{yx} \sin \theta a \sin \theta t$$

$$\tau = (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta)$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan trigonometri dibawah ini, dapat ditentukan persamaan untuk menghitung tegangan (*stress*) normal dan tegangan (*stress*) geser.

$$\sin \theta \cos \theta = \frac{1}{2} \sin 2\theta$$

$$\cos^2 \theta - \sin^2 \theta = \cos 2\theta$$

$$\tau = \left(\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2} \right) \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

$$\tau = -\left(\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2}\right) \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

Tegangan Normal:

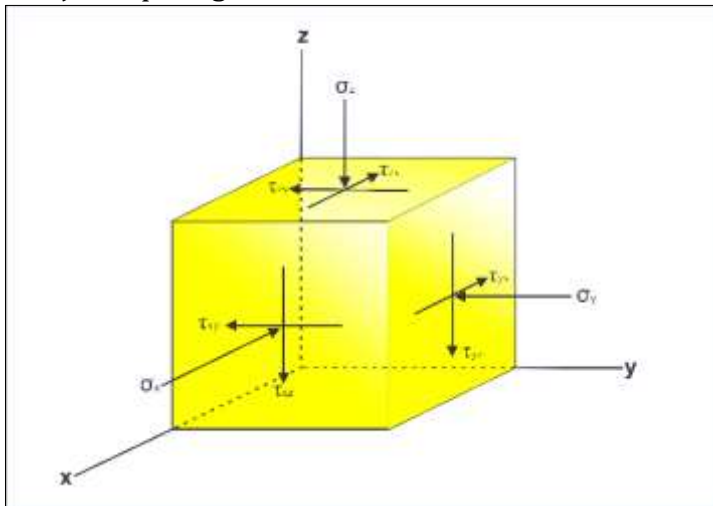
$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right) \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta$$

Tegangan Geser:

$$\tau = -\left(\frac{\sigma_y - \sigma_x}{2}\right) \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta$$

7.3 Tegangan dalam 3 Dimensi

Menurut Rai dkk (2014) untuk lebih memahami mekanisme kerja dari tegangan secara insitu maka dibutuhkan perhitungan tegangan secara 3 dimensi. Ketika melakukan perhitungan atau analisis tegangan secara 3 dimensi maka akan terdapat tiga tegangan normal dan enam tegangan geser seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 7.5. Ilustrasi Tegangan 3 Dimensi
(Sumber: Modifikasi Rai, 2014)

Berdasarkan Gambar 8.5 diketahui gaya-gaya yang terdapat pada sisi-sisi kubus adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan (*stress*) Normal: σ_x , σ_y dan σ_z
- b. Tegangan (*stress*) Geser: τ_{zx} , τ_{zy} , τ_{yx} , τ_{yz} , τ_{xz} dan τ_{xy}

Syarat agar dapat memenuhi kesetimbangan rotasi adalah gaya-gaya yang bekerja pada sisi kubus harus dalam kondisi seimbang. Kondisi kesetimbangan rotasi yang dimaksud adalah:

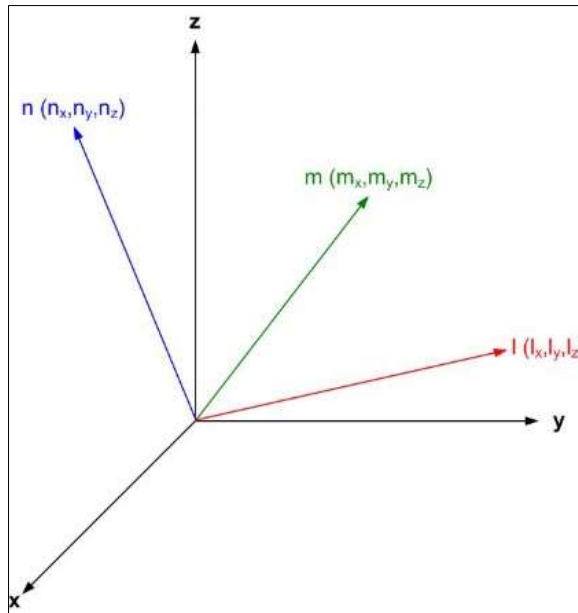
- 1. $\tau_{xy} = \tau_{yx}$
- 2. $\tau_{xz} = \tau_{zx}$
- 3. $\tau_{yz} = \tau_{zy}$

Selanjutnya diketahui bahwa komponen tegangan yang bekerja cukup dinyatakan dengan 6 (enam) komponen sehingga kondisi tegangan pada suatu titik dapat dinyatakan menggunakan matriks tegangan $[\sigma]$, sebagai berikut:

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

7.4 Transmormasi Tegangan 3 Dimensi

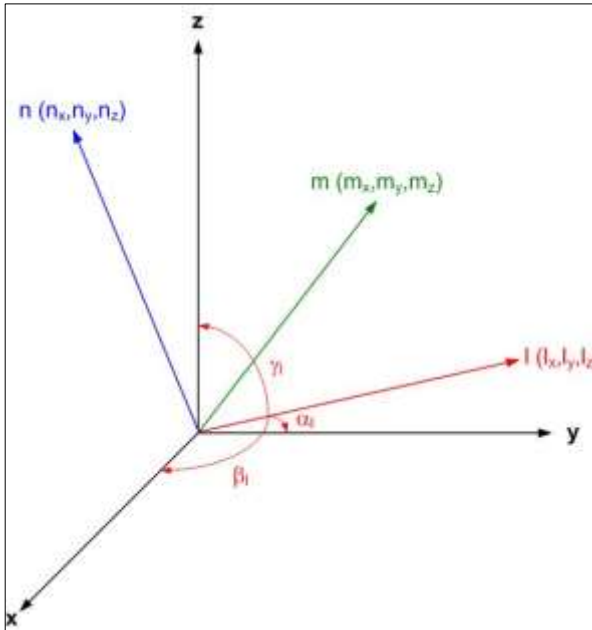
Dalam transformasi tegangan tiga dimensi dibutuhkan sistem sumbu referensi serta dapat dilakukan dengan bebas, bahwa sistem sumbu asal yaitu x,y,z dan sistem sumbu baru yaitu l, m, n.



Gambar 7.6. Sistem sumbu asal dan baru
(Sumber: Rai dkk, 2014)

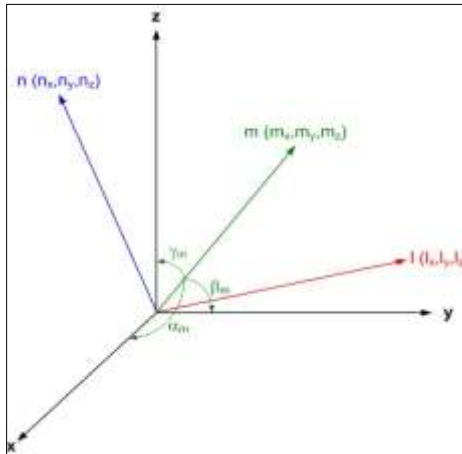
Orientasi pada sumbu tertentu, relatif terhadap masing-masing sumbu asal digambarkan oleh sebuah vektor baris dari cosinus arah. Cosinus arah merupakan proyeksi dari sebuah vektor satuan yang paralel dengan salah satu sumbu baru (l , m , atau n) terhadap salah satu sumbu lama (x , y , atau z).

- Cosinus arah sumbu l : $l_x = \cos \alpha_l$, $l_y = \cos \beta_l$, $l_z = \cos \gamma_l$



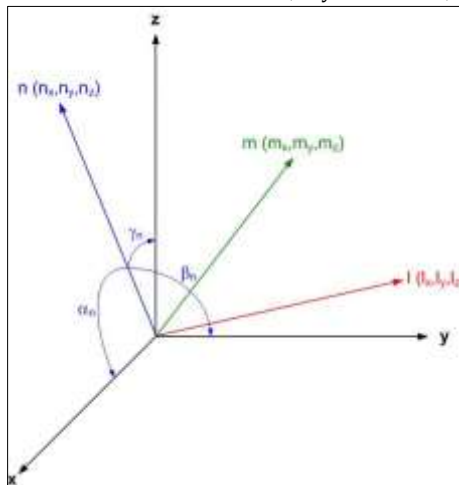
Gambar 7.7. Cosinus arah sumbu l
(Sumber: Wattimena, 2016)

- Cosinus arah sumbu m: $m_x = \cos a_m$, $m_y = \cos b_m$, $m_z = \cos g_m$



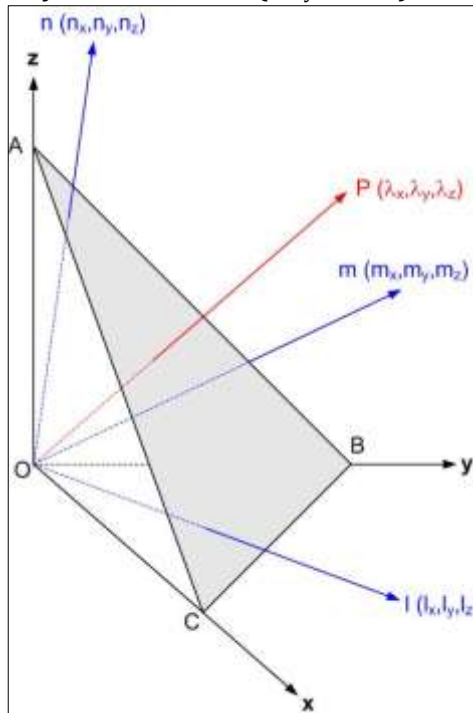
Gambar 7.8. Cosinus arah sumbu m
(Sumber: Wattimena, 2016)

- Cosinus arah sumbu n: $n_x = \cos a_n$, $n_y = \cos b_n$, $n_z = \cos g_n$



Gambar 7.9. Cosinus arah sumbu m
(Sumber: Wattimena, 2016)

Tetrahedron OABC merupakan salah satu bagian dari kubus yang dimanfaatkan untuk menentukan kondisi dari tegangan sebelumnya. Untuk mencapai kesetimbangan, maka material yang dihilangkan/dihapus digantikan oleh gaya penyeimbang sebesar t per unit luas yang bekerja pada bidang ABC. Normal bidang ABC, yaitu OP mempunyai cosinus arah (l_x , l_y , dan l_z).



Gambar 7.10. Potongan tetrahedron dari bagian kubus
(Sumber: Rai dkk, 2014)

Apabila luas bidang $ABC = A$, maka proyeksi bidang ABC pada masing-masing bidang dengan normal masing-masing sumbu x , y dan z dapat dituliskan sebagai berikut:

- $OAC = A_x = A\lambda_x$
- $OAB = A_y = A\lambda_y$

- $OBC = A_z = A\lambda_z$

Misalnya komponen – komponen vektor traksi t adalah τ_x , τ_y , τ_z , dan syarat kesetimbangan dari gaya pada arah x akan menghasilkan persamaan berikut:

$$\tau_x A - \sigma_x A_x - \tau_{xy} A_y - \tau_{zx} A_z = 0$$

$$\tau_x A - \sigma_x A\lambda_x - \tau_{xy} A\lambda_y - \tau_{zx} A\lambda_z = 0$$

Atau

$$\tau_x = \sigma_x \lambda_x + \tau_{xy} \lambda_y + \tau_{zx} \lambda_z$$

Berdasarkan syarat untuk mencapai kesetimbangan gaya pada arah y dan z , maka diperoleh persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_x \\ \lambda_y \\ \lambda_z \end{bmatrix}$$

Atau,

$$[t] = [\sigma][\lambda]$$

Dengan cara yang sama dengan sebelumnya, dilakukan untuk sumbu – sumbu l , m dan n hingga diperoleh persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_l & \tau_{lm} & \tau_{ln} \\ \tau_{ml} & \sigma_m & \tau_{mn} \\ \tau_{nl} & \tau_{nm} & \sigma_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_l \\ \lambda_m \\ \lambda_n \end{bmatrix}$$

Atau,

$$[t^*] = [\sigma^*][\lambda^*]$$

$[t]$, $[t^*]$, $[l]$ dan $[l^*]$ merupakan vektor – vektor yang dinyatakan relatif terhadap sistem koordinat x, y, z serta l, m, n .

$$\begin{bmatrix} v_l \\ v_m \\ v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x & l_y & l_z \\ m_x & m_y & m_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}$$

Atau,

$$[v^*] = [R][v]$$

Matriks $[R]$ merupakan matriks rotasi yang setiap barisnya dibentuk oleh vektor baris cosinus dari sumbu baru terhadap sumbu asal (Rai dkk, 2014). Sifat khas dari matriks $[R]$ yaitu inversnya sama dengan transpose-nya, atau dapat dituliskan sebagai berikut:

$$[R]^{-1} = [R]^T$$

Berikut persamaan yang menghubungkan $[t]$ dan $[t^*]$ serta $[\lambda]$ dan $[\lambda^*]$:

$$[t^*] = [R][t] \text{ atau } [t] = [R]^T [t^*]$$

Dan

$$[\lambda^*] = [R][\lambda] \text{ atau } [\lambda] = [R]^T [\lambda^*]$$

Berdasarkan persamaan diatas, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$[t^*] = [R][t] = [R][\sigma][\lambda] = [R][\sigma][R]^T [\lambda^*]$$

Karena:

$$[t^*] = [\sigma^*][\lambda^*]$$

Maka:

$$[\sigma^*] = [R][\sigma][R]^T$$

Atau dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \sigma_l & \tau_{lm} & \tau_{ln} \\ \tau_{ml} & \sigma_m & \sigma_{mn} \\ \tau_{nl} & \tau_{nm} & \sigma_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x & l_y & l_z \\ m_x & m_y & m_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \\ l_z & m_z & n_z \end{bmatrix}$$

Jadi dengan menggunakan sistem perkalian matriks pada ruas kanan dari persamaan diatas, maka setiap komponen

tegangan akibat dari perputaran dari masing – masing sumbu dapat ditentukan

DAFTAR PUSTAKA

- Arini, R. N., Pradana, R. 2021. Analisa tegangan regangan pada balok dengan menggunakan Software abaqus cae v6.14. Jurnal Artesis, 1 (2): 193-198.
- Cauchy, A. L. 1826. Sur un nouveau genre de calcul analogue au infinitesimal (On a new type of calculus analogous to the infinitesimal calculus), Exercices de Mathematique, vol. 1, p.11.
- Lammirta, L dan Tediando, L. S. 2018. Analisis Tegangan Dan Defleksi Pada Balok Kastela Dengan Buka Rhomb Menggunakan Metode Elemen Hingga. Jurnal Mitra Teknik Sipil, 1(1): 55-64.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., Wattimena, R. K. 2014. *Mekanika Batuan*. Bandung: Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Setiawan, A. A. 2019. Bahan Ajar Mekanika Bahan: Analisis Tegangan dan Regangan. Tangerang Selatan: Universitas Pembangunan Jaya.
- Tirana, M. 2022. Analisa Tegangan Dan Deformasi Pada Balok Profil IWF Dengan Balok Profil Kanal Ganda Dan Profil Siku Tersusun. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT], 2(5): 366-374.
- Wattimena, R.K. 2016. Bahan Ajar Mata Kuliah Mekanika Batuan Lanjut I: Analisis Tegangan. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

BAB 8

DEFLEKSI BALOK TERTENTU

Oleh Iis Roin Widiati

8.1 Pendahuluan

Defleksi balok tertentu adalah perpindahan atau kelenturan yang dialami oleh balok saat diberi beban. Hal ini terjadi karena adanya gaya atau beban yang bekerja pada balok tersebut, seperti gaya tarik, tekan, atau momen yang menyebabkan balok melengkung. Ketika beban diterapkan pada balok, maka balok akan mengalami perubahan bentuk dan mengalami defleksi atau perpindahan dari posisi awalnya.

Perpindahan atau kelenturan balok dapat terjadi dalam berbagai bentuk, tergantung pada jenis beban yang diterapkan dan sifat-sifat material balok. Misalnya, pada balok yang diberi beban tegak lurus (seperti beban titik, beban terdistribusi, atau momen) pada salah satu ujungnya, balok akan melengkung dan titik-titik pada balok akan berpindah dari posisi awalnya. Perpindahan atau defleksi balok bisa berupa perpindahan horizontal, vertikal, atau rotasional. Defleksi vertikal umumnya menjadi yang paling diperhatikan, karena dapat mempengaruhi tingkat kekakuan dan stabilitas balok. Perpindahan ini diperhitungkan untuk memastikan keandalan dan kinerja struktur. Dalam beberapa aplikasi, seperti dalam perancangan jembatan, bangunan bertingkat, atau mesin yang melibatkan balok, pemahaman tentang perpindahan yang terjadi pada balok menjadi hal penting untuk dilakukan pengecekan bahwa struktur tersebut berfungsi dengan aman dan sesuai dengan persyaratan desain.

Defleksi balok dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti panjang balok, bentuk penampang, tipe bahan, dan beban yang

diterapkan. Defleksi biasanya diukur dalam satuan jarak, seperti meter atau milimeter.

Defleksi balok dapat dihitung menggunakan berbagai metode analitis atau metode numerik, tergantung pada kompleksitas balok dan beban yang diterapkan. Beberapa metode umum yang digunakan meliputi metode momen, metode diferensial, atau metode elemen hingga (*Finite Element Method*).

Perhitungan defleksi balok sangat penting dalam perancangan struktur, terutama ketika kekakuan balok menjadi faktor kritis dalam menentukan kekuatan dan stabilitas struktur. Dengan memahami defleksi balok tertentu, insinyur struktur dapat memastikan bahwa balok dapat menahan beban yang diterapkan tanpa menyebabkan kegagalan struktural atau ketidaknyamanan yang berlebihan.

8.2 Konsep Dasar Defleksi Balok

Konsep dasar defleksi balok merujuk pada prinsip-prinsip fundamental yang terkait dengan perpindahan atau deformasi yang terjadi pada balok saat diberi beban. Prinsip-prinsip fundamental yang terkait dengan perpindahan digunakan untuk memahami, menganalisis, dan memodelkan perpindahan atau perubahan posisi dalam berbagai konteks fisik atau teknik. Beberapa prinsip fundamental yang terkait dengan perpindahan antara lain prinsip kekekalan perpindahan, prinsip dasar mekanika, prinsip elastisitas, prinsip termodinamika, dan prinsip konservasi.

- a. Prinsip Dasar Mekanika: Dalam mekanika klasik, prinsip dasar Newton menyatakan bahwa perubahan posisi atau perpindahan suatu objek berhubungan dengan gaya yang diterapkan padanya melalui hukum gerak Newton. Hukum kedua Newton menerangkan bahwa gaya yang beraksi atau bekerja pada suatu benda sebanding dengan

- percepatannya, yang akan menghasilkan perubahan posisi atau perpindahan.
- b. Prinsip Elastisitas: Dalam konteks elastisitas, prinsip ini menyatakan bahwa perpindahan atau deformasi suatu benda yang elastis akan kembali ke bentuk asalnya apabila beban yang menyebabkan deformasi tersebut dihilangkan. Prinsip ini terkait dengan perilaku elastis bahan, di mana perpindahan akibat beban dapat dianggap reversibel.
 - c. Prinsip Termodinamika: Dalam termodinamika, prinsip dasar termodinamika menyatakan bahwa energi suatu sistem dapat berubah bentuk atau pindah dari satu bentuk ke bentuk lain, tetapi total energi sistem tersebut tetap sama atau konstan. Prinsip ini juga berlaku untuk perpindahan energi dalam bentuk panas dan energi potensial.
 - d. Prinsip Konservasi: Prinsip konservasi menyatakan bahwa jumlah atau sifat tertentu suatu besaran fisika tetap konstan dalam sistem tertutup, kecuali jika ada interaksi dengan sistem lain atau lingkungan. Prinsip kekekalan momentum menyatakan bahwa total momentum suatu sistem tetap konstan dalam ketiadaan gaya eksternal yang bekerja pada sistem.

