



MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL

Fathan Mubina Dewadi, Karyadi
Muhammad Nuzan Rizki, Rahmani
Kadarningsih, Fitri Puspasari
Jan Setiawan, Bagus Eko Prasetyo

MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL

**Fathan Mubina Dewadi
Karyadi
Muhammad Nuzan Rizki
Rahmani Kadarningsih
Fitri Puspasari
Jan Setiawan
Bagus Eko Prasetyo**



GET PRESS INDONESIA

MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL

Penulis :

Fathan Mubina Dewadi
Karyadi
Muhammad Nuzan Rizki
Rahmani Kadarningsih
Fitri Puspasari
Jan Setiawan
Bagus Eko Prasetyo

ISBN : 978-623-125-552-5

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

Penyunting : Ari Yanto., M.Pd

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah
Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat
Website : www.getpress.co.id
Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Desember 2024

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

KATA PENGANTAR

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

Buku ini membahas Statika, Tegangan Dan Regangan, Tegangan Normal, Geser, Dan Bearing Stress, Pertimbangan Di Dalam Perancangan, Hukum Hooke, Tegangan Beban Lentur Murni, Lingkaran Mohr, Kriteria Luluh Von Misses.

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, Desember 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
BAB 1 STATIKA.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Konsep Keseimbangan	1
1.3 Gaya	2
1.4 Diagram Vektor.....	2
1.5 Titik Gantung dan Jangkar	3
1.6 Struktur Beban Tegar.....	4
1.7 Keseimbangan Benda Tegar.....	5
1.8 Soal-Soal Latihan.....	6
DAFTAR PUSTAKA.....	8
BAB 2 TEGANGAN DAN REGANGAN.....	17
2.1 Tegangan	17
2.2 Tegangan Geser (<i>Shear Stress</i>).....	17
2.3 Regangan	18
2.4 Soal-Soal Latihan.....	19
DAFTARIPUSTAKA.....	21
BAB 3 TEGANGAN NORMAL, GESER, DAN BEARING STRESS.....	27
3.1 Tegangan Normal	27
3.2 Tegangan geser	27
3.3 Bearing Stress	28
3.4 Eksekusi Desain	28
3.4 Studi Kasus	29
3.5 Analisis Kegagalan.....	29
3.6 Konsentrasi Tegangan	30
3.7 Penggunaan Analisis Tegangan.....	30
3.8 Pertimbangan terhadap Bearing Stress.....	31
3.9 Pertimbangan Gesekan	32
3.10 Mekanika Kekuatan Material	33
3.11 Studi Material.....	34
DAFTAR PUSTAKA.....	36

BAB 4 PERTIMBANGAN DI DALAM PERANCANGAN.....	45
4.1 Pendahuluan	45
4.2 Kriteria Desain	46
4.3 Sifat Material	47
4.3.1 Sifat fisik.....	48
4.3.2 Sifat mekanik.....	49
4.3 Metode Analisis Mekanisme	50
4.4 Mampu manufaktur (<i>Manufacturability</i>)	51
4.5 Inovasi dan Teknolgi	52
4.5.1 Pengaruh Teknologi pada Proses Perancangan.....	54
4.5.2 Keterkaitan Inovasi dan Keterbatasan Teknologi ...	54
4.6 Ekonomi dan Tanggung jawab sosial	55
DAFTAR PUSTAKA	57
BAB 5 HUKUM HOOKE	59
5.1 Pendahuluan	59
5.1.1 Pengertian Hukum Hooke	59
5.1.2 Sejarah dan Kontribusi Robert Hooke dalam Ilmu Mekanika.....	61
5.1.3 Pentingnya Hukum Hooke dalam Analisis Material	62
5.2 Konsep Dasar Hukum Hooke	63
5.2.1 Gaya, Tegangan, dan Regangan.....	63
5.2.2 Hubungan Linier antara Tegangan dan Regangan.....	64
5.2.3 Batas Elastisitas Material.....	67
5.3 Penerapan Hukum Hooke	68
5.3.1 Analisis Tegangan pada Balok dan Kolom	68
5.3.2 Perhitungan Deformasi pada Struktur Rangka	68
5.3.3 Studi Kasus: Pegas dalam Sistem Mekanika.....	68
DAFTAR PUSTAKA	69
BAB 6 TEGANGAN BEBAN LENTUR MURNI	71
6.1 Pendahuluan	71
6.2 Lentur Murni dan Lentur Tak Murni	71
6.3 Kelengkungan Balok.....	73
6.4 Regangan Longitudinal di Balok.....	74
6.5 Tegangan Normal di Balok Bahan Elastis Linear	74
6.6 Lokasi Sumbu Netral	75