Prinsip-prinsip fundamental ini menjadi dasar bagi pemodelan dan analisis perpindahan dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknik, seperti fisika, mekanika, termodinamika, dan rekayasa struktural. Menerapkan prinsip-prinsip ini membantu dalam memahami dan memprediksi perpindahan yang terjadi dalam sistem fisik, baik dalam skala mikro maupun makro.

8.2.1 Prinsip Kekekalan Perpindahan

Prinsip kekekalan perpindahan dikenal juga sebagai prinsip kekekalan posisi atau prinsip kekekalan lokasi, merupakan konsep dalam fisika yang menyatakan bahwa total perpindahan atau

perubahan posisi suatu sistem tetap konstan dalam jangka waktu tertentu, kecuali jika ada interaksi eksternal yang mempengaruhinya. Dalam konteks ini, perpindahan bisa merujuk pada perpindahan partikel, perpindahan energi, atau perpindahan massa. Prinsip ini didasarkan pada observasi bahwa dalam kondisi tertentu, posisi suatu objek atau sistem dapat berubah, tetapi jumlah total perubahan posisi seluruhnya tetap tidak berubah. Prinsip kekekalan perpindahan muncul dalam berbagai konteks fisik, seperti mekanika, termodinamika, dan elektromagnetisme. Konsep ini juga terkait dengan prinsip dasar konservasi yang lebih umum, di mana suatu besaran fisika tetap konstan dalam sistem tertutup.

Dalam konteks mekanika klasik, prinsip kekekalan perpindahan didasarkan pada hukum gerak Newton dan prinsip dasar inersia. Hukum pertama Newton menyatakan bahwa suatu benda akan tetap diam atau dengan kecepatan konstan tetap bergerak lurus kecuali ada gaya yang bekerja padanya. Prinsip kekekalan perpindahan menyatakan bahwa jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja, total perpindahan atau perubahan posisi seluruh sistem akan tetap konstan. Dalam hal ini, perpindahan satu objek atau bagian sistem dapat dikompensasi oleh perpindahan yang berlawanan dari objek lain dalam sistem, sehingga total perpindahan sistem tetap nol. Misalkan Anda memiliki dua benda dengan massa yang sama, A dan B, yang masing-masing bergerak pada sumbu x . Jika benda A bergerak ke arah positif sumbu x sejauh 5 meter, maka berdasarkan prinsip kekekalan perpindahan, benda B harus bergerak ke arah negatif sumbu x sejauh 5 meter agar total perpindahan kedua benda tetap nol.

Penerapan prinsip kekekalan perpindahan memungkinkan analisis yang lebih sistematis dan pemahaman tentang perpindahan atau perubahan posisi dalam berbagai sistem fisik. Penting untuk dicatat bahwa prinsip kekekalan perpindahan berlaku dalam kondisi tertentu, di mana tidak ada gaya eksternal

yang signifikan atau interaksi dengan sistem lain yang dapat mempengaruhi perpindahan. Dalam kondisi dimana gaya eksternal signifikan hadir, total perpindahan atau perubahan posisi sistem dapat berubah seiring waktu.

Prinsip kekekalan perpindahan digunakan untuk memastikan bahwa total perpindahan, energi, muatan, atau massa dalam sistem tetap konstan. Prinsip ini membantu memahami bagaimana perpindahan atau perubahan posisi satu komponen dapat dikompensasi oleh perpindahan atau perubahan posisi komponen lain dalam sistem, sehingga menjaga kekekalan total perpindahan atau perubahan posisi.

8.2.2 Prinsip Dasar Mekanika

Prinsip dasar mekanika merujuk pada kumpulan prinsip dan hukum yang digunakan untuk memahami pergerakan benda dan interaksi gaya dalam sistem fisik. Mekanika adalah cabang fisika yang mempelajari gerak dan keadaan keseimbangan benda, serta hubungan antara gaya, massa, dan perubahan gerak. Berikut adalah penjelasan lebih detail tentang prinsip dasar mekanika:

- a. Hukum Inersia (Hukum Pertama Newton): Hukum inersia menyatakan bahwa suatu benda akan tetap dalam keadaan diam atau bergerak lurus dengan kecepatan konstan kecuali jika ada gaya eksternal yang bekerja padanya. Hukum ini menjelaskan konsep inersia, yaitu kecenderungan benda untuk tetap dalam keadaan saat ini, baik itu bergerak atau diam, kecuali ada pengaruh eksternal yang memaksanya berubah.
- b. Hukum Gerak (Hukum Kedua Newton): Hukum gerak menyatakan bahwa perubahan gerak suatu benda sebanding dengan gaya yang diberikan padanya dan berbanding terbalik dengan massa benda tersebut. Secara matematis, hukum ini dapat dirumuskan sebagai $F = ma$, di mana F adalah gaya yang bekerja pada benda, m adalah massa benda, dan a adalah percepatan yang dihasilkan oleh gaya tersebut.

- c. Aksi dan Reaksi (Hukum Ketiga Newton): Hukum aksi dan reaksi menyatakan bahwa setiap aksi gaya akan memiliki reaksi gaya yang sebesar tetapi berlawanan arah dengan aksi tersebut. Artinya, jika suatu benda memberikan gaya pada benda lain (aksi), maka benda yang kedua akan memberikan gaya yang sama besar namun berlawanan arah pada benda pertama (reaksi).
- d. Hukum Kekekalan Energi Mekanik: Hukum kekekalan energi mekanik menyatakan bahwa dalam sistem tertutup, total energi mekanik (energi kinetik + energi potensial) tetap konstan selama tidak ada gaya non-konservatif yang bekerja pada sistem. Prinsip ini menunjukkan bahwa energi dalam sistem dapat berubah dari bentuk satu ke bentuk lain (misalnya, dari energi kinetik menjadi energi potensial), tetapi jumlah total energi tetap konstan.
- e. Hukum Kekekalan Momentum: Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa total momentum suatu sistem tetap konstan jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada sistem. Momentum adalah produk antara massa dan kecepatan suatu benda. Hukum kekekalan momentum menunjukkan bahwa dalam sistem tertutup, momentum total sebelum dan setelah suatu interaksi harus sama.

Prinsip dasar mekanika ini menjadi dasar dalam memahami pergerakan benda dan interaksi gaya dalam berbagai konteks fisika. Dengan menerapkan prinsip-prinsip ini, kita dapat memprediksi dan menjelaskan perubahan gerak, keseimbangan benda, dan respons sistem fisik terhadap gaya dan interaksi yang bekerja padanya.

8.2.3 Prinsip Elastisitas

Prinsip elastisitas adalah konsep dalam fisika yang berkaitan dengan respons benda terhadap gaya yang diterapkan padanya. Prinsip ini menyatakan bahwa benda elastis akan mengalami deformasi saat diberi beban, namun setelah beban dihilangkan, benda akan kembali ke bentuk dan ukuran semula. Berikut ini adalah penjelasan lebih detail tentang prinsip elastisitas:

- a. Titik Balik Elastis: Pada prinsip elastisitas, terdapat titik balik elastis yang menandai keadaan awal benda sebelum deformasi. Setiap deformasi yang terjadi pada benda elastis dapat dikembalikan ke titik balik ini setelah beban dihilangkan. Ini berarti bahwa benda elastis memiliki sifat memulihkan diri dan dapat kembali ke bentuk semula.
- b. Hukum Hooke: Hukum Hooke adalah hukum dasar elastisitas yang menggambarkan hubungan linier antara gaya yang diterapkan pada benda elastis dan deformasi yang dihasilkan oleh benda tersebut. Hukum Hooke dinyatakan dalam rumus $F = kx$, di mana F adalah gaya yang diterapkan, k adalah konstanta elastisitas (konstanta pegas), dan x adalah deformasi atau perubahan panjang atau posisi benda elastis dari keadaan semula.
- c. Batas Elastis: Setiap benda elastis memiliki batas elastis, yaitu batas di mana benda dapat mengalami deformasi elastis. Selama beban yang diterapkan tidak melebihi batas elastis, benda akan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Jika beban melebihi batas elastis, benda dapat mengalami deformasi plastis atau bahkan kegagalan permanen.
- d. Modulus Elastisitas: Modulus elastisitas mengukur sejauh mana benda elastis dapat mengembalikan deformasinya setelah beban dihilangkan. Modulus elastisitas merupakan sifat intrinsik bahan dan dapat digunakan untuk membandingkan elastisitas bahan-bahan yang berbeda.

Terdapat beberapa jenis modulus elastisitas, termasuk modulus Young untuk tegangan tarik atau tekan, modulus geser untuk deformasi geser, dan modulus Bulk untuk deformasi volumetrik.

- e. Kurva Tegangan-Deformasi: Kurva tegangan-deformasi adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara tegangan (gaya per unit luas) yang diterapkan pada benda elastis dan deformasi yang dihasilkan oleh benda tersebut. Kurva ini digunakan untuk memvisualisasikan perilaku elastis dan plastis bahan. Pada bagian elastis kurva, deformasi bersifat proporsional dengan tegangan, sedangkan pada bagian plastis kurva, deformasi tidak lagi reversibel dan terjadi deformasi permanen.

Penerapan prinsip elastisitas penting dalam berbagai bidang, seperti rekayasa struktural, material, dan perancangan produk. Dengan memahami prinsip elastisitas, kita dapat merancang struktur yang dapat menahan beban dan kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan, serta memilih bahan yang memiliki sifat elastis yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi. Prinsip elastisitas juga penting dalam analisis kekuatan struktur, perancangan peralatan mekanis, pengembangan material elastis, dan bidang-bidang lain di mana pemahaman tentang deformasi elastis dan kemampuan pemulihan benda merupakan faktor yang kritical.

Dengan memanfaatkan prinsip elastisitas, insinyur dan ilmuwan dapat mengembangkan desain yang aman, efisien, dan tahan lama. Mereka dapat memprediksi respons benda terhadap beban yang diberikan, menghindari deformasi permanen atau kegagalan struktural, dan memastikan bahwa struktur atau produk yang dibuat dapat berfungsi dengan baik dalam lingkungan yang berbeda. Pemahaman yang baik tentang prinsip elastisitas memungkinkan pengembangan teknologi yang lebih canggih,

peningkatan efisiensi, dan penggunaan bahan yang lebih optimal dalam berbagai aplikasi teknik dan industri.

8.2.4 Prinsip Konservasi

Prinsip Konservasi adalah prinsip dalam fisika yang menyatakan bahwa suatu besaran fisik tertentu, seperti energi, momentum, muatan listrik, massa, atau jumlah partikel, tetap konstan dalam sistem tertutup ketika tidak ada interaksi dengan lingkungan eksternal. Prinsip ini didasarkan pada gagasan bahwa besaran-besaran tersebut tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, melainkan hanya dapat berubah bentuk atau dipindahkan di antara komponen sistem.

Berikut adalah penjelasan lebih detail tentang prinsip konservasi untuk beberapa besaran fisik umum:

- a. **Konservasi Energi:** Prinsip konservasi energi menyatakan bahwa total energi dalam sistem tertutup tetap konstan. Energinya dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain, seperti energi kinetik, energi potensial, energi termal, atau energi dalam bentuk lainnya, tetapi jumlah total energi selalu tetap. Misalnya, dalam sistem mekanik tertutup, energi kinetik dapat berubah menjadi energi potensial dan sebaliknya, tetapi jumlah total energi tetap konstan.
- b. **Konservasi Momentum:** Prinsip konservasi momentum menyatakan bahwa total momentum dalam sistem tertutup tetap konstan. Momentum adalah produk antara massa dan kecepatan suatu benda. Dalam sistem tertutup, jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja, momentum total sebelum dan setelah suatu interaksi harus sama. Misalnya, dalam tumbukan dua benda, momentum total kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan harus tetap sama.
- c. **Konservasi Muatan Listrik:** Prinsip konservasi muatan listrik menyatakan bahwa jumlah total muatan listrik dalam sistem tertutup tetap konstan. Muatan listrik tidak

dapat diciptakan atau dihancurkan, hanya dapat dipindahkan antara objek atau komponen sistem. Misalnya, dalam reaksi kimia di mana elektron dipindahkan dari satu atom ke atom lainnya, jumlah total muatan positif dan negatif dalam sistem tetap sama.

- d. **Konservasi Massa:** Prinsip konservasi massa menyatakan bahwa massa total dalam sistem tertutup tetap konstan. Massa tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, hanya dapat diubah bentuknya atau dipindahkan antara komponen sistem. Misalnya, dalam reaksi kimia atau reaksi nuklir, jumlah total massa atom sebelum dan setelah reaksi tetap sama.
- e. **Konservasi Momentum:** Prinsip konservasi momentum menyatakan bahwa total momentum dalam sistem tertutup tetap konstan. Momentum adalah produk antara massa dan kecepatan suatu benda. Dalam sistem tertutup, jika tidak ada gaya eksternal yang bekerja, momentum total sebelum dan setelah suatu interaksi harus sama. Misalnya, dalam tumbukan dua benda, momentum total kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan harus tetap sama. Prinsip konservasi merupakan prinsip dasar dalam fisika yang digunakan untuk memahami dan memodelkan berbagai fenomena alam. Dengan menerapkan prinsip ini, kita dapat memprediksi perubahan dan interaksi dalam sistem fisik, mengidentifikasi hubungan antara berbagai besaran fisik, dan menjelaskan fenomena alam yang melibatkan kekekalan jumlah total besaran.

8.3 Analisis Defleksi Balok

8.3.1 Teori Balok Euler-Bernoulli

Teori Balok Euler-Bernoulli, juga dikenal sebagai teori balok lentur atau teori balok tipis, merupakan suatu teori dalam mekanika bahan yang digunakan untuk menganalisis perilaku

balok yang mengalami lenturan. Teori ini dinamai berdasarkan kontribusi dari Leonhard Euler dan Daniel Bernoulli yang mengembangkannya pada abad ke-18. Berikut adalah penjelasan lebih detail tentang Teori Balok Euler-Bernoulli:

a. Asumsi Balok Tipis

Teori Balok Euler-Bernoulli didasarkan pada asumsi bahwa balok adalah struktur tipis, dengan dimensi tinggi yang jauh lebih kecil daripada dimensi panjang dan lebar balok. Asumsi ini memungkinkan kita untuk mengabaikan efek pengaruh deformasi dalam ketebalan balok.

b. Lenturan Balok

Teori ini berfokus pada analisis perilaku balok yang mengalami lenturan atau pembengkokan akibat beban yang diterapkan. Balok diasumsikan elastis-linear, artinya materi balok memiliki sifat elastis dan balok tidak mengalami deformasi plastis.

c. Hipotesis Lenturan

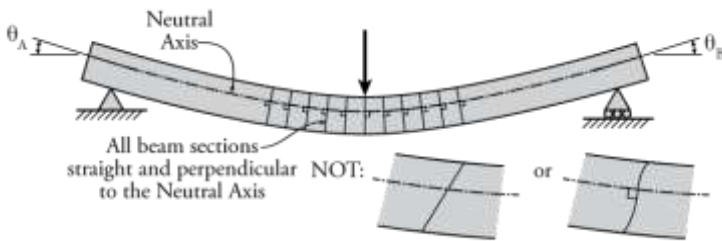
Teori Balok Euler-Bernoulli didasarkan pada hipotesis bahwa setiap bagian lintang balok tetap lurus dan tegak lurus terhadap bidang lintang sebelum lenturan. Artinya, garis-garis memanjang awal di bagian lintang balok tetap lurus setelah lenturan.

d. Persamaan Lenturan: Teori ini menggunakan persamaan diferensial orde empat, yang dikenal sebagai Persamaan Lenturan Euler-Bernoulli, untuk menggambarkan respons lentur balok terhadap beban yang diterapkan. Persamaan ini melibatkan momen lentur, momen inersia, modulus elastisitas, momen kelengkungan, dan perpindahan lentur balok.

e. Solusi Persamaan Lenturan: Dengan menggunakan teknik matematika seperti metode pergeseran atau metode elemen hingga, persamaan lenturan Euler-Bernoulli dapat dipecahkan untuk mendapatkan pola lenturan dan

distribusi momen dalam balok. Solusi ini dapat memberikan informasi tentang bentuk lenturan balok, besaran momen maksimum, dan perpindahan maksimum pada titik tertentu.

- f. Batas Elastisitas: Teori Balok Euler-Bernoulli hanya berlaku untuk balok yang berada dalam batas elastis. Jika beban yang diterapkan melebihi batas elastisitas balok, deformasi plastis dapat terjadi, dan teori ini tidak lagi berlaku.



Gambar 8.1. Perilaku Balok Lentur berdasarkan Teori Balok Euler-Bernoulli

Pada gambar 8.1, sebuah balok yang didukung di kedua ujungnya dan diberi beban di tengah balok. Ketika beban diterapkan, balok akan mengalami lenturan atau pembengkokan. Dalam teori ini, kita dapat menganalisis pola lenturan dan distribusi momen di balok tersebut. Misalnya, jika beban diterapkan secara vertikal pada balok, maka balok akan mengalami lenturan negatif di bagian tengah (pembengkokan ke bawah) dan lenturan positif di kedua ujungnya (pembengkokan ke atas). Distribusi momen akan mencapai nilai maksimum di bagian tengah balok dan secara bertahap berkurang menuju kedua ujung balok yang didukung.

Teori Balok Euler-Bernoulli adalah suatu model yang digunakan dalam analisis struktur balok untuk memahami perilaku

lentur balok akibat beban yang diterapkan. Dengan menggunakan prinsip-prinsip dan persamaan yang dikembangkan dalam teori ini, kita dapat memprediksi respons balok lentur seperti distribusi momen, perpindahan, serta bentuk dan pola lenturan balok yang terjadi.

Dalam Teori Balok Euler-Bernoulli, terdapat beberapa rumus penting yang digunakan untuk menganalisis perilaku balok lentur. Berikut adalah beberapa rumus yang sering digunakan:

1. Persamaan Balok Lentur

Persamaan lenturan balok dalam Teori Balok Euler-Bernoulli adalah sebagai berikut:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) = q(x)$$

di mana:

- w adalah fungsi perpindahan lentur balok terhadap sumbu x (perpindahan vertikal balok pada posisi x),
- x adalah posisi pada sumbu balok,
- EI adalah momen inersia lentur balok dikalikan dengan modulus elastisitas bahan balok,
- $q(x)$ adalah beban yang diterapkan pada balok sebagai fungsi posisi x .

2. Persamaan Momen Lentur

Persamaan momen lentur digunakan untuk menghitung momen di dalam balok sebagai fungsi perpindahan lentur:

$$M(x) = -EI \frac{d^2 w}{dx^2}$$

dimana $M(x)$ adalah momen lentur pada posisi x

3. Persamaan Tegangan Lentur:

Tegangan lentur dalam balok dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma(x) = \frac{M(x)}{S}$$

dimana $\sigma(x)$ adalah tegangan lentur pada posisi x dan S adalah momen penampang balok.

4. Persamaan Deformasi Lentur:

Deformasi lentur dalam balok dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\varepsilon(x) = \frac{d^2w}{dx^2}$$

dimana $\varepsilon(x)$ adalah deformasi lentur pada posisi x .

Rumus-rumus ini merupakan salah satu dasar dalam Teori Balok Euler-Bernoulli dan digunakan dalam menganalisis perilaku balok lentur, termasuk perpindahan, momen, tegangan, dan deformasi dalam balok.

8.3.2 Analisis defleksi balok dengan beban titik

Analisis defleksi balok dengan beban titik adalah proses untuk menghitung dan memprediksi perpindahan vertikal balok pada lokasi tertentu ketika beban titik diterapkan. Beban titik adalah beban konsentrasi yang diterapkan pada satu titik di sepanjang panjang balok, seperti beban yang dihasilkan oleh gaya terpusat atau beban yang diterapkan pada suatu titik tertentu.

Berikut adalah langkah-langkah umum yang digunakan dalam analisis defleksi balok dengan beban titik:

1. Identifikasi Geometri dan Sifat Material Balok

Langkah pertama adalah mengidentifikasi geometri balok, yaitu panjang balok (L), momen inersia penampang balok (I), dan modulus elastisitas material balok (E). Panjang balok merupakan jarak antara dua titik dukungan atau batas balok di mana beban titik diterapkan.

2. Gambarkan Diagram Momen.

Setelah mengidentifikasi geometri balok, langkah selanjutnya adalah membuat diagram momen $M(x)$. Diagram momen adalah representasi grafis dari distribusi

momen lentur di sepanjang balok. Untuk beban titik, momen lentur akan mencapai nilai maksimum di lokasi beban dan berkurang menjadi nol di titik-titik dukungan.

3. Tentukan Persamaan Lenturan

Untuk analisis defleksi balok dengan beban titik, kita perlu menggunakan persamaan lenturan balok. Dalam teori Balok Euler-Bernoulli, persamaan lenturan balok diberikan oleh persamaan diferensial orde empat:

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) = M(x)$$

di mana w adalah fungsi defleksi balok terhadap sumbu x (defleksi vertikal pada posisi x) dan $M(x)$ adalah momen lentur pada posisi x .

4. Integrasikan Persamaan Lenturan

Selanjutnya, kita perlu mengintegrasikan persamaan lenturan untuk mendapatkan persamaan defleksi balok. Dengan memasukkan fungsi momen lentur $M(x)$ yang sesuai dari diagram momen ke persamaan lenturan, kita dapat mengintegrasikan persamaan tersebut untuk memperoleh persamaan defleksi balok. Dalam beberapa kasus, fungsi momen dapat berubah secara diskontinu pada lokasi beban titik, sehingga harus dilakukan analisis terpisah pada bagian-balok yang berbeda sebelum persamaan defleksi dapat diintegrasikan secara keseluruhan.

5. Terapkan Kondisi Awal dan Batasan

Untuk menentukan konstanta integrasi dalam persamaan defleksi, perlu diberikan kondisi awal dan batasan yang sesuai. Kondisi awal dapat berupa defleksi dan turunan pertama pada titik dukungan atau batas balok. Batasan diterapkan pada titik-titik dukungan, di mana defleksi

harus nol. Dengan menggunakan kondisi awal dan batasan, kita dapat menentukan konstanta integrasi yang tepat.

6. Hitung Defleksi Balok

Setelah mendapatkan persamaan defleksi balok dengan konstanta integrasi yang tepat, kita dapat menggunakannya untuk menghitung defleksi pada posisi yang diinginkan. Misalnya, jika beban titik diterapkan pada posisi $x=a$, defleksi pada titik tersebut $w(a)$ dapat dihitung dengan menggantikan x dengan a dalam

8.3.3 Analisis defleksi balok dengan beban terdistribusi

Analisis defleksi balok dengan beban terdistribusi melibatkan menghitung dan memprediksi perpindahan vertikal balok pada berbagai posisi akibat beban yang didistribusikan secara merata di sepanjang panjang balok. Beban terdistribusi dapat berupa beban linier (misalnya, beban ganda, beban segitiga) atau beban non-linier (misalnya, beban parabolik, beban sinusoidal).

Berikut adalah langkah-langkah umum yang digunakan dalam analisis defleksi balok dengan beban terdistribusi:

1. Identifikasi Geometri dan Sifat Material Balok

Tentukan panjang balok, momen inersia penampang balok (I), dan modulus elastisitas material balok (E). Informasi ini diperlukan untuk melakukan perhitungan defleksi.

2. Gambarkan Diagram Beban dan Beban Linier Setara

Buat diagram beban untuk mewakili beban terdistribusi di sepanjang panjang balok. Jika beban terdistribusi adalah beban linier, misalnya beban ganda atau beban segitiga, konversikan beban terdistribusi menjadi beban linier setara yang memiliki magnitudo yang sama di seluruh panjang balok.

3. Gambarkan Diagram Momen

Gunakan diagram beban untuk menghitung momen lentur pada setiap posisi di balok. Diagram momen ($M(x)$) akan menunjukkan distribusi momen lentur pada balok akibat beban terdistribusi.

4. Tentukan Persamaan Lenturan

Gunakan persamaan lenturan balok (biasanya Persamaan Lenturan Balok Euler-Bernoulli) untuk mendapatkan persamaan diferensial yang menghubungkan momen lentur dengan defleksi balok. Persamaan ini biasanya berbentuk

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) = M(x)$$

5. Integrasikan Persamaan Lenturan

Integrasikan persamaan diferensial lenturan untuk memperoleh persamaan defleksi balok sebagai fungsi posisi x . Konstanta integrasi yang tepat harus ditentukan dengan menggunakan kondisi awal dan batasan yang sesuai. Kondisi awal dapat berupa defleksi dan turunan pertama pada titik dukungan atau batas balok. Batasan diterapkan pada titik-titik dukungan, di mana defleksi harus nol.

6. Hitung Defleksi Balok

Gunakan persamaan defleksi balok yang telah diperoleh untuk menghitung defleksi pada lokasi yang diinginkan. Misalnya, jika ingin mengetahui defleksi pada titik tengah balok, substitusikan nilai x dengan nilai tengah balok dalam persamaan defleksi.

7. Evaluasi dan Interpretasi Hasil

Analisis defleksi balok dengan beban terdistribusi akan memberikan nilai defleksi pada posisi yang diinginkan. Hasil tersebut dapat digunakan untuk memahami respons struktural balok terhadap beban terdistribusi dan

memastikan bahwa defleksi tersebut dalam batas yang dapat diterima.

Penting untuk dicatat bahwa analisis defleksi balok dengan beban terdistribusi didasarkan pada beberapa asumsi, seperti balok elastis-linear, balok tipis, dan deformasi yang hanya terjadi dalam satu bidang. Selain itu, kompleksitas beban terdistribusi tertentu atau variasi dalam sifat material balok dapat memerlukan metode analisis yang lebih canggih atau penggunaan metode numerik untuk mendapatkan solusi yang akurat.

8.3.4 Defleksi Balok Dengan Beban Gaya Lateral

Defleksi balok dengan beban gaya lateral adalah analisis untuk menghitung dan memprediksi perpindahan vertikal balok yang dipengaruhi oleh beban yang diterapkan secara horizontal atau lateral. Beban gaya lateral dapat berasal dari berbagai sumber, seperti angin, gempa, atau gaya geser yang disebabkan oleh muatan lateral di atas balok.

Berikut adalah langkah-langkah umum dalam analisis defleksi balok dengan beban gaya lateral:

1. Identifikasi Geometri dan Sifat Material Balok: Tentukan panjang balok, momen inersia penampang balok (I), dan modulus elastisitas material balok (E). Informasi ini diperlukan untuk melakukan perhitungan defleksi.
2. Tentukan Gaya Lateral yang Diterapkan: Tentukan besaran dan distribusi beban gaya lateral yang diterapkan pada balok. Beban gaya lateral dapat bervariasi sepanjang panjang balok. Misalnya, dalam kasus angin, gaya lateral terbesar biasanya terjadi pada bagian atas balok.
3. Gambarkan Diagram Momen: Gunakan beban gaya lateral yang diterapkan untuk menghitung momen lentur pada setiap posisi di balok. Diagram momen ($M(x)$) akan

menunjukkan distribusi momen lentur pada balok akibat beban gaya lateral.

4. Tentukan Persamaan Lenturan: Gunakan persamaan lenturan balok (biasanya Persamaan Lenturan Balok Euler-Bernoulli) untuk mendapatkan persamaan diferensial yang menghubungkan momen lentur dengan defleksi balok. Persamaan ini biasanya berbentuk

$$\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 w}{dx^2} \right) = M(x)$$

5. Integrasikan Persamaan Lenturan
Integrasikan persamaan diferensial lenturan untuk memperoleh persamaan defleksi balok sebagai fungsi posisi x . Konstanta integrasi yang tepat harus ditentukan dengan menggunakan kondisi awal dan batasan yang sesuai. Kondisi awal dapat berupa defleksi dan turunan pertama pada titik dukungan atau batas balok. Batasan diterapkan pada titik-titik dukungan, di mana defleksi harus nol.
6. Hitung Defleksi Balok
Gunakan persamaan defleksi balok yang telah diperoleh untuk menghitung defleksi pada lokasi yang diinginkan. Misalnya, jika ingin mengetahui defleksi pada titik tengah balok, substitusikan nilai x dengan nilai tengah balok dalam persamaan defleksi.
7. Evaluasi dan Interpretasi Hasil
Analisis defleksi balok dengan beban gaya lateral memberikan nilai defleksi pada posisi yang diinginkan. Hasil tersebut digunakan untuk memahami respons struktural balok terhadap beban gaya lateral dan memastikan bahwa defleksi balok berada dalam batas yang dapat diterima.
Penting untuk diingat bahwa analisis defleksi balok dengan beban gaya lateral didasarkan pada beberapa asumsi, seperti

balok elastis-linear, deformasi yang hanya terjadi dalam satu bidang, dan distribusi beban yang seragam. Selain itu, kompleksitas beban gaya lateral tertentu atau variasi dalam sifat material balok dapat memerlukan metode analisis yang lebih canggih atau penggunaan metode numerik untuk mendapatkan solusi yang akurat.

8.3.5 Defleksi Metode Elemen Hingga Untuk Analisis Defleksi Balok

Metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) adalah teknik numerik yang digunakan untuk menganalisis defleksi balok secara detail. Metode ini membagi struktur balok menjadi elemen-elemen kecil yang terhubung, dan kemudian memodelkan perilaku defleksi balok berdasarkan persamaan-persamaan mekanika dan prinsip elastisitas.

Berikut adalah langkah-langkah umum dalam analisis defleksi balok menggunakan metode elemen hingga:

1. Diskritisasi Balok

Balok dipartisi menjadi elemen-elemen kecil yang biasanya berbentuk segmen garis. Setiap elemen memiliki panjang yang tetap dan ditandai dengan simpul-simpul yang terhubung. Jumlah dan ukuran elemen yang dipilih akan mempengaruhi akurasi hasil analisis.

2. Penentuan Persamaan Elemen

Setiap elemen balok diapit oleh simpul-simpul yang terhubung. Persamaan yang menggambarkan hubungan antara defleksi balok dan gaya yang diterapkan diturunkan menggunakan prinsip elastisitas. Persamaan tersebut biasanya berbentuk persamaan diferensial parsial yang menggambarkan perilaku defleksi pada elemen balok.

3. Penyusunan Matriks Sistem

Dengan menggunakan persamaan elemen dari langkah sebelumnya, matriks kekakuan elemen balok dikonstruksi.

Matriks ini menggambarkan hubungan antara gaya dan defleksi pada setiap simpul. Dengan menggabungkan matriks kekakuan dari semua elemen, matriks sistem global dibentuk.

4. Penerapan Batasan dan Kondisi Awal

Batasan dan kondisi awal diterapkan pada matriks sistem global untuk memodelkan persyaratan tertentu, seperti simpul-simpul yang terikat atau defleksi yang diketahui pada simpul tertentu. Batasan ini memungkinkan solusi yang unik dan konsisten.

5. Penyelesaian Sistem Persamaan

Dengan menggunakan teknik aljabar linear, sistem persamaan yang dihasilkan diselesaikan untuk memperoleh defleksi balok pada setiap simpul. Metode seperti eliminasi Gauss atau faktorisasi LU dapat digunakan untuk menyelesaikan sistem persamaan.

6. Penghitungan Defleksi dan Reaksi

Setelah sistem persamaan diselesaikan, defleksi pada setiap simpul balok dapat dihitung. Selain itu, reaksi tumpuan dan momen pada titik-titik dukungan juga dapat ditentukan.

7. Evaluasi dan Interpretasi Hasil

Hasil defleksi balok dan reaksi yang diperoleh dari analisis FEM dapat digunakan untuk memahami perilaku struktural balok dan memastikan bahwa defleksi berada dalam batas yang dapat diterima. Hasil ini juga dapat membantu dalam merancang dan mengoptimalkan struktur balok.

Metode elemen hingga memiliki fleksibilitas yang tinggi dalam memodelkan berbagai bentuk dan kompleksitas geometri balok serta beban yang diterapkan. Namun, analisis dengan metode ini memerlukan komputasi yang intensif dan membutuhkan keahlian dalam pemodelan geometri, penentuan kondisi batas, dan

penyelesaian numerik. Selain itu, validitas dan akurasi hasil analisis sangat tergantung pada pemilihan elemen, ukuran elemen, dan formulasi persamaan yang digunakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan verifikasi dan validasi terhadap hasil analisis untuk memastikan keandalan dan keakuratan solusi.

8.3.6 Analisis Defleksi Balok Dengan Mempertimbangkan Faktor Geometri

Analisis defleksi balok dengan mempertimbangkan faktor geometri melibatkan penggunaan persamaan dan metode yang memperhitungkan bentuk dan dimensi geometri balok. Beberapa faktor geometri yang diperhitungkan dalam analisis defleksi balok meliputi:

1. Panjang Balok (L)

Panjang balok merupakan parameter penting yang mempengaruhi tingkat defleksi. Semakin panjang balok, semakin besar kemungkinan defleksi yang terjadi.

2. Penampang Balok

Bentuk dan dimensi penampang balok juga berperan dalam analisis defleksi. Beberapa parameter penampang yang mempengaruhi defleksi antara lain:

- a. Lebar (b) dan Tinggi (h) Penampang

Perubahan dimensi penampang secara langsung mempengaruhi kekakuan dan momen inersia penampang balok, yang kemudian mempengaruhi tingkat defleksi.

- b. Bentuk Penampang

Penampang balok dapat memiliki berbagai bentuk, seperti persegi, persegi panjang, lingkaran, atau bentuk khusus lainnya. Bentuk penampang juga mempengaruhi distribusi momen dan tingkat defleksi.

c. Distribusi Materi

Beberapa penampang balok dapat memiliki distribusi material yang tidak seragam, seperti penampang I atau penampang berlubang. Distribusi materi yang tidak seragam akan mempengaruhi momen inersia penampang dan defleksi

3. Sudut Penyangga

Jika balok didukung pada sudut tertentu, misalnya dengan penyangga miring atau penyangga tidak tegak lurus, sudut penyangga ini juga mempengaruhi defleksi balok. Sudut penyangga mempengaruhi reaksi tumpuan dan momen pada titik dukungan, yang kemudian mempengaruhi defleksi di sepanjang balok.

Dalam analisis defleksi balok, persamaan-persamaan mekanika struktur dan prinsip elastisitas digunakan untuk menggambarkan hubungan antara momen, defleksi, dan faktor-faktor geometri yang mempengaruhi defleksi. Persamaan-persamaan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung defleksi pada berbagai posisi dan titik di balok.

Penting untuk memperhatikan faktor geometri saat merancang atau menganalisis balok, karena faktor-faktor ini dapat mempengaruhi keandalan dan kekuatan struktur balok. Analisis defleksi balok yang mempertimbangkan faktor geometri membantu memahami dan memprediksi defleksi yang terjadi sehingga dapat memastikan bahwa struktur balok memenuhi persyaratan dan batasan yang ditetapkan.

8.4 Pengaruh Material Dan Faktor Lainnya Pada Defleksi Balok

Pengaruh material dan faktor lainnya pada defleksi balok sangat signifikan dalam analisis dan perancangan struktur balok. Berikut ini adalah beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan:

1. Sifat Material:

- a. Modulus Elastisitas (E): Modulus elastisitas adalah ukuran kekakuan material balok. Semakin tinggi modulus elastisitas, semakin kecil defleksi yang terjadi pada balok. Material yang memiliki modulus elastisitas yang tinggi, seperti baja, cenderung memiliki defleksi yang lebih kecil dibandingkan dengan material yang memiliki modulus elastisitas yang rendah, seperti kayu.
- b. Koefisien Poisson (ν): Koefisien Poisson menggambarkan respons perubahan lebar penampang balok terhadap peregangan longitudinalnya. Nilai ν berkisar antara -1 hingga 0,5. Semakin tinggi nilai ν , semakin besar deformasi lateral yang terjadi pada balok.

2. Penampang Balok:

- a. Momennya Inersia (I)
Momen inersia adalah ukuran resistansi penampang balok terhadap pembengkokan. Semakin besar momen inersia, semakin kecil defleksi yang terjadi pada balok. Penampang dengan momen inersia yang lebih besar, seperti penampang berbentuk I atau H, cenderung mengalami defleksi yang lebih kecil dibandingkan dengan penampang berbentuk sederhana seperti persegi atau lingkaran.
- b. Jarak Massa Sentroid (c)
Jarak massa sentroid merupakan jarak dari sumbu referensi terhadap pusat massa penampang balok. Pergeseran massa sentroid juga mempengaruhi defleksi balok.

3. Beban yang Diterapkan:

- a. Beban Titik: Beban titik yang diterapkan pada balok mempengaruhi defleksi. Semakin besar beban titik, semakin besar defleksi pada balok.

- b. **Beban Terdistribusi:** Beban terdistribusi yang diterapkan pada balok, seperti beban linear atau beban segitiga, juga mempengaruhi defleksi. Distribusi beban yang berbeda akan menghasilkan pola defleksi yang berbeda pada balok.
4. **Kondisi Batas:**
- a. **Dukungan:** Tipe dukungan pada ujung-ujung balok juga mempengaruhi defleksi. Dukungan yang menghalangi pergerakan bebas pada ujung-ujung balok, seperti dukungan tegak lurus atau dukungan engsel, akan membatasi defleksi pada balok.
 - b. **Peregangan atau Pemendekan:** Peregangan atau pemendekan balok, yang bisa terjadi akibat perubahan suhu atau deformasi akibat kekuatan terkonsentrasi, juga akan mempengaruhi defleksi.

Pemahaman yang baik tentang pengaruh material dan faktor-faktor lainnya pada defleksi balok penting dalam perancangan dan analisis struktur. Melalui analisis yang tepat, dapat diidentifikasi pengaruh dari setiap faktor tersebut untuk memastikan bahwa defleksi balok berada dalam batas yang dapat diterima sesuai dengan kebutuhan dan persyaratan desain.