6.7 Hubungan Momen Kelengkungan	75
6.8 Rumus Lentur	76
DAFTAR PUSTAKA.....	82
BAB 7 LINGKARAN MOHR.....	83
7.1 Pendahuluan.....	83
7.1.1 Persamaan Lingkaran Mohr.....	83
7.1.2 Bentuk Lingkaran Mohr	84
7.2 Pembentukan Lingkaran Mohr.....	85
7.3 Pembentukan Lingkaran Mohr Untuk Elemen Dengan Tegangan Tiga Sumbu	93
7.4 Lingkaran Mohr Untuk Bidang Regangan	95
DAFTAR PUSTAKA.....	97
BAB 8 KRITERIA LULUH VON MISES	99
8.1 Pendahuluan.....	99
8.2 Konsep Dasar Deformasi pada Material.....	99
8.3 Teori Dasar Kriteria Luluh Von Mises.....	100
8.4 Perbandingan dengan Kriteria Luluh Lainnya.....	102
8.5 Contoh Analisis Menggunakan Kriteria Luluh Von Mises.....	102
8.5.1 Analisis Tegangan pada Batang dengan Tegangan Dua Arah	103
8.5.2 Analisis Tekanan pada Bejana Silinder Tekan.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	105
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1. Pemilihan material berdasarkan hubungannya dengan fungsi, bentuk, dan produksi	47
Gambar 4.2. Penerapan teknologi pencetakan 3D di bidang produksi mesin	53
Gambar 5.1. Diagram tegangan-regangan untuk besi dan berbagai jenis baja.....	66
Gambar 6.1. (a) Balok sederhana mengalami lentur (b) Balok kantilever mengalami lentur	72
Gambar 6.2. Daerah tengah mengalami lentur murni, daerah tepi mengalami lentur dan geser	72
Gambar 6.3. (a) Sumbu longitudinal balok lurus (b) Sumbu longitudinal busur lingkaran (c) Diagram regangan pada penampang.....	73
Gambar 6.4. Tegangan normal balok elastis	74
Gambar 6.5. Perjanjian tanda pada momen lentur	76
Gambar 7.1. Ilustrasi penggambaran lingkaran Mohr nilai positif sudut (a) berlawanan arah jarum jam dan (b) searah jarum jam.....	85
Gambar 7.2. Penggambaran (a) tegangan yang bekerja pada bidang (b) tegangan yang bekerja pada bidang terputar dan (c) lingkaran Mohr.....	87
Gambar 7.3. Tegangan yang bekerja pada elemen benda	91
Gambar 7.4. Tegangan yang bekerja pada elemen benda	92
Gambar 7.5. Penggambaran lingkaran Mohr.....	93
Gambar 7.6. Ilustrasi (a) tegangan yang bekerja pada benda, dan (b) lingkaran Mohr untuk tegangan tiga sumbu.	94
Gambar 7.7. Lingkaran Mohr untuk bidang regangan.	96
Gambar 8.1. Peta mekanisme deformasi khas untuk Ni murni yang diperkeras melalui kerja dengan ukuran butir 1 μm	100

Gambar 8.2.	Permukaan luluh von Mises dalam koordinat tegangan utama membentuk silinder dengan jari-jari $\sqrt{2/3} J_2$ sekitar sumbu hidrostatik. Selain itu, juga ditampilkan permukaan luluh heksagonal Tresca.	101
Gambar 8.3.	Tresca and Von Mises yield criteria.	102

BAB 1

STATIKA

Oleh Fathan Mubina Dewadi

1.1 Pendahuluan

Statika adalah cabang ilmu teknik yang mempelajari perilaku benda yang diam atau benda yang bergerak dengan kecepatan konstan di bawah pengaruh gaya-gaya eksternal (Yunus et al., 2023). Ilmu ini berfokus pada analisis keseimbangan benda tegar (*rigid bodies*) yang dapat berupa benda tunggal atau sistem dari beberapa benda yang terhubung bersama-sama (F. M. Dewadi, 2021a).