8.5 Aplikasi Dalam Desain Struktural

Aplikasi dalam desain struktural menggunakan analisis defleksi balok yang mendalam dan mempertimbangkan faktor-faktor yang telah disebutkan sebelumnya. Berikut ini adalah beberapa contoh aplikasi dalam desain struktural:

1. **Perancangan Bangunan:** Analisis defleksi balok digunakan dalam perancangan bangunan seperti gedung, jembatan, dan struktur lainnya. Dalam desain struktural, defleksi balok harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa

struktur akan memenuhi kekuatan dan kestabilan yang diinginkan.

2. Desain Pelat Beton: Analisis defleksi balok juga penting dalam desain pelat beton untuk lantai dan atap bangunan. Defleksi pelat beton harus dikendalikan agar tidak mengganggu kenyamanan penghuni dan berpengaruh negatif terhadap fungsi bangunan.
3. Rangkaian Pipa: Analisis defleksi balok digunakan dalam desain rangkaian pipa, seperti pipa gas atau pipa minyak, untuk memastikan bahwa defleksi balok yang dihasilkan oleh beban berat pipa dapat ditoleransi tanpa kerusakan atau kegagalan struktural.
4. Konstruksi Jembatan: Analisis defleksi balok sangat penting dalam desain konstruksi jembatan. Defleksi balok yang terjadi akibat beban lalu lintas dan beban hidrolik harus dikendalikan agar jembatan tetap aman dan stabil.
5. Desain Alat Berat: Analisis defleksi balok juga diterapkan dalam desain alat berat seperti derek, tangki penyimpanan, atau struktur mesin industri. Defleksi balok harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa alat berat tersebut dapat menahan beban yang diterapkan dan berfungsi dengan baik.

Dalam semua aplikasi ini, analisis defleksi balok memainkan peran penting dalam memahami perilaku struktural, mengidentifikasi titik lemah dan kebutuhan perkuatan, serta memastikan bahwa struktur memenuhi persyaratan kekuatan, kestabilan, dan kenyamanan yang diperlukan dalam desain struktural.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashby, M., & Jones, D. 2018. *Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications, and Design* (5th ed.).
- Ghali, A., Neville, A. M., & Brown, T. G. 2011. *Structural Analysis: A Unified Classical and Matrix Approach* (6th ed.). CRC Press.
- Hibbeler, R. C. 2013. *Structural Analysis* (8th ed.). Pearson Education.
- Iyengar, N. S., & Bhavikatti, S. S. 2014. *Structural Analysis (Vol. 1)*. IK International Publishing House.
- McCormac, J. C. 2019. *Structural Steel Design* (6th ed.). Pearson.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. 2014. *Design of Reinforced Concrete* (9th ed.). Wiley.
- Megson, T. H. G. 2012. *Structural and Stress Analysis* (4th ed.).
- Rana, S. 2015. *Theory of Structures*. New Age International.
- Salmon, C. G., Johnson, J. E., & Malhas, F. A. 2018. *Steel Structures: Design and Behavior* (5th ed.). Pearson.
- Wang, C. M., & Chung, K. F. 2013. *Mechanics of Structures: Variational and Computational Methods* (2nd ed.). CRC Press.

BAB 9

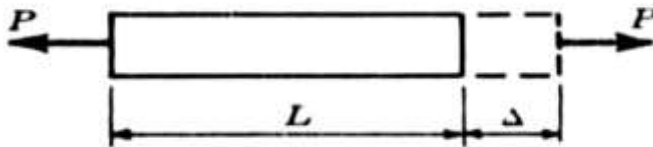
METODE ENERGI REGANGAN

Oleh Anugrah Yasin

9.1 Konsep Energi Regangan

Konsep energi regangan dijelaskan sebelumnya pada bab batang yang terkena beban normal dan puntir. Konsep-konsep tersebut akan dipakai pada lenturan balok. Hanya balok yang mempunyai sifat elastis linier akan dibahas, sehingga, material harus mengikuti hukum Hooke dan lendutan serta rotasi harus kecil. Ketika suatu batang dibebani, panjangnya bertambah secara berangsur-angsur sehingga pada akhirnya tercapai suatu harga pemanjangan maksimum.

9.2 Energi Regangan untuk Batang Lurus yang Dikenai Gaya Tarik P



Gambar 9.1. Balok Dikenai Gaya Tarik

$$U = \frac{P^2 L}{2AE} \text{ atau } U = \int_0^L \frac{P^2 dx}{2AE}$$

Dimana, U = Energi regangan (Nm)

L = Panjang batang (m)

A = Luas

penampang batang (m^2)

P = Gaya (N)

E = Modulus young

(N/m^2)

9.3 Energi Regangan untuk Batang Melingkar



$$U = \frac{T^2 L}{2GJ} \text{ atau } U = \int_0^L \frac{T^2 dx}{2GJ}$$

Dimana, T = Torsi (Nm)

G = Modulus geser (N/m^2)

J = Momen inersia kutub (m^4).

9.4 Energi Regangan untuk Batang yang Dikenai Momen Lentur



$$U = \frac{M^2 L}{2EI} \text{ atau } U = \int_0^L \frac{M^2 dx}{2EI}$$

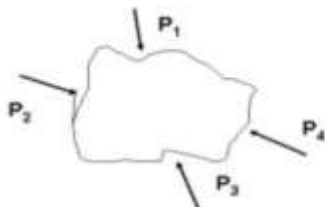
Dimana, M = Momen lentur

I = Momen area kedua

Persamaan di atas dipakai apabila momen lenturnya diketahui. Bila momen lentur M bervariasi sepanjang balok, maka bisa mendapatkan energi regangan dengan menggunakan persamaan di atas yang kedua pada elemen balok dan mengintegrasikan untuk seluruh panjangnya.

9.5 Teori Castigliano

Defleksi di bawah titik gaya P dapat dicari dengan teorema Castigliano. Pada bahan 3 dimensi yang mendapatkan gaya $P_1, P_2, \dots, P_n, \dots$?



The diagram shows an irregular 3D shape representing a body. Four forces are applied to it: P_1 is a downward vertical force at the top; P_2 is a horizontal force pointing left on the left side; P_3 is a diagonal force pointing down and to the right at the bottom; and P_4 is a horizontal force pointing right on the right side.

$$U = \frac{P_1}{2} \Delta_1 + \frac{P_2}{2} \Delta_2 + \dots + \dots$$

$$\text{sehingga} \rightarrow \Delta_n = \frac{\partial U}{\partial P_n}$$

Karena:

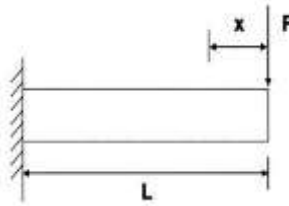
$$U = \int \frac{M^2 dx}{2EI}$$

$$\frac{\partial U}{\partial M} = \int \frac{M dx}{EI}$$

jadi $\Delta = \int \frac{M \frac{\partial M}{\partial P} dx}{EI}$

Contoh-Contoh Soal Dan Pembahasannya

1. Carilah defleksi yang terjadi pada balok karena gaya yang diberikan seperti gambar berikut menggunakan teori Castigliano.



Jawab:

$$M = Px \rightarrow x = \frac{\partial M}{\partial P}$$

$$U = \int_0^L \frac{M^2 dx}{2EI} = \int_0^L \frac{(Px)^2 dx}{2EI} = \left[\frac{P^2 x^3}{6EI} \right]_0^L = \frac{P^2 L^3}{6EI}$$

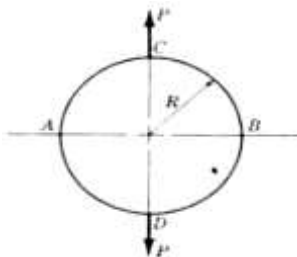
Menurut teori Castigliano

$$\Delta = \frac{\partial U}{\partial P} = \int_0^L \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial P} dx$$

$$M = Px \rightarrow x = \frac{\partial M}{\partial P}$$

$$\text{sehingga} \rightarrow \Delta = \int_0^L \frac{(Px)x dx}{EI} = \left[\frac{Px^3}{3EI} \right]_0^L = \frac{PL^3}{3EI}$$

2. Sebuah cincin tipis seperti gambar, mendapat gaya yang berlawanan arah pada A dan B, carilah momen lentur dan pertambahan diameter cincin.



Jawab :

Berdasarkan teori Castigliano pada bagian ($0 < \theta < \pi/2$) didapatkan rumus:

$$M = +M_A - \frac{P}{2}(R - R \cos \theta) \quad \text{dengan} \quad \frac{\partial M}{\partial M_A} = 1$$

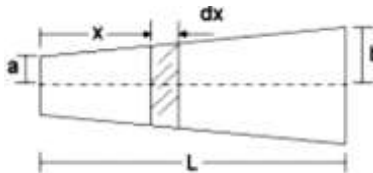
Rotasi sudut 0° pada A didapatkan :

$$\begin{aligned} 0 &= \int_0^{\pi/2} \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial M_A} R d\theta = \int_0^{\pi/2} \frac{\left[M_A - \frac{P}{2}(R - R \cos \theta) \right] (1) R d\theta}{EI} \\ M_A &= \frac{PR}{2} \frac{\pi - 2}{\pi} \rightarrow M = \frac{PR}{2} \frac{\pi - 2}{\pi} - \frac{PR}{2} (1 - \cos \theta) \\ \frac{\partial M}{\partial P} &= \frac{R}{2} \frac{\pi - 2}{\pi} - \frac{R}{2} (1 - \cos \theta) \end{aligned}$$

Maka pertambahan diameter CD adalah:

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{\partial U}{\partial P} = 4 \int_0^{\pi/2} \frac{\left[\frac{PR}{2} \frac{\pi - 2}{\pi} - \frac{PR}{2} (1 - \cos \theta) \right] \left[\frac{R}{2} \frac{\pi - 2}{\pi} - \frac{R}{2} (1 - \cos \theta) \right] R d\theta}{EI} \\ \Delta &= \frac{PR^3}{EI} \frac{\pi^2 - 8}{4\pi} = 0.149 \frac{PR^3}{EI} \end{aligned}$$

3. Sebuah poros pejal berbentuk tirus dengan nilai-nilai $a = 20$ mm, $b = 30$ mm, panjangnya 2 m menahan beban torsi sebesar 2 kNm. Bila $G = 100$ GN/m², berapa sudut puntir sepanjang poros tersebut. (a dan b adalah jari-jari kedua ujung poros tersebut).



Diketahui

$$A = 20 \text{ mm} \quad G = 100 \text{ GN/m}^2$$

$$B = 30 \text{ mm} \quad T = 2 \text{ kNm}$$

$$L = 2 \text{ m}$$

Ditanya : ∞

Jawab:

$$J = \frac{\pi}{32} D^4 \rightarrow r_x = a + \frac{(b-a)}{L} x$$

$$J = \frac{\pi}{32} r^4 = \frac{\pi}{2} \left(a + \frac{(b-a)}{L} x \right)^4$$

$$d\theta = \frac{T}{GJ} dx = \frac{T}{G \frac{\pi}{2} \left(a + \frac{(b-a)}{L} x \right)^4} dx$$

$$\theta = \int_0^L \frac{T}{G \frac{\pi}{2} \left(a + \frac{(b-a)}{L} x \right)^4} dx = \frac{2T}{G\pi} \int_0^L \frac{dx}{\left(a + \frac{(b-a)}{L} x \right)^4}$$

Misal :

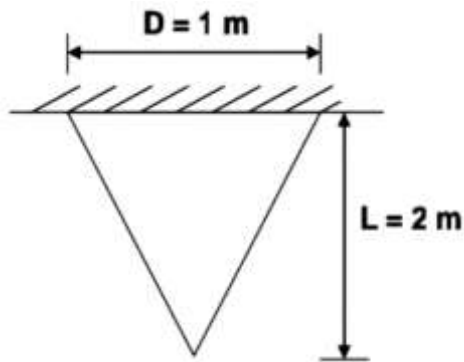
$$\left(a + \frac{(b-a)}{L} x \right) = u$$

$$\frac{du}{dx} = \frac{b-a}{L} \rightarrow dx = \frac{L}{b-a} du$$

$$\theta = \frac{2T}{G\pi} \int_0^L u^{-4} \frac{L}{b-a} du = \left[\frac{2T}{G\pi} \left(\frac{L}{b-a} \right) - \frac{1}{3} u^{-3} \right]_0^L$$

$$\theta = -\frac{2TL}{3G\pi(b-a)} \left[\frac{1}{\left(a + \frac{(b-a)}{L} x \right)^3} \right]_0^L = -\frac{2TL}{3G\pi(b-a)} \left[\frac{1}{b^3} - \frac{1}{a^3} \right] = 0.075 \text{ rad}$$

4. Kerucut pejal dengan penampang lingkaran tergantung secara vertikal (bagian lancip di bawah) terkena beban beratnya sendiri, memiliki tinggi 2 m, diameter 1 m dan berat jenis 10^4 N/m^3 . Tentukan energi regangan yang tersimpan di dalam benda tersebut. $E = 250 \text{ GN/m}^2$.



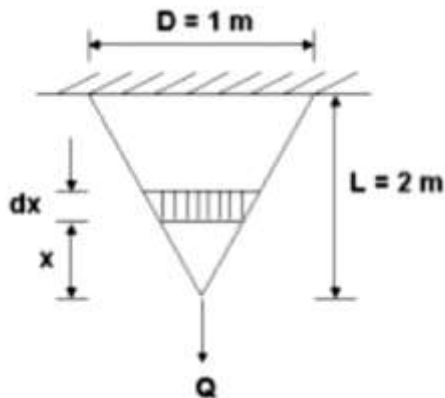
Diketahui:

$$D = 1 \text{ m} \quad L = 2 \text{ m}$$

$$\gamma = 10^4 \text{ N/m}^3 \quad E = 250 \text{ GN/m}^2$$

Ditanya: U

Jawab:



a. Perubahan diameter

$$\frac{x}{L} = \frac{\Delta D}{D} \rightarrow \Delta D = \frac{x D}{L}$$

b. Luas dasar

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2$$

c. Berat kerucut

$$P = Q + \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2 x \gamma$$

$$\frac{\partial P}{\partial Q} = 1$$

$$dU = \frac{P^2 dx}{2AE} = \frac{\left[Q + \frac{1}{3} \frac{1}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2 x \gamma \right]^2 dx}{2 \left[\frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2 E \right]}$$

$$U = \int_0^L \frac{\left(\frac{1}{3} \right)^2 \left(\frac{\pi}{4} \right)^2 \left(\frac{x}{L} D \right)^4 x^2 \gamma^2}{2 \left[\frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2 E \right]} dx$$

$$U = \int_0^L \frac{\frac{1}{18} \frac{\pi}{4} x^2 D^2 / L^2 x^2 \gamma^2}{E} dx$$

$$U = \frac{\pi D^2 \gamma^2}{72 E L^2} \int_0^L x^4 dx = \frac{\pi \gamma^2 D^2 L^3}{360 E} = 2.79 \times 10^{-5} Nm$$

5. Tentukan defleksi yang terjadi dari soal no. 4

Jawab:

$$U = \int \frac{P^2}{2AE} dx$$

$$\Delta = \frac{\partial U}{\partial Q} = \int_0^L \frac{2P \frac{\partial P}{\partial Q} dx}{AE} = \int_0^L \frac{P \frac{\partial P}{\partial Q} dx}{AE}$$

$$\Delta = \frac{\left[Q + \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2 x \gamma \right] dx}{AE} \rightarrow Q = 0$$

$$\Delta = \int_0^L \frac{\left[\frac{1}{3} \frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2 x \gamma \right] dx}{\left[\frac{\pi}{4} \left(\frac{x}{L} D \right)^2 \right] E}$$

$$\Delta = \frac{\gamma}{3E} \int_0^L x dx = \frac{\gamma}{3E} \left[\frac{1}{2} x^2 \right]_0^L = \frac{\gamma L^2}{6E} = 2.67 \times 10^{-8} m$$

6. Tentukan energi regangan dalam sebuah batang prismatik yang salah satu ujungnya digantung, jika disamping beratnya sendiri, ia menyangga pula sebuah beban W pada ujung bawahnya.

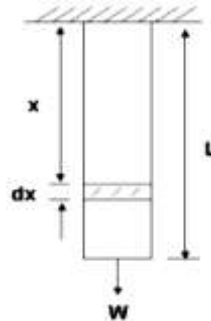
Jawab:

Gaya aksial P yang bekerja:

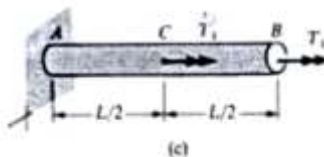
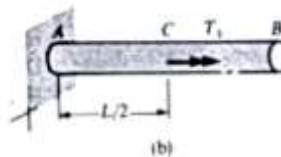
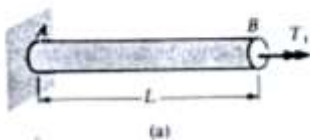
$$P = \gamma A(L - x) + W$$

$$U = \int_0^L \frac{P^2 dx}{2EA} = \int_0^L \frac{[\gamma A(L - x) + W]^2 dx}{2EA}$$

$$U = \frac{\gamma^2 AL^3}{6E} + \frac{\gamma WL^2}{2E} + \frac{W^2 L}{2EA}$$



7. Sebuah batang bundar AB yang salah satu ujungnya dijepit sedangkan yang lainnya bebas, dibebani sebuah momen puntir yang tersebar dalam intensitas konstan q per panjang satuan yang arahnya adalah sepanjang sumbu batang. Hitunglah energi regangan untuk harga-harga numerik berikut: $L = 8$ m, $J = 120 \times 10^{-6}$ m⁴, $q = 5$ kNm/m dan $G = 78$ GPa.



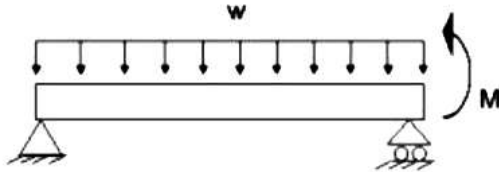
Jawab:

Momen puntir T yang bekerja pada jarak x dari ujung batang yang bebas: $T = qx$

$$U = \int_0^L \frac{T^2 dx}{2GJ} = \frac{1}{2GJ} \int_0^L (qx)^2 dx$$

$$U = \frac{q^2 L^3}{6GJ} = \frac{(5)^2 (8)^3}{6(78)(120 \times 10^{-6})} = 228 Nm$$

8. Tentukan energi regangan elastis yang disebabkan oleh lenturan pada balok berpenampang siku empat yang dibebani secara merata sederhana.



Jawab:

$$M_x = \frac{wx}{2}(L-x)$$

$$U = \int_0^L \frac{M_x^2 dx}{2EI} = \frac{1}{2EI} \int_0^L M_x^2 dx$$

$$U = \frac{1}{2EI} \int_0^L \frac{w^2 x^2}{4} (L^2 - 2Lx + x^2) dx$$

$$U = \frac{w^2}{8EI} \int_0^L (L^2 x^2 - 2Lx^3 + x^4) dx$$

$$U = \frac{w^2 L^5}{8EI} \int_0^1 \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2} + \frac{1}{5} \right)$$

$$U = \frac{w^2 L^5}{8 \times 30EI} = \left(\frac{wL^2 h}{16I} \right)^2 \frac{16^2 \left(\frac{bh^3}{12} \right)}{h^2} \frac{L}{8 \times 30E} = \frac{\sigma_{maks}^2}{2E} \left(\frac{8}{45} AL \right)$$

9. Suatu batang kantilever panjangnya 4 m dibebani oleh sebuah momen besar $M_0 = 30$ kNm pada ujung kantilever

tersebut. Gunakan $E = 200 \text{ GN/m}^2$ dan $I = 25 \times 10^6 \text{ mm}^4$.

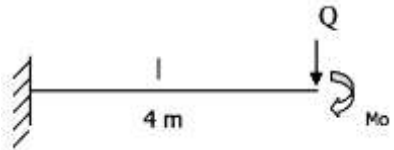
- Tentukan besarnya energi regangan
- Dengan menggunakan teorema Castigliano, tentukan besarnya lendutan pada ujung kantilever

Diketahui: $L = 4 \text{ m}$

$M_o = 30 \text{ kNm}$

$E = 200 \text{ GN/m}^2$

$I = 25 \times 10^6 \text{ mm}^4$



Ditanya: a) U b) Δ

- Besarnya energi regangan

$$U = \int_0^L \frac{M^2 dx}{2EI} = \int_0^L \frac{M_o^2 dx}{2EI} = \left[\frac{M_o^2 x}{2EI} \right]_0^L$$

$$U = \frac{M_o^2 L}{2EI} = \frac{(30 \times 10^3)^2 4}{2(200 \times 10^9)(25 \times 10^{-6})} = 360 \text{ Nm}$$

- Besarnya defleksi pada ujung kantilever

$$\Delta = \frac{dU}{dQ} = \frac{dU}{dM} \frac{dM}{dQ}$$

$$M = Qx + M_o$$

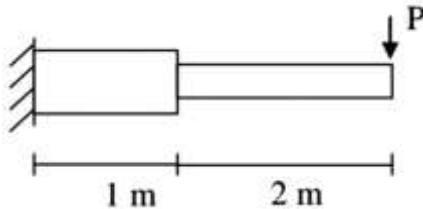
$$\frac{\partial M}{\partial Q} = x$$

$$\Delta = \int_0^L \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial Q} dx = \int_0^L \frac{(Qx + M_o)x dx}{EI}$$

Gunakan $\rightarrow Q = 0$

$$\Delta = \int_0^L \frac{M_o x dx}{EI} = \left[\frac{M_o x^2}{2EI} \right]_0^L = \frac{M_o L^2}{2EI} = \frac{(30 \times 10^3) 4^2}{2(200 \times 10^9)(25 \times 10^{-6})} = 48 \text{ mm}$$

10. Suatu kantilever tersusun dari dua bahan yang berbeda jenis dan ukurannya. Bahan pertama adalah baja panjangnya 2 m mempunyai modulus elastisitas $E = 200$ GPa dan momen inersia $I = 50 \times 10^6 \text{ mm}^4$. Sedangkan bahan kedua adalah besi tuang yang panjangnya 1 m, mempunyai $E = 150$ GPa dan $I = 80 \times 10^6 \text{ mm}^4$.



Tentukan:

- Besarnya energi yang tersimpan
- Besarnya defleksi pada ujung kantilever (gunakan teorema Castiglione)

Diketahui:

$$P = 20 \text{ kN}$$

$$E_1 = 150 \text{ GPa}$$

$$E_2 = 200 \text{ GPa}$$

$$I_1 = 80 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_2 = 50 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Ditanya: a) U

b) Δ

Jawab:

a. Besarnya energi regangan

$$U = \int_0^L \frac{M^2 dx}{2EI} = \int_0^2 \frac{(Px)^2 dx}{2E_2 I_2} + \int_2^3 \frac{(Px)^2 dx}{2E_1 I_1}$$

$$U = \int_0^2 \frac{P^2 x^2 dx}{2E_2 I_2} + \int_2^3 \frac{P^2 x^2 dx}{2E_1 I_1}$$

$$U = \left[\frac{P^2 x^3 dx}{6E_2 I_2} \right]_0^2 + \left[\frac{P^2 x^3 dx}{6E_1 I_1} \right]_2^3$$

$$U = \frac{8P^2}{6E_2 I_2} + \frac{27P^2}{6E_1 I_1} - \frac{8P^2}{6E_1 I_1} = 13.3 + 37.5 - 11.1 = 39.7 Nm$$

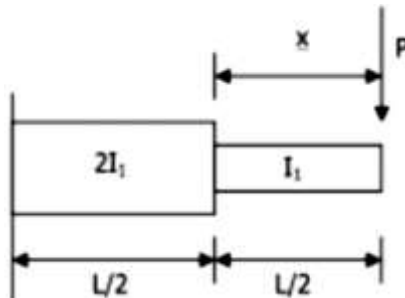
b. Besar defleksi pada ujung kanti lever

$$\Delta = \int_0^2 \frac{Px^2 dx}{E_2 I_2} + \int_2^3 \frac{Px^2 dx}{E_1 I_1}$$

$$\Delta = \left[\frac{Px^3}{3E_2 I_2} \right]_0^2 + \left[\frac{Px^3}{3E_1 I_1} \right]_2^3$$

$$\Delta = \frac{8P}{3E_2 I_2} + \frac{27P}{3E_1 I_1} - \frac{8P}{3E_1 I_1} = 2.7 \times 10^{-3} + 7.5 \times 10^{-3} - 2.2 \times 10^{-3} = 8mm$$

11. Carilah defleksi yang terjadi karena gaya yang diberikan seperti gambar berikut dengan menggunakan teori Castigliano.



Jawab

$$U = \int_0^L \frac{M^2 dx}{2EI}$$

$$U = \int_0^{L/2} \frac{(Px)^2 dx}{2EI_1} + \int_0^L \frac{(Px)^2 dx}{2E(2I_1)}$$

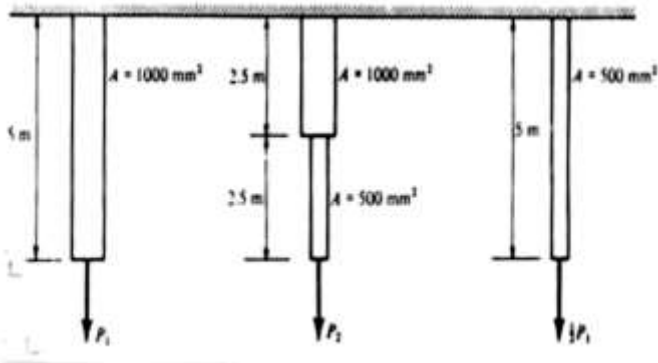
Menurut teori Castigliano

$$\Delta = \frac{\partial U}{\partial P} = \int_0^L \frac{M}{EI} \frac{\partial M}{\partial P} dx \rightarrow M = Px \rightarrow x = \frac{\partial M}{\partial P}$$

sehingga

$$\Delta = \int_0^{L/2} \frac{(Px)x dx}{EI_1} + \int_{L/2}^L \frac{(Px)x dx}{E(2I_1)} = \frac{9PL^3}{48EI_1}$$

12. Bandingkanlah energi regangan pada ketiga batang seperti gambar berikut nilai $P = 150 \text{ MPa}$.



Jawab

$$U = \frac{(A\sigma)^2 L}{2AE} = \frac{A\sigma^2 L}{2E}$$

Untuk batang pertama :

$$U_1 = \frac{(1000)(150)^2 (5 \times 10^3)}{2E} = \frac{122.5}{2E} \text{ MNm}$$

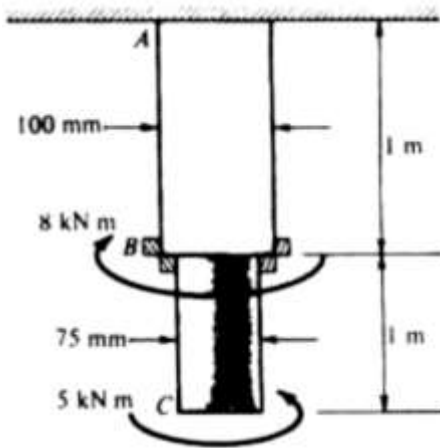
Untuk batang kedua :

$$U_2 = \frac{(1000)(75)^2 (2.5 \times 10^3)}{2E} + \frac{(500)(150)^2 (2.5 \times 10^3)}{2E} = \frac{42.2}{2E} \text{ MNm}$$

Untuk batang ketiga

$$U_3 = \frac{(500)(150)^2 (5 \times 10^3)}{2E} = \frac{56.25}{2E} \text{ MNm}$$

13. Baja memiliki $G = 80 \text{ GN/m}^2$ memiliki torsi sebesar 5 kN, torsi pada sambungan adalah sebesar 8 kN dan bekerja berlawanan arah, carilah total energi regangan dalamnya.



Jawab

Untuk bagian bawah:

$$J = \frac{\pi}{32} D^4 = \frac{\pi (75)^4}{32} = 3.1 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Untuk bagian atas:

$$J = \frac{\pi}{32} D^4 = \frac{\pi (100)^4}{32} = 9.81 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

Maka didapatkan energi regangan sebesar:

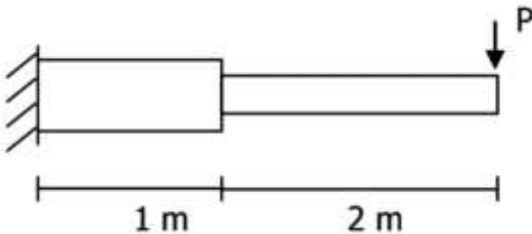
$$U = \frac{T^2 L}{2GJ_1} + \frac{T^2 L}{2GJ_2}$$

$$U = \frac{(5000)^2 (1 \times 10^3) (10^3)^2}{2(80 \times 10^3) (3.1 \times 10^6)} + \frac{(3000)^2 (1 \times 10^3) (10^3)^2}{2(80 \times 10^3) (9.81 \times 10^6)} = 56.1 \text{ kNm}$$

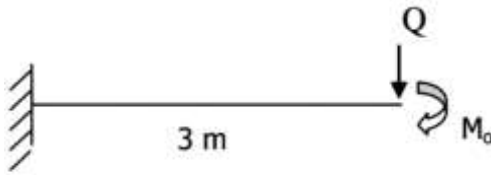
Latihan Soal d

waktu 120 menit

1. Buktikan bahwa energi regangan elastis yang disebabkan oleh lenturan untuk balok siku empat yang dibebani secara merata sederhana adalah $(\alpha_{\text{maks}}^2/2E) (8/45 AL)$ dimana α_{maks} adalah tegangan lentur maksimum, A adalah luas penampang sedang L merupakan panjang balok.
2. Dengan menggunakan teorema Castigliano, tentukanlah defleksi titik tangkap gaya P pada balok yang penampangnya berukuran diameter 50 mm dan 30 mm seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



3. Dengan menggunakan teorema Castigliano, tentukanlah persamaan defleksi maksimum untuk sebuah balok sederhana yang dibebani secara merata yang mempunyai EI yang konstan, dalam bentuk-bentuk $w_f L$, dan EL
4. Suatu batang kantilever panjangnya 3 m dan ukuran penampangnya 50 x 30 mm dibebani oleh sebuah momen besar $M_0 = 35 \text{ kNm}$ pada ujung kantilever tersebut. Gunakan $E = 200 \text{ GN/m}^2$
 - a) Tentukan besarnya energi regangan
 - b) Dengan menggunakan teorema Castigliano, tentukan besarnya lendutan pada ujung kantilever



5. Batas elastik suatu baja tertentu 250 GN/m^2 dan modulus elastisitasnya E sama dengan 200 GN/m^2 . Berapakah besarnya energi mampu kembali yang dapat disimpan pada setiap kubik bahan tersebut?

DAFTAR PUSTAKA

BAB 10

MOMEN INERSIA

Oleh Muhammad Buttomi Masgode

10.1 Pendahuluan

Momen inersia (kelehan) mengacu pada gaya yang dibutuhkan guna menyebabkan suatu objek berotasi dan mengubah arah kecepatannya. Umumnya semua benda dapat berputar dan memiliki sumbu atau titik putar disekitarnya. Beberapa benda membutuhkan kekuatan lebih untuk dapat mengubah kecepatan rotasi dibanding benda lainnya. Sehingga, suatu benda yang dengan mudah dapat mengubah kecepatan rotasinya dengan mudah disimpulkan bahwa benda tersebut mempunyai momen inersia yang kecil atau rendah. Sebaliknya, jika sebuah benda sangat sulit untuk mengubah rotasinya, maka benda tersebut memiliki momen inersia yang besar.

Konsep ini pertama kali diutarakan oleh matematikawan dan fisikawan berkebangsaan Swiss, yakni Leonhard Euler pada tahun 1730 didalam literturnya yang bertema *Theoria Motus Corporum Solidorum Seu Rigidorum* atau dalam bahasa Indonesianya Teori Gerak Badan Tegar atau Kaku. Rumus yang digunakan untuk menganalisa $I = mr^2$ dimana I sama dengan momen inersia, m sama dengan massa, dan r sama dengan jarak antara sumbu rotasi dan massa.

10.2 Teori Tentang Momen Kelelahan

Momen inersia (I) ialah suatu sifat fisis dari sebuah benda dari rotasi atau material yang bergerak melingkar. Momen inersia mempunyai sifat lembam material pada porosnya. Sehingga, setiap material kaku yang memiliki partikel bergerak

melingkar pada acuan lain yang terlihat diluar material selalu dapat diartikan momen kelembamannya (Giancoli, 2001).

Momen Inersia dapat dianalogikan sebagai massa, namun khusus untuk benda yang berputar, yang secara matematis dapat dituliskan dengan rumus;

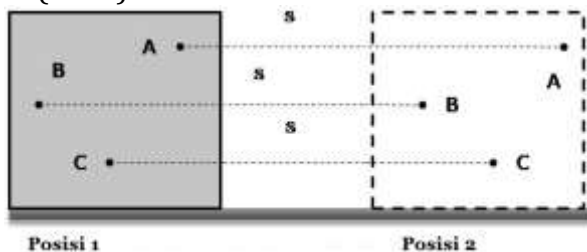
$$I = \sum m \cdot r^2 \quad \text{pers. 10.1}$$

simbol r ialah jarak material, sedangkan satuan untuk momen inersia adalah kg.m^2 (Rully, 2012).

Pada beberapa kasus memutar dapat menganalogikan badan sebagai "partikel" pada dasarnya berputar dalam lingkaran dengan jari-jari tipikal. Hal ini mengakibatkan anggapan tubuh berputar sebagai sistem partikel " yang saling terikat" bergerak dengan jarak melingkar yang berbeda. Dengan cara ini massa badan disalurkan selanjutnya mempengaruhi sifatnya (Duncan, 1973)

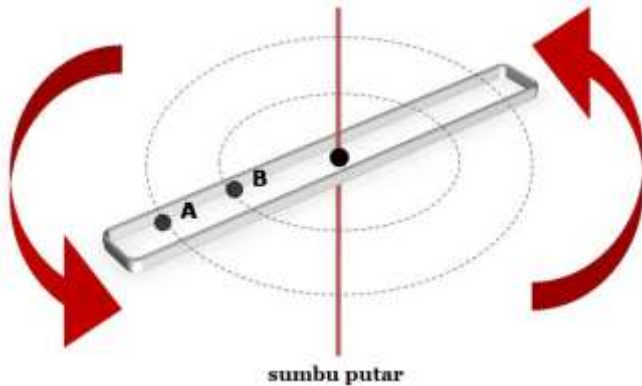
10.3 Gaya Rotasi Dan Keseimbangan Gaya

Untuk mempelajari suatu gaya rotasi, terlebih dahulu harus tahu perbedaan antara gaya geseran dan gaya rotasi. Gaya geseran bisa dipahami sebagai gaya material yang memiliki wujud dan alur yang sama. Hal ini dapat digambarkan pada **Gambar 10.1** yang mana material berpindah dari posisi awal ke posisi tujuan (akhir).



Gambar 10.1. Gaya Translasi
(Sumber: Materi Mafia Online, 2014)

Sedangkan gaya rotasi dapat diartikan sebagai benda yang bergerak dalam lintasan lingkaran pada tiap titiknya. Dapat dilihat pada gambar dibawah;

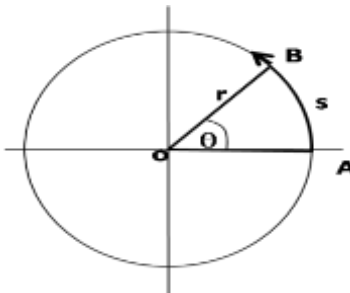


Gambar 10.2. Gaya Rotasi
(Sumber: Materi Mafia Onlien, 2014)

Dari penjelasan diatas kita dapat memahami bahwa gaya translasi dan gaya rotasi dapat dibedakan dengan sederhana dari arah lintasanannya, apakah dia searah ataukah berotasi.

10.3.1 Kinematik Gaya Rotasi

Kinematik sendiri adalah ilmu yang mengkhususkan dalam bidang gerak tanpa melihat penyebab dari benda tersebut bergerak.



Gambar 10.3 Perpindahan Dari Titik A Ke Titik B
(Sumber: Kamajaya, 2015)

Agar titik tepi sebuah rida dapat bergerak dari posisi A ke posisi B, maka roda tersebut harus bergerak sebesar θ . Jarak tempuh linear (s) dari posisi A ke posisi B dan jari-jari R , sehingga untuk mengetahui besarnya sudut yang ditempuh roda dapat dihitung dengan menggunakan persamaan;

$$s = r\theta \text{ atau } \theta = \frac{s}{r} \quad \text{pers. 10.2}$$

Keterangan:

S = Jarak tempuh linear (meter)

θ = Posisi sudut (rad)

R = Jari-jari roda (meter)

Untuk 1 putaran sama dengan keliling lingkaran yakni $2\pi R$ dan besar sudut satu putaran menjadi

$$\theta = \frac{s}{R} = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi \text{ rad} \quad \text{pers. 10.3}$$

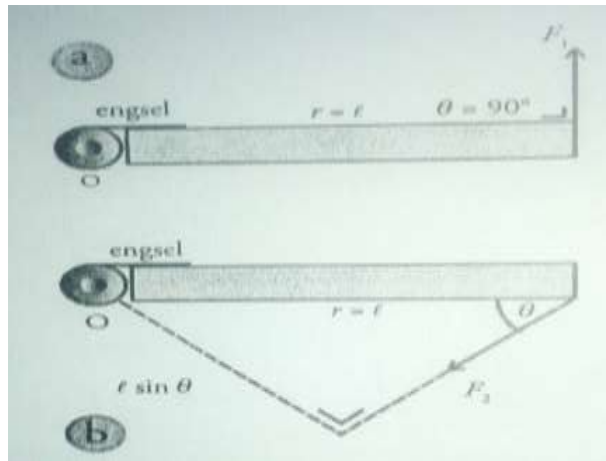
$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,3^\circ$$

$$2\pi \text{ rad} = 1 \text{ putaran}$$

10.3.2 Dinamika Rotasi

Dinamika benda tegar diartikan sebagai benda yang memiliki dimensi, dimana resultan gaya yang terjadi dapat menyebabkan gaya translasi dan gaya rotasi. Sedang, dinamika rotasi yakni gaya rotasi yang menyebabkan terjadinya gaya rotasi itu sendiri. Adanya penyebab perubahan gaya rotasi disebabkan oleh momen aksi atau torsi.