Tujuan utama dari statika adalah untuk memahami dan menganalisis distribusi gaya dan momen pada benda-benda, serta untuk menentukan apakah benda-benda tersebut dalam keadaan keseimbangan atau tidak (Nanda, Supriyono, Ma'arof, et al., 2022). Dalam konteks ini, "keseimbangan" berarti bahwa jumlah gaya dan momen yang bekerja pada suatu benda atau sistem benda adalah nol, sehingga tidak ada percepatan translasi atau rotasi yang terjadi (Suhara, Dewadi, & Febrian, 2023). Penerapan statika sangat penting dalam berbagai bidang teknik seperti rekayasa sipil, rekayasa mekanik, rekayasa struktural, dan lainnya (Khoirudin et al., 2021).

Dengan memahami prinsip-prinsip dasar statika, insinyur dapat merancang dan menganalisis struktur bangunan, jembatan, mesin, dan berbagai sistem lainnya dengan memastikan bahwa mereka dapat menahan beban-beban yang diberikan tanpa mengalami kegagalan keseimbangan (Mulyadi & Dewadi, 2021).

1.2 Konsep Keseimbangan

Konsep keseimbangan merujuk pada keadaan di mana berbagai elemen atau kekuatan saling seimbang atau seimbang, sehingga tidak ada satu pihak yang mendominasi yang lain (Farahdiansari et al., 2021). Ini adalah konsep yang luas dan dapat

diterapkan dalam berbagai konteks, termasuk fisika, ekonomi, psikologi, dan hubungan antarmanusia (Murtalim et al., 2020).

Dalam fisika, keseimbangan merujuk pada keadaan di mana gaya-gaya yang bekerja pada suatu objek saling menyeimbangkan satu sama lain, sehingga objek tersebut tetap diam atau bergerak dengan kecepatan konstan (Nanda, Karyadi, Dewadi, et al., 2022).

Dalam ekonomi, keseimbangan dapat merujuk pada situasi di mana permintaan dan penawaran untuk suatu barang atau jasa berada pada tingkat yang seimbang, menghasilkan harga yang stabil (F. M. Dewadi, 2023a). Dalam psikologi, keseimbangan dapat merujuk pada keadaan mental atau emosional di mana seseorang merasa stabil dan harmonis, tanpa adanya tekanan yang berlebihan dari stres atau kecemasan (Wibowo & Dewadi, 2022).

Dalam hubungan antarmanusia, keseimbangan merujuk pada hubungan yang sehat di mana kedua pihak memberikan dan menerima dukungan, perhatian, dan penghargaan secara seimbang (F. M. Dewadi, 2021b).

1.3 Gaya

Dalam ilmu statika, gaya adalah besaran vektor yang digunakan untuk menggambarkan interaksi antara objek-objek fisik (Nugroho et al., 2023). Gaya dapat menyebabkan perubahan gerak atau rotasi pada objek, atau bisa juga menyeimbangkan gaya-gaya lain yang bekerja pada objek tersebut (Fathan Mubina Dewadi et al., 2023). Gaya eksternal adalah gaya-gaya yang bekerja dari luar sistem yang sedang dianalisis (Wiyono et al., 2023).

Misalnya, gaya yang diberikan oleh benda lain atau gaya yang dihasilkan oleh medan gravitasi atau medan elektromagnetik (Darmayani et al., 2023). Gaya internal adalah gaya-gaya yang terjadi di dalam struktur objek tersebut (Purnomo & Sahabuddin, 2023). Misalnya, gaya yang dihasilkan oleh tegangan dalam sebuah tali atau gaya yang dihasilkan oleh tekanan dalam sebuah benda padat (Fathan Mubina Dewadi et al., 2023).

1.4 Diagram Vektor

Diagram vektor adalah representasi visual dari vektor dalam matematika atau fisika (Fathan Mubina