- a) Momen aksi; diartikan aksi yang bisa menyebabkan suatu material mengalami rotasi atau perputaran. Terjadinya momen gaya maka kecepatan sudut akan mengalami perubahan, seperti pada gambar dibawah ini;



Gambar 10.4. Momen Gaya Menyebabkan Gerak Rotasi Benda
(Sumber: Kamajaya, 2015)

Aksi dorong F terjadi pada pintu sehingga membentuk sudut α dengan arah berbeda. Kecepatan pintu terbuka tergantung pada besarnya gaya yang diberikan pada pintu tersebut. Dengan demikian momen gaya dapat dirumuskan menjadi hasil pengali antara aksi dan jarak terhadap garis kerja aksi pada tanda tegak lurus.

$$\tau = \gamma x F \quad 10.4$$

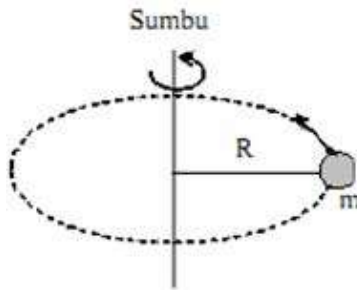
Keterangan:

τ = Momen aksi (Nm)

F = Aksi yang terjadi (N)

γ = Jarak antara lengan (m)

- b) Momen kelelahan; dapat diartikan sebagai kecenderungan suatu benda untuk bisa mempertahankan keadaan diamnya akibat adanya beban luar yang bekerja.

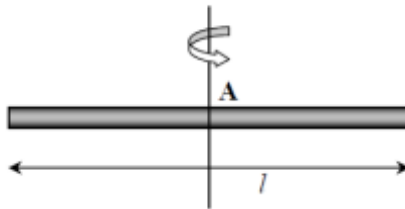


Gambar 10.5. Momen Inersia
(Sumber: Kamajaya, 2015)

Momen kelelahan dinyatakan sebagai massa material yang berputar dan terdistribusi disekitar sumbu putarnya. Jika metode putaran adalah sebuah material yang memiliki massa m dan berada pada interval r dari sumbu putar, maka momen inersia material tersebut ada pada persamaan 10.1
Jika beberapa partikel yang melakukan gaya rotasi, maka momen kelelahan total merupakan penjumlahan beberapa momen kelelahan tiap material, yang dapat dirumuskan menjadi;

$$I = \sum_n m_n r^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 \dots \quad \text{Pers. 10.5}$$

10.4 Momen Kelelahan Batang Pejal



Gambar 10.6 Batang Diputar Pada Porosnya
(Sumber: Surya, Y., 2014)

Pada **Gambar 10.6** sebuah batang bermassa m dan panjang l diputar pada sumbunya. Ketika mengasumsikan momen kelelahan batang ini (I_{pm}) terserah pada dua variabel ini, maka analisa pada dimensinya akan diperoleh momen kelelahan pada batang tersebut yang dapat ditulis;

$$I_{pm} = cml^2(\text{batang}) \quad \text{Pers. 10.6}$$

dimana c adalah suatu konstantan sekarang kita perhatikan pada potongan batang sebelah kiri dengan panjang $1/2l$ dan massa $1/2m$. Momen inersia potongan batang ini dapat ditulis

$$(I_{pm}) = c(1/2 m) (1/2 l)^2 = c 1/8 ml^2 \quad \text{Pers. 10.7}$$

Pakai teori sumbu sejajar supaya dapat menghitung kelelahan bagian batang pada sumbu pada titik A.

$$(I_A)_1 = (I_{pm})_1 + m'r^2 = c 1/8 ml^2 + (1/2 m)(1/4 l)^2 \quad \text{Pers. 10.8}$$

Catatan: $r = 1/4l$ adalah interval pusat massa bagian batang dititik A dan $m' = 1/2 m$ ialah massa dari bagian batang.

Memakai metode sama, diperoleh momen kelelahan pada batang kanan pada titik A.

$$(I_A)_2 = c 1/8 ml^2 + (1/2 m)(1/4 l)^2 \quad \text{Pers. 10.9}$$

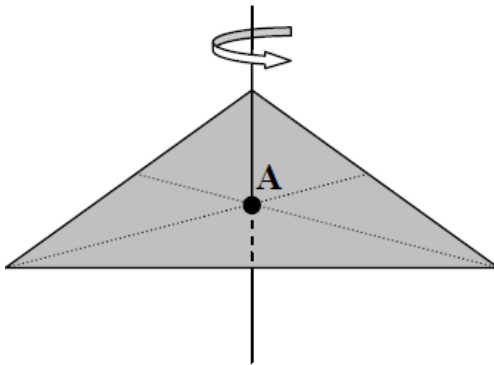
Jumlah momen kelelahan pada persamaan 10.8 dan persamaan 11.9 sama dengan momen kelelahan yang ditulis pada persamaan 11.6. sehingga diperoleh persamaan baru yakni;

$$cml^2 = c 1/8 ml^2 + 1/16 ml^2 \quad \text{Pers. 10.10}$$

Setelah persamaan 10.10 diselesaikan maka akan diperoleh nilai $c = 1/12$. Diperoleh rumus momen keelahan batang dengan panjang l dan massa m yang terputar pada porosnya yang melalui inti massanya ialah;

$$(I_{pm})_{batang} = \frac{1}{12} ml^2 \quad \text{Pers. 10.11}$$

10.5 Momen Kelelahan Segitiga Pejal Sama Sisi



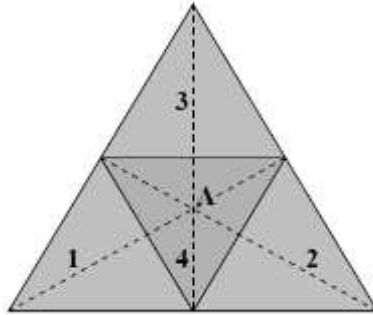
Gambar 10.7 Segitiga Yang Diputar Terhadap Sumbu Yang Melalui Titik Pusat Massa
(Sumber: Surya, Y., 2014)

Jika suatu segitiga pejal dengan sisi yang sama, elongasi sisi a dan massa m diputar pada poros serta melewati titik pusat A seperti pada gambar diatas. Maka momen kelelahan segitiga terhadap sumbu yang melalui pusat massanya adalah;

$$(I_{pm}) = cma^2(\text{segitiga}) \quad \text{Pers. 10.12}$$

Disini c adalah konstantan, sedangkan m massa segitiga dan a adalah sisi segitiga.

Selanjutnya, membagi segitiga menjadi 4 (empat) potong dengan elongasi sisi $\frac{1}{2} a$ dan massa tiap potongan ialah $\frac{1}{4} m$



Gambar 10.8. Membagi Segitiga Menjadi 4 Potongan
(Sumber: Surya, Y., 2014)

Persamaan 10.12 digunakan, dengan momen inersia untuk tiap potongan segitiga pada poros yang melewati massanya dapat diperoleh;

$$(I_{pm})_1 = c(1/4 m) + (1/2 a)^2 \quad \text{Pers. 10.13}$$

Jika menggunakan teori sumbu sejajar guna mendapatkan momen inersia untuk tiap potongan segitiga 1, 2 dan 3 terhadap titik A

$$(I_A)_1 = (I_{pm})_1 + m'r^2 = c \frac{1}{16} m a^2 + \frac{1}{4} m (\frac{\sqrt{3}}{6} a)^2 \quad \text{Pers. 10.14}$$

Dapat dilihat $m' = 1/4 m$ adalah massa potongan segitiga dan $r = 2/3 h = 2/3 (1/2 a) \sin 60^\circ = \sqrt{3}/6 a$ ialah interval dari pusat massa potongan segitiga ke titik A.

Selanjutnya, tambahkan momen kelelahan potongan segitiga 1, 2 dan 3 dikalikan momen kelelahan pada persamaan 10.14 dengan 3 lalu dijumlahkan dengan momen kelelahan potongan segitiga 4.

$$(I_A)_{empat\ segitiga} = 3(c^{1/16} ma^2 + (1/48 ma^2) + 1/16 ma^2 \quad \text{Pers. 10.15}$$

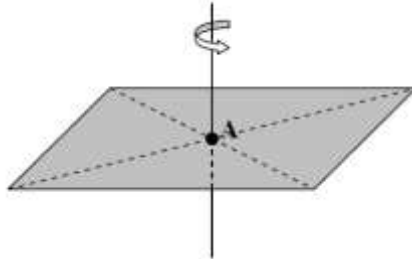
Cocokkan persamaan 10.15 dengan persamaan 10.12, sehingga diperoleh persamaan;

$$cma^2 = c^{1/4} ma^2 + 1/16 ma^2 \quad \text{Pers. 10.16}$$

Dari persamaan 11.16 dapat dilihat nilai $c = 1/12$ sehingga momen kelelahan segitiga sama sisi pejal yang bermassa m dan berisi a yang terotasi pada pusat massanya adalah:

$$(I_{pm})_{segitiga} = 1/12 ma^2 \quad \text{Pers. 10.17}$$

10.6 Momen Kelelahan Segiempat Pejal



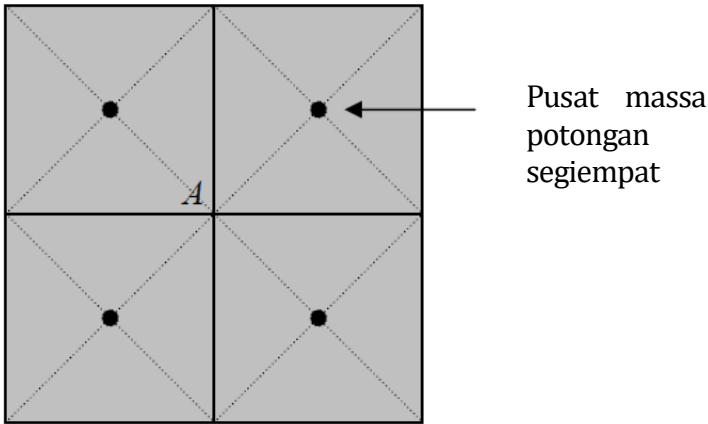
Gambar 10.9 Segiempat Terputar Pada Titik Pusat Massa A
(Sumber: Surya, Y., 2014)

Sama dengan analisa sebelumnya, momen kelelahan pada segiempat dengan pusat yang melewati pusat massanya dapat dituliskan;

$$(I_{pm}) = cma^2(segiempat) \quad \text{Pers. 10.18}$$

Simbol c adalah konstantan, sedangkan m massa segitiga dan a ialah sisi segiempat.

Berikutnya, membagi segiempat menjadi 4 (empat) potong dengan elongasi sisi $\frac{1}{2} a$ dan massa tiap potongan ialah $\frac{1}{4} m$



Gambar 10.10. Segiempat Yang Terbagi Menjadi 4 Bagian
(Sumber: Surya, Y., 2014)

Jika menggunakan persamaan 10.18, momen inersia untuk tiap potong segiempat pada pusat yang melewati massanya dapat diperoleh;

$$(I_{pm})_1 = c\left(\frac{1}{4}m\right) + \left(\frac{1}{2}a\right)^2 \quad \text{Pers. 10.19}$$

Jika menggunakan teori sumbu sejajar guna mendapatkan momen inersia untuk masing-masing potongan segiempat pada titik A

$$(I_A)_1 = (I_{pm})_1 + m'r^2 = c\frac{1}{16}ma^2 + \frac{1}{4}m\left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^2$$

Pers. 11.20

Dapat dilihat $m' = \frac{1}{4} m$ adalah massa potongan segiempat dan $r = \sqrt{(\frac{1}{4}a)^2 + (\frac{1}{4}a)^2} = \frac{\sqrt{2}}{4}a$ ialah jarak antara pusat masasa potongan segitiga ke titik A.

Selanjutnya, tambahkan momen kelelahan potongan segiempat dikalikan momen kelelahan pada persamaan 10.20 dengan 4 lalu disamakan dengan persamaan 10.18. maka diperoleh persamaan:

$$cma^2 = c \frac{1}{4} ma^2 + \frac{1}{8} ma^2 \quad \text{Pers. 10.21}$$

Dari persamaan 11.21 dapat dilihat nilai $c = 1/6$ sehingga momen kelelahan segiempat sama sisi pejal yang bermassa m dan berisi a yang berputar pada sumbu pusat massanya adalah:

$$(I_{pm})_{\text{segiempat}} = \frac{1}{6} ma^2 \quad \text{Pers. 11.22}$$

Dengan cara yang sama, momen inersia benda yang berputar pada sumbu massanya bisa terlihat ditabel berikut;

Tabel 10.1. Momen kelelahan pada benda yang berputar pada sumbu yang melalui massanya

Benda	Momen Kelelahan	Keterangan
Batang	$I_{pm} = \frac{1}{12} ml^2$	l = panjang batang
Seitiga sama sisi	$I_{pm} = \frac{1}{12} ma^2$	a = panjang sisi segitiga
Segiempat beraturan	$I_{pm} = \frac{1}{6} ma^2$	a = panjang sisi segiempat
Segienam beraturan	$I_{pm} = \frac{5}{12} ma^2$	a = panjang sisi segienam
Selinder pejal	$I_{pm} = \frac{1}{2} mR^2$	R = jari-jari silinder

Benda	Momen Kelelahan	Keterangan
Bola tipis	$I_{pm} = \frac{2}{3} mR^2$	R = jari-jari bola
Bola pejal	$I_{pm} = \frac{2}{5} mR^2$	R = jari-jari bola

Sumber: Surya, Y., 2014

10.7 penutup

Dari uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan momen kelelahan pada beberapa benda yang memiliki bentuk teratur tidak perlu memakai analisa kalkulus. Cukup memanfaatkan analisa dimensi dan mencari kaitan antar momen kelelahan dengan variabel yang mengkhususkan benda itu misalnya; massa, panjang atau jari-jari serta dengan memakai teori titil sejajar dan pastinya sifat simetri benda.

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, Douglas C. 2001. Fisika Jilid I (Edisi ke -5). (Pentjemah: Yuhilza Hanun). Jakarta: Erlangga.
- Bramasti, Rully. 2012. *Kamus Fisika*. Surakarta : Aksarra Sinergi Media.
- Duncan, Tom. 1973. Advance Physics. London : By Hodder Education.
- Kamajaya. 2015. *Buku Siswa Aktif dan Kreatif Belajar Fisika 2*. Jakarta: Grafindo Media Pratama.
- Surya, Y. 2014. *Momen Inersia Tanpa Kalkulus*.
<https://www.yumpu.com/id/document/view/24626299/momen-inersia-tanpa-kalkulus-pdf-yohanes-suryacom>

BAB 11

METODE CASTIGLIANO

Oleh Fauzan Hamdi

11.1 Pendahuluan

Metode energi merupakan salah satu cara menyelesaikan perhitungan analisis struktur pada struktur. Prinsip dasar konservasi energi yaitu beban luar yang bekerja pada struktur bangunan sama dengan energi regangan yang timbul saat terjadi deformasi. Apabila beban yang bekerja pada struktur bangunan dihilangkan, maka energi regangan akan mengembalikan struktur bangunan ke bentuk semula dengan catatan bahwa batas elastisitas material tidak terlewati.

Ada beberapa teorema atau metode dalam menyelesaikan perhitungan analisis struktur bangunan, baik bangunan berupa struktur balok dan struktur truss atau rangka. Dalam BAB 11 ini kita akan membahas Teorema atau Metode Castigliano.

Seorang berkebangsaan Italia bernama Alberto Castigliano ahli rel kereta pada tahun 1879 mencanangkan teorema untuk struktur balok dan struktur rangka batang. Teorema ini akan kita bahas secara detail baik struktur balok maupun struktur rangka, dan akan kita bahas beberapa contoh penyelesaian soal analisis struktur terkait dengan Metode atau Teorema Castigliano ini.

11.2 Teorema Castigliano Struktur Balok

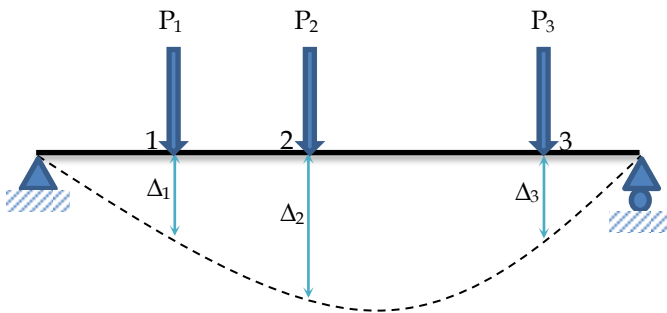
Castigliano mencanangkan dua teorema yang berkaitan dengan struktur balok linier yaitu Teorema Pertama dan Teorema Kedua Castigliano.

11.2.1 Teorema Pertama Castigliano

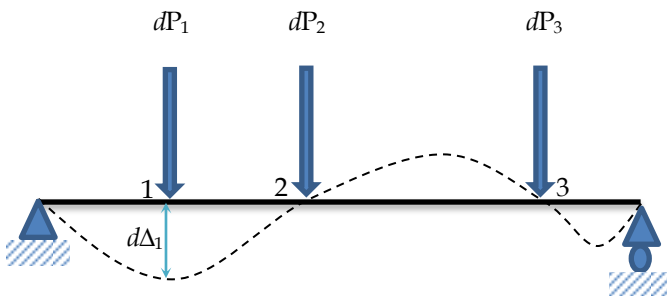
Teorema pertama yaitu turunan parsial energi-dalam total terhadap lendutan yang terjadi disembarang titik sama dengan beban yang bekerja di titik lendutan sebuah balok.

Keabsahan teorema pertama ini dapat diamati pada gambar 12.1. berikut ini.

a) Kondisi awal pembebanan



b) Kondisi penambahan beban



Gambar 11.1. Teorema pertama Castigliano

Pada Gambar 11.1.a) menunjukkan bahwa lendutan Δ_1 , Δ_2 dan Δ_3 yang terjadi pada balok disebabkan oleh adanya beban P_1 , P_2 dan P_3 yang bekerja pada balok tersebut.

Pada Gambar 11.1.b) menunjukkan bahwa penambahan dP_1 , dP_2 dan dP_3 memiliki proporsi sedemikian rupa sehingga mengakibatkan penambahan lendutan $d\Delta_1$ hanya di titik 1, di titik 2 dan titik 3 tidak terjadi lendutan tambahan.

Beban tambahan atau energi dalam tambahan (dU) dapat di buat persamaan sebagai berikut:

$$dU = P_1 d\Delta_1 + \frac{1}{2} P_1 d\Delta_1 \approx P_1 d\Delta_1 \quad \text{.....(11.1)}$$

Nilai P_1 sepenuhnya telah bekerja sebelum penambahan lendutan $d\Delta_1$ dan penambahan beban dP_1 dilakukan secara berangsur, maka persamaan 12.1 jika diterapkan turunan parsial maka akan menjadi persamaan berikut ini:

$$\frac{\partial U}{\partial \Delta_1} = P_1 \quad \text{..... (11.2)}$$

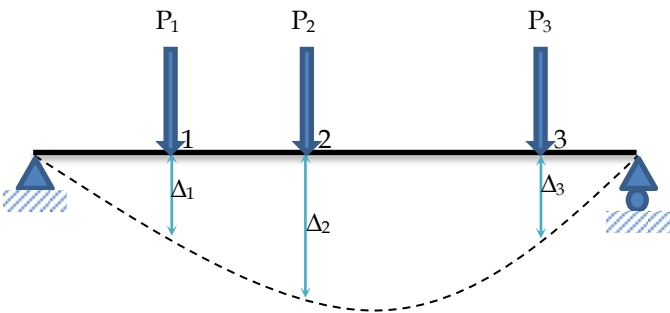
Persamaan tersebut merupakan teorema pertama Alberto Castigliano. Teorema pertama Castigliano ini dapat diberlakukan pada material elastis dan tidak-elastis. Teorema ini salah satu cara yang dapat digunakan dalam persyaratan keseimbangan untuk sebuah struktur.

11.2.2 Teorema Kedua Castigliano

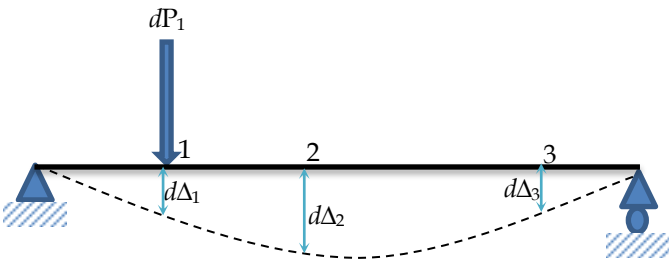
Teorema kedua yaitu turunan parsial energi-dalam total terhadap beban yang terjadi disembarang titik sama dengan lendutan yang bekerja di titik beban sebuah balok.

Teorema kedua ini, penambahan beban dP_1 diterapkan hanya pada titik 1 untuk titik 2 dan titik 3 tidak dilakukan penambahan beban sehingga mengakibatkan tambahan lendutan

$d\Delta_1$ di titik 1, $d\Delta_2$ di titik 2 dan $d\Delta_3$ di titik 3. Keabsahan teorema kedua ini dapat diamati pada gambar 11.2. berikut ini.



a) Kondisi awal pembebanan



b) Kondisi penambahan beban

Gambar 11.2. Teorema kedua Castigliano

Beban tambahan atau energi dalam tambahan (dU) dapat di buat persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 dU &= P_1 d\Delta_1 + P_2 d\Delta_2 + P_3 d\Delta_3 + \frac{1}{2} P_1 d\Delta_1 \\
 &\approx P_1 d\Delta_1 + P_2 d\Delta_2 + P_3 d\Delta_3 \dots\dots\dots (11.3)
 \end{aligned}$$

Beban luar total atau energi dalam total pada balok yaitu $U + dU$ pada saat beban awal (U) dan beban tambahan (dU) bekerja serentak, sehingga didapat persamaan berikut ini:

$$U + dU = \frac{1}{2}(P_1+dP_1) (\Delta_1+d\Delta_1) + \frac{1}{2}P_2(\Delta_2+d\Delta_2) + \frac{1}{2}P_3(\Delta_3+d\Delta_3).....(11.4)$$

Persamaan untuk kondisi beban awal (U) yaitu:

$$U = \frac{1}{2} P_1 \Delta_1 + \frac{1}{2} P_2 \Delta_2 + \frac{1}{2} P_3 \Delta_3(11.5)$$

Substitusi persamaan (11.5) kedalam persamaan (11.4),

$$\begin{aligned} U + dU &= \frac{1}{2}(P_1+dP_1) (\Delta_1+d\Delta_1) + \frac{1}{2}P_2(\Delta_2+d\Delta_2) + \frac{1}{2}P_3(\Delta_3+d\Delta_3) \\ dU &= \frac{1}{2}(P_1+dP_1) (\Delta_1+d\Delta_1) + \frac{1}{2}P_2(\Delta_2+d\Delta_2) + \frac{1}{2}P_3(\Delta_3+d\Delta_3) - U \\ dU &= \frac{1}{2}P_1\Delta_1 + \frac{1}{2}P_1d\Delta_1 + \frac{1}{2}dP_1\Delta_1 + \frac{1}{2}dP_1d\Delta_1 + \frac{1}{2}P_2\Delta_2 + \frac{1}{2}P_2d\Delta_2 + \frac{1}{2}P_3\Delta_3 \\ &\quad + \frac{1}{2}P_3d\Delta_3 - \frac{1}{2}P_1\Delta_1 - \frac{1}{2}P_2\Delta_2 - \frac{1}{2}P_3\Delta_3 \\ dU &= \frac{1}{2}P_1d\Delta_1 + \frac{1}{2}dP_1\Delta_1 + \frac{1}{2}dP_1d\Delta_1 + \frac{1}{2}P_2d\Delta_2 + \frac{1}{2}P_3d\Delta_3 \\ dU &\approx \frac{1}{2}P_1d\Delta_1 + \frac{1}{2}dP_1\Delta_1 + \frac{1}{2}P_2d\Delta_2 + \frac{1}{2}P_3d\Delta_3(11.6) \end{aligned}$$

Substitusi persamaan (11.3) kedalam persamaan (11.6)

$$\begin{aligned} dU &\approx P_1 d\Delta_1 + P_2 d\Delta_2 + P_3 d\Delta_3 \\ P_1 d\Delta_1 &\approx dU - P_2 d\Delta_2 - P_3 d\Delta_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
dU &\approx \frac{1}{2}(dU - P_2d\Delta_2 - P_3d\Delta_3) + \frac{1}{2}dP_1\Delta_1 + \frac{1}{2}P_2d\Delta_2 + \frac{1}{2}P_3d\Delta_3 \\
dU &\approx \frac{1}{2}dU - \frac{1}{2}P_2d\Delta_2 - \frac{1}{2}P_3d\Delta_3 + \frac{1}{2}dP_1\Delta_1 + \frac{1}{2}P_2d\Delta_2 + \frac{1}{2}P_3d\Delta_3 \\
dU &\approx \frac{1}{2}dU + \frac{1}{2}dP_1\Delta_1 \\
dU &\approx dP_1\Delta_1 \dots\dots\dots(11.7)
\end{aligned}$$

Kita terapkan definisi turunan parsial pada persamaan (12.7), maka akan didapatkan persamaan berikut ini.

$$\frac{\partial U}{\partial P_1} = \Delta_1 \dots\dots\dots(11.8)$$

Persamaan tersebut merupakan teorema kedua Alberto Castigliano.

Teorema kedua Castigliano atau metode kerja terkecil ini hanya berlaku pada struktur yang mempunyai temperatur konstanta penopang keras dan respon material elastis linier.

11.3 Torema Castigliano Struktur Rangka

Metode yang diterapkan dalam mengetahui defleksi yang terjadi pada bangunan struktur rangka yaitu menggunakan dasar teorema kedua Castigliano pada struktur balok. Dengan mensubtitusi persamaan energi regangan balok pada persamaan (11.8) teorema kedua Castigliano dan menghilangkan notasi 1 maka kita akan memperoleh persamaan yang dapat diterapkan pada penyelesaian perhitungan defleksi yang terjadi pada bangunan struktur rangka pada satu bagian yang ditinjau yaitu salah satu join yang terdapat pada struktur rangka batang.

Berikut persamaan energi regangan dalam batang.

$$U = \frac{N^2 L}{2AE} \dots\dots\dots(11.9)$$

Substitusi persamaan (11.9) ke dalam persamaan (11.8) dengan menghilangkan inisial angka 1.

$$\Delta = \frac{\partial U}{\partial P}$$

$$\Delta = \frac{\partial}{\partial P} \sum \left(\frac{N^2 L}{2AE} \right) \dots\dots\dots(11.9)$$

Persamaan (11.9) lebih mudah pengerjaannya jika di differensiasi (diturunkan) dulu sebelum dijumlahkan.

Nilai L, A dan E adalah konstan untuk suatu nilai yang didapatkan dari material, maka persamaan (11.9) dapat ditulis sebagai berikut.

$$\Delta = \sum N \sum \left(\frac{\partial N}{\partial P} \right) \frac{L}{AE} \dots\dots\dots(11.10)$$

dimana:

Δ = defleksi sambungan eksternal rangka

P = gaya eksternal pada sambungan rangka sesuai arah bebannya

N = gaya internal material akibat dari gaya P dan beban lainnya (bisa didapatkan menggunakan Metode Join atau Metode Potongan perhitungan gaya batang)

L = panjang material

A = luas penampang material

E = modulus elastisitas material

Perlu diperhatikan dalam menentukan derivasi parsial ini, nilai P pada bagian titik merupakan variabel bukan besaran

numerik spesifik (angka). Setiap gaya internal material dalam hal ini gaya batang (N) harus dinyatakan sebagai fungsi dari P ($\frac{\partial N}{\partial P}$). Nilai $\frac{\partial N}{\partial P}$ merupakan laju perubahan gaya internal material terhadap beban P , atau perubahan gaya internal material persatuan beban.

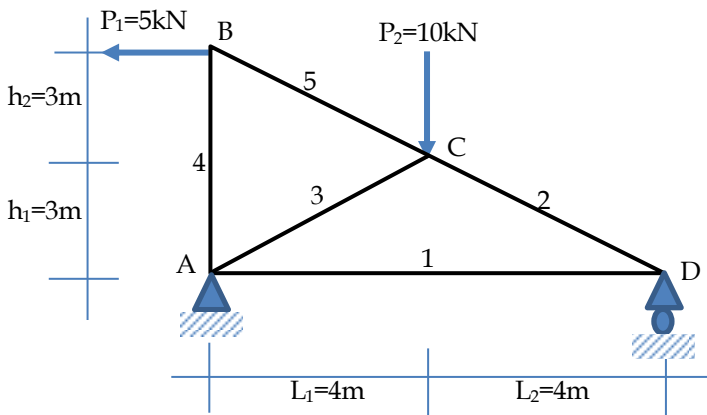
Berikut langkah kerja penyelesaian perhitungan analisis struktur rangka menggunakan Metode Castigliano yang digunakan untuk menentukan defleksi atau pergeseran pada sebuah struktur rangka. Langkah kerjanya sebagai berikut:

1. Gaya eksternal (P) diletakkan pada salah satu titik (join) struktur rangka yang akan dihitung pergeserannya.
Gaya eksternal ini merupakan suatu variabel berinisial P yang diasumsikan memiliki besaran dan arahnya sesuai arah garis kerja pergeseran baik berupa arah vertikal atau arah horizontal.
Nilai yang akan disubstitusi kedalam persamaan gaya batang (gaya internal, N) yang telah dilakukan derivasi parsial (turunan) yaitu Jika pada join tersebut tidak memiliki nilai besaran gaya eksternal maka nilai gaya eksternal (P) tersebut kita anggap nilainya 1 dan jika pada join tersebut memiliki nilai besaran gaya eksternal maka nilai gaya eksternal (P) nilainya sama dengan gaya eksternalnya.
2. Hitung gaya internal N menggunakan metode join atau metode potongan untuk bagian yang diakibatkan gaya eksternal nilai numerik sesungguhnya maupun gaya eksternal variable P . Kemudian hitung derivasi parsial masing-masing $\frac{\partial N}{\partial P}$ untuk tiap gaya internal material. Setelah N dan $\frac{\partial N}{\partial P}$ telah didapat maka nilai numerik P disubstitusikan ke dalam persamaan gaya internal dan persamaan derivasi parsial gaya internal.

3. Setelah diketahui Nilai N , $\frac{\partial N}{\partial P}$, L , A dan E setiap material pada gaya batang tersebut, kemudian kita masukkan nilai-nilainya untuk mendapatkan besar nilai pergeseran atau defleksi yang terjadi pada join atau titik struktur rangka sesuai arah gaya yang telah di tetapkan pada saat ingin memulai perhitungan.

Contoh soal:

Hitung besar nilai pergeseran horizontal ke kiri pada join B dari struktur rangka batang yang ditunjukkan pada gambar 11.3. Material yang digunakan semuanya sama, nilai modulus elastisitas $E = 200 \text{ GPa}$ dan luas penampang $A = 400 \text{ mm}^2$.

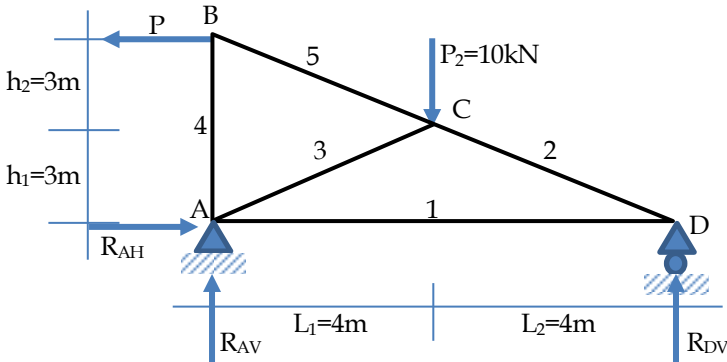


Gambar 11.3. Struktur rangka batang dengan beban eksternal

Penyelesaian:

Langkah pertama yang harus dilakukan untuk menyelesaikan soal tersebut diatas yaitu beban eksternal $P_1=5\text{kN}$ diganti menjadi beban eksternal fiktif variable P yang arahnya

sama dengan beban eksternal $P_1=5\text{kN}$, serta tentukan arah reaksi gaya yang bekerja pada tumpuan struktur rangka tersebut. Perubahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.4



Gambar 11.4. Struktur rangka batang dengan perubahan beban eksternal dan penentuan arah beban reaksi gaya (R) vertikal dan horizontal

Setelah itu kita menghitung gaya internal N dengan menggunakan Metode Join berikut ini.

Menghitung Reaksi Gaya yang bekerja pada Struktur Rangka Batang dengan menggunakan persamaan keseimbangan.

$$\begin{aligned}
 \sum M_A &= 0 \\
 -P(h_1+h_2) - R_{DV}(L_1+L_2) + P_2L_1 &= 0 \\
 -P(3+3) - R_{DV}(4+4) + 10.4 &= 0 \\
 -6P - 8R_{DV} + 40 &= 0 \\
 8R_{DV} &= -6P + 40 \\
 R_{DV} &= -\frac{3}{4}P + 5 \text{ kN} \dots\dots\dots(11.11)
 \end{aligned}$$

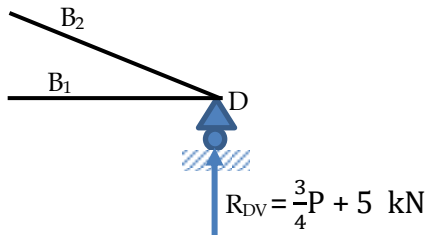
$$\begin{aligned}
 \sum M_D &= 0 \\
 -P(h_1+h_2) + R_{AV}(L_1+L_2) - P_2L_1 &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 -P(3+3) + R_{AV}(4+4) - 10.4 &= 0 \\
 -6P + 8R_{AV} - 40 &= 0 \\
 8R_{AV} &= 6P + 40 \\
 R_{AV} &= \frac{3}{4}P + 5 \text{ kN} \dots\dots\dots(11.12)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum F_H &= 0 \\
 R_{AH} &= 0 \dots\dots\dots(11.13)
 \end{aligned}$$

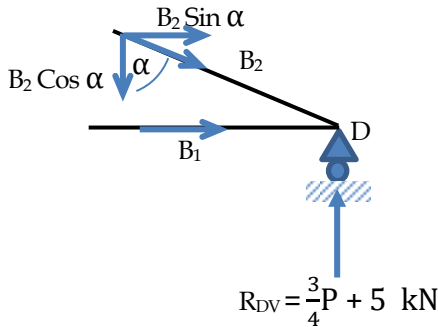
Setelah semua Reaksi Gaya yang bekerja pada tumpuan struktur rangka batang sudah diketahui, selanjutnya kita menghitung besar Gaya Internal N (Gaya Batang) semua batang-batang pada struktur rangka batang yang ada pada Gambar 11.4 dengan menggunakan Metode Join berikut ini.

Menghitung Gaya Batang (N) pada Join D:



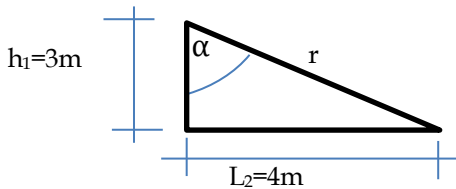
Gambar 11.5. Gambar batang dan gaya yang bekerja pada Join D

Besar nilai gaya batang B₁ dan B₂ belum diketahui. Oleh karena itu, kita asumsikan B₁ batang tekan dan B₂ batang tekan, sehingga kita bisa menentukan arah gaya batang B₁ dan B₂ (lihat Gambar 11.6.).



Gambar 11.6. Gambar gaya batang bekerja pada Join D

Sebelum kita menghitung besar gaya batang B_1 dan B_2 , gaya batang diagonal B_2 terlebih dahulu dirubah menjadi gaya horizontal dan gaya vertikal (lihat Gambar 11.6.). Oleh karena itu, kita hitung besar nilai $\cos \alpha$ dan $\sin \alpha$ sebagai berikut.



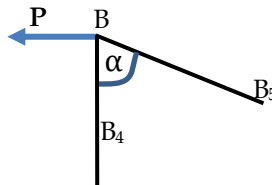
Selanjutnya menghitung gaya batang B_1 dan B_2 menggunakan persamaan keseimbangan gaya vertikal dan horizontal.

$$\begin{aligned}
\sum F_V &= 0 & r^2 &= h_1^2 + L_2^2 & h_1 &= r \cos \alpha & L_2 &= r \sin \alpha \\
- R_{DV} + B_2 \cos \alpha &= 0 & r^2 &= 3^2 + 4^2 & 3 &= 5 \cos \alpha & 4 &= 5 \sin \alpha \\
- \left(\frac{3}{4}P + 5\right) + B_2 \frac{3}{5} &= 0 & r^2 &= 25 & \cos \alpha &= \frac{3}{5} & \sin \alpha &= \frac{4}{5} \\
&& r &= 5 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_2 &= \frac{5}{3} \left(\frac{3}{4}P + 5 \right) \\
B_2 &= \frac{5}{4}P + \frac{25}{3} \text{ kN (} B_2 \text{ Batang tekan)} \dots \dots \dots (11.14)
\end{aligned}$$

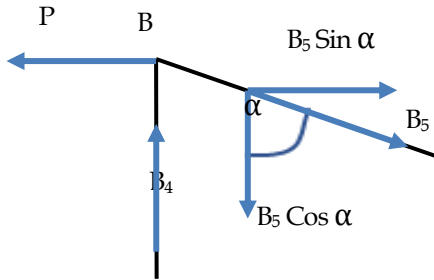
$$\begin{aligned}
\sum F_H &= 0 \\
B_1 + B_2 \sin \alpha &= 0 \\
B_1 + \left(\frac{5}{4}P + \frac{25}{3} \right) \frac{4}{5} &= 0 \\
B_1 + P + \frac{20}{3} &= 0 \\
B_1 &= - \left(P + \frac{20}{3} \right) \text{ kN (} B_1 \text{ Batang tarik)} \dots \dots \dots (11.5)
\end{aligned}$$

Menghitung Gaya Batang (N) pada Join B:



Gambar 11.7. Gambar batang dan gaya yang bekerja pada Join B

Besar nilai gaya batang B_4 dan B_5 belum diketahui. Olehkarena itu, kita asumsikan B_4 batang tekan dan B_5 batang tarik, sehingga kita bisa menentukan arah gaya batang B_4 dan B_5 (lihat Gambar 11.8.).



Gambar 11.8. Gambar gaya batang bekerja pada Join B

Sebelum kita menghitung besar gaya batang B_4 dan B_5 , gaya batang diagonal B_5 dirubah dulu menjadi gaya horizontal dan gaya vertikal (lihat Gambar 11.8.) Oleh karena itu, lebih dahulu kita hitung besar nilai $\cos \alpha$ dan $\sin \alpha$ sebagai berikut.

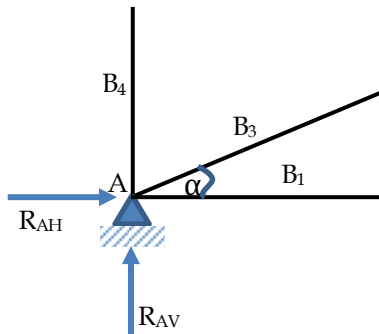
	$r^2 = h_2^2 + L_1^2$	$h_2 = r \cos \alpha$	$L_1 = r \sin \alpha$
	$r^2 = 3^2 + 4^2$	$3 = 5 \cos \alpha$	$4 = 5 \sin \alpha$
	$r^2 = 25$	$\cos \alpha = \frac{3}{5}$	$\sin \alpha = \frac{4}{5}$
	$r = 5 \text{ m}$		

Selanjutnya menghitung gaya batang B_4 dan B_5 menggunakan persamaan keseimbangan gaya horizontal dan vertikal.

$$\begin{aligned}
 \sum F_H &= 0 \\
 -P + B_5 \sin \alpha &= 0 \\
 -P + B_5 \frac{4}{5} &= 0 \\
 B_5 \frac{4}{5} &= P \\
 B_5 &= \frac{5}{4} P \text{ kN (Batang Tarik)} \dots\dots\dots (11.6)
 \end{aligned}$$

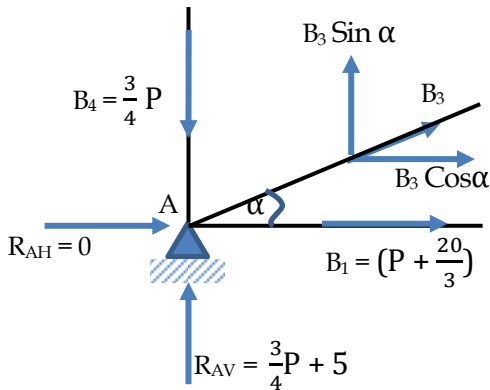
$$\begin{aligned}
 \sum F_V &= 0 \\
 -B_4 + B_5 \cos \alpha &= 0 \\
 -B_4 + \frac{5}{4} P \frac{3}{5} &= 0 \\
 -B_4 + \frac{3}{4} P &= 0 \\
 B_4 &= \frac{3}{4} P \text{ kN (Batang Tekan)} \dots \dots \dots (11.7)
 \end{aligned}$$

Menghitung Gaya Batang (N) pada Join A :



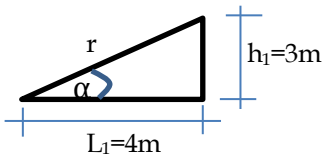
Gambar 11.9. Gambar batang dan gaya yang bekerja pada Join A

Besar nilai gaya batang B_3 belum diketahui. Olehkarena itu, kita asumsikan B_3 batang tarik, sehingga kita bisa menentukan arah gaya batang B_3 (lihat Gambar 11.10.).



Gambar 11.10. Gambar gaya batang bekerja pada Join A

Sebelum kita menghitung besar gaya batang B_3 , gaya batang diagonal B_3 dirubah dulu menjadi gaya horizontal dan gaya vertikal (lihat Gambar 12.8.) Oleh karena itu, lebih dahulu kita hitung besar nilai $\cos \alpha$ dan $\sin \alpha$ sebagai berikut.



$$r^2 = h_1^2 + L_1^2$$

$$r^2 = 3^2 + 4^2$$

$$r^2 = 25$$

$$r = 5 \text{ m}$$

$$L_1 = r \cos \alpha$$

$$4 = 5 \cos \alpha$$

$$\cos \alpha = \frac{4}{5}$$

$$h_1 = r \sin \alpha$$

$$3 = 5 \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{3}{5}$$

Selanjutnya menghitung gaya batang B_3 menggunakan persamaan keseimbangan gaya horizontal.

$$\sum F_H = 0$$

$$R_{AH} + B_3 \cos \alpha + B_1 = 0$$

$$0 + B_3 \frac{4}{5} + (P + \frac{20}{3}) = 0$$

$$B_3 \frac{4}{5} = - (P + \frac{20}{3})$$

$$B_3 = - \frac{5}{4} (P + \frac{20}{3})$$

$$B_3 = -\frac{5}{4} \left(P + \frac{20}{3} \right)$$

$$B_3 = -\left(\frac{5}{4} P + \frac{25}{3} \right) \text{ kN (Batang Tekan)} \dots \dots \dots (11.8)$$

Setelah semua batang pada struktur rangka tersebut diketahui besar nilai gaya batangnya, lalu nilai gaya batangnya kita masukkan ke dalam tabel. Catatan penting yaitu:

1. Jika gaya batang tarik, kita beri tanda positif (+) didepan nilai gaya batang.
2. Jika gaya batang tekan, kita beri tanda negatif (-) didepan nilai gaya batang.

Tabel 11.1. Derivasi parsial Gaya Internal (N) terhadap Gaya Eksternal (P)

Batang	N (kN)	$\frac{\partial N}{\partial P}$	N (P=5kN)	L (m)	N (kNm) $\frac{\partial N}{\partial P} L$
B ₁ (tarik)	$(P + \frac{20}{3})$	1	$(5 + \frac{20}{3}) = \frac{35}{3}$	8	$\frac{280}{3} = 93,33$
B ₂ (tekan)	$-\left(\frac{5}{4} P + \frac{25}{3}\right)$	$-\frac{5}{4}$	$-\left(\frac{5}{4} 5 + \frac{25}{3}\right) = -\frac{175}{12}$	5	$\frac{875}{12} = 72,92$
B ₃ (tekan)	$-\left(\frac{5}{4} P + \frac{25}{3}\right)$	$-\frac{5}{4}$	$-\left(\frac{5}{4} 5 + \frac{25}{3}\right) = -\frac{175}{12}$	5	$\frac{875}{12} = 72,92$
B ₄ (tekan)	$-\frac{3}{4} P$	$-\frac{3}{4}$	$-\frac{3}{4} 5 = -\frac{15}{4}$	6	$\frac{90}{4} = 22,50$
B ₅ (tarik)	$\frac{5}{4} P$	$\frac{5}{4}$	$\frac{5}{4} 5 = \frac{25}{4}$	5	$\frac{125}{4} = 31,25$
					270,60

Diketahui:

$$A = 400 \text{ mm}^2 = 4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$E = 200 \text{ GPa} = 2 \times 10^{11} \text{ Pa} = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$$

$$N \frac{\partial N}{\partial P} L = 270,60 \text{ kN m} = 270,60 \times 10^3 \text{ N m}$$

Besar pergeseran horizontal ke kiri dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \Delta &= \frac{N \frac{\partial N}{\partial P} L}{AE} \\
 &= \frac{270,60 \times 10 \text{ N m}}{4 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2} \\
 &= 0,00338 \text{ m} \\
 &= 3,38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan tersebut diatas, nilai pergeseran horizontal ke kiri struktur rangka dengan menggunakan Metode Castigliano yaitu 3,38 mm. Untuk menghitung pergeseran vertikalnya dapat mengikuti langkah tersebut diatas dengan memberikan gaya eksternal (P) vertikal pada titik yang ingin diketahui pergeserannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus Setiawan. 2015. *Analisis Struktur*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Chu-Kia Wang. 1994. *Analisis Struktur Lanjutan Jilid 1*. Alih bahasa oleh Kusuma Wirawan dan Mulyadi Nataprawira. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Hibbeller. 1997. *Analisis Structural Analysis Third Edition*. Alih Bahasa oleh Yaziz Hasan dan Masdin. Jakarta: PT. Prenhallindo.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi
Dosen Politeknik Negeri Jakarta

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Politeknik Negeri Jakarta. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 50 karya yang telah dibuat dan edang proses untuk pembuatan buku dan bab buku. Jurnal yang telah ditulis bekerjasama dengan para pakar di luar negara dan dalam negri.

BIODATA PENULIS



Retna Kristiana, S.T., M.M., M.T.

Dosen program studi teknik sipil di Universitas Mercu Buana.

Penulis salah satu dosen program studi teknik sipil di Universitas Mercu Buana. Ia menyelesaikan Pendidikan sarjana program studi teknik sipil di Universitas Mercu Buana. Program Magister Manajemen diselesaikannya di Universitas Budi Luhur. Sementara itu, Program Magister Teknik pada program studi teknik sipil dengan perminatan bidang manajemen konstruksi diselesaikannya di Universitas Indonesia. Penulis sudah menulis beberapa artikel ilmiah yang telah diterbitkan di jurnal nasional dan internasional, serta *bookchapter*.

BIODATA PENULIS



Ir. Mursalim Ninoy La Ola, ST., M.Eng

Dosen Program Studi S1 Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sembilanbelas November
Kolaka

Penulis lahir di Kendari tanggal 8 Februari 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Prodi Teknik Sipil Universitas Halu Oleo dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Sipil-Struktur Universitas Gadjah Mada.

BIODATA PENULIS



Asri Mulya Setiawan, ST., MT
Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Fajar

Penulis adalah anak pertama dari pasangan Drs. M. Arief Tahir dan Asmawati HL, S.Pd. Penulis lahir di Ujung Pandang , 21 November 1988. Penulis menyelesaikan studi S1–Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tahun 2013 konsentrasi Struktur, S2–Magister Teknik (MT) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Univeristas Hasanuddin (Unhas) tahun 2015 konsentrasi Struktur dan berhasil mendapatkan Beasiswa BPPDN hingga penyelesaian studi. Bergabung menjadi Dosen Tetap pada Universitas Fajar sejak tahun 2016 - sekarang. Penulis mengampuh mata kuliah konsentrasi struktur seperti Rekayasa & Dinamika Gempa, Perancangan Bangunan Sipil, Perencanaan Jembatan, hingga Aplikasi Komputer Struktur. Penulis sangat tertarik tentang penelitian mengenai Kuat Lentur Beton Pasca Retak Dengan Pemanfaatan Material FRP Sebagai Perkuatan Eksternal. Penulis telah menulis beberapa jurnal nasional terakreditasi Sinta dan pada prosiding internasional. email: klanmulyasetiawan@gmail.com dan asrimulya@unifa.ac.id. HP/wa: 08114106226

BIODATA PENULIS



Fatmawaty Rachim, ST.,MT

Dosen di Universitas Pepabri Makassar dan kuliah di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Arsitektur

Fatmawaty Rachim, ST.,MT lahir di Kota Ujung Pandang tanggal 19 November 1979 di Sulawesi Selatan. Pada tahun 1998, beliau melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin (Unhas Makassar), dan lulus pada tahun 2002 dengan gelar Sarjana Teknik (S.T.). Setelah itu, pada tahun 2007 diangkat menjadi dosen di Universitas Pepabri Makassar dan kuliah di Fakultas Teknik Program Studi Teknik Arsitektur. Beliau mendapatkan beasiswa BPPDN pada tahun 2009 untuk melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin (Unhas), dimana beliau lulus pada tahun 2011 dengan gelar Magister Teknik (M.T.) dari Program Studi Teknik Sipil. Sejak bergabung dengan Universitas Fajar pada tahun 2017, beliau menjabat sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar. Selain mengikuti dan menjadi pembicara dalam seminar nasional dan internasional tentang rekayasa infrastruktur dan teknologi lingkungan pertambangan, sebagai moderator, dan sebagai peneliti atau TIM independen di bidang rekayasa infrastruktur dan teknologi lingkungan pertambangan, Email: HP/Wa: fatmawatyrachim2@ gmail.com 08124179262.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Tukimun., ST., MT., IPM., Asean Eng.

Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda – Kalimantan Timur

Penulis lahir di Magetan tanggal 05 April 1977. Penulis adalah dosen tetap pada Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda Kalimantan Timur. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil tahun 2002 di Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda. Melanjutkan studi S2 Teknik Sipil pada Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya lulus tahun 2004. Melanjutkan Studi S3 Doktor Teknik Sipil pada Universitas Hasanuddin Makassar dan selesai tahun 2021. Mengikuti Program Profesi Insinyur di Universitas Muslim Indonesia (UMI) Makassar dan lulus tahun 2018. Penulis aktif dalam kegiatan oragani profesi seperti pada DPP Inkindo-Kaltim, DPP Intakindo-Kaltim, DPP HPJI-Kaltim, DPP Persatuan Insinyur Indonesia (PII) Kalimantan Timur dan lainnya. Selain aktif di oraganisasi profesi juga sebagai pelaku Jasa Konsultansi dan menjadi owneer's pada PT. Arcsindo Karya Utama yang berkantor pusat di Samarinda. Penulis juga aktif sebagai Instruktur pada Bidang Teknik Sipil pada kegiatan-kegiatan pelatihan yang diselenggarakan oleh

Bidang Bina Konstruksi Provinsi Kalimantan Timur dan Balai Wilayah VIII Banjarmasin terutama pada kegiatan pembekalan tenaga kerja di Ibukota Negara Nusantara (IKN). Selain itu penulis juga aktif sebagai asesor SKK pada LSP Hatsindo Jago untuk bidang-bidang Teknik Sipil dan Konstruksi.

BIODATA PENULIS



Ir. La Ode Dzakir, S.T., M.T., IPP.

Dosen Program Studi Teknik Pertambangan
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Penulis lahir di Desa Lupia, Kecamatan Kabangka, Kabupaten Muna Provinsi Sulawesi Tenggara tanggal 23 Oktober 1993. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Muslim Indonesia Makassar tahun 2016, Pendidikan S2 pada Program Studi Rekayasa Pertambangan Pascasarjana Institut Teknologi Bandung tahun 2019 dan menyelesaikan Profesi Insinyur pada Program Profesi Insinyur Universitas Muslim Indonesia Makassar tahun 2022. Saat ini penulis menekuni bidang penelitian, pengabdian kepada masyarakat, menulis buku dan hasil penelitian yang dipublikasi pada jurnal nasional dan internasional terakreditasi serta penulis juga menjadi praktisi dibidang Teknik/Rekayasa Pertambangan.

BIODATA PENULIS



Ir. Iis Roin Widiati, ST., MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Yapis Papua

Penulis lahir di Jayapura tanggal 02 Oktober 1981. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Yapis Papua. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Sipil di ITN Malang dan melanjutkan S2 di ITB. Penulis menekuni penelitian di bidang Teknik Sipil.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Anugrah Yasin, ST. M.Si

Dosen Magister Rekayasa Infrastruktur dan Lingkungan (MRIL)
Universitas Fajar Makassar.

Adalah anak dari Almarhum H.Muhammad Yasin Hasan (Alm) dan Hj. Ratna Hafid Penulis Lahir: Parepare, 24 Agustus 1975. Penulis menikah pada tahun 2006 dengan dr. Hj. Hartina Harun, M.Kes, Sp.S yang bertugas pada Poli Saraf Rumah Sakit Pelamonia Makassar dan dikarunia 2 orang 1 putra dan 1 putri yakni : Achmad Hardanu Pasha SMA Negeri 1 Makassar kls XII dan Humairah Azzahra Anugrah Kls X SMA Negeri 5 Parepare Pangkat / Golongan Penata Tk I / IIId Nip 197508242009021004 NIDN : 0024087504 Jabatan Fungsional Lektor Penulis adalah dosen DPK LLDIKTI Wilayah IX Makassar. Menyelesaikan S1 pada Universitas 45 Makassar 2002 pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil dan melanjutkan Program Pascasarjana S2 pada Universitas Hasanuddin Makassar pada Fakultas Administrasi Pembangunan Jurusan Pemerintahan Daerah setelah itu melanjutkan kembali S3 Pada Universitas Brawijaya Malang Pada Fakultas Ilmu Lingkungan tahun 2019 dan memperoleh gelar Insinyur (Ir) tahun 2019 pada Universitas Hasanuddin Makassar .CPNS Pemerintah Kota Parepare Provinsi Sulawesi Selatan pada Kantor Inspektorat Kota Parepare sebagai auditor. Tahun 2009. PNS Pemerintah Kota

Parepare Tahun 2010 pada Kantor Inspektorat Kota Parepare sebagai Auditor. Promosi ke Eselon IVb sebagai Sekertaris Lurah Kampung Pisang Kota Parepare tahun 2010. Lurah Kampung Pisang Kota Parepare tahun 2011 – 2013. Promosi Jabatan Eselon IVa sebagai Kasubag Pembinaan Pemerintahan pada Sekretariat Daerah Kota Parepare tahun 2013. Kasi Rehabilitasi dan Rekonstruksi Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Parepare tahun 2014 – 2016 Eselon IVa. Kasi Kajian Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Kota Parepare tahun 2017. Kepala UPT Hutan Jompie pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Parepare tahun 2017. Mutasi (Pindah) ke Provinsi Sulawesi Selatan di tempatkan Pada Kantor Dinas Pendidikan Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2018 – 2020. Sebagai staf Subag Kepegawaian, Umum, dan Mutasi Pada Kantor Dinas PUTR Provinsi Sulawesi Selatan sebagai staf Bina Marga tahun 2021- 2022. Beralih sebagai Dosen LLDIKTI Wilayah IX Makassar ditempatkan pada Universitas Fajar Makassar 01 April 2022 sampai Sekarang. SINTA ID ; 6821738 : SCOPUS ID : 57226653876 email : anugrahyasin@unifa.ac.id. No Hp / wa : 081355131023

BIODATA PENULIS



Ir. Muhammad Buttomi Masgode, S.T., M.T

Dosen Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sembilanbelas November
Kolaka

Penulis lahir di Kendari, pada tanggal 11 Desember 1987. Menyelesaikan Si Jurusan Teknik Sipil UHO tahun 2011, S2 di Program Magister Teknik Pasca Sarjana (PPS) UNHAS tahun 2015 dan Program Profesi Insinyur (PPI) di UNHAS tahun 2022. Aktivitas saat ini adalah sebagai salah satu dosen tetap Universitas Sembilanbelas November Kolaka pada Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Teknik Sipil. Saat ini menjabat sebagai Penanggung Jawab Laboratorium Beton UPT Lab Terpadu Universitas Sembilanbelas November Kolaka dan aktif sebagai Peneliti dibidang Struktur Beton Serat Alami.

BIODATA PENULIS



Fauzan Hamdi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Pengairan
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Kota Makassar pada tanggal 30 April 1975. Penulis tercatat sebagai lulusan S1 Universitas Islam Indonesia, dan lulusan S2 di Universitas Muslim Indonesia. Pria yang kerap disapa Fauzan ini adalah anak dari pasangan Drs. S. Musa Al-Mahdi (ayah/alm) dan Hj. St. Muthiah Djamal (ibu). Penulis selama ini mengabdikan diri di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar sejak tahun 2013 dan Ia juga sudah sering terlibat dan memberikan kontribusi langsung di dunia konstruksi Indonesia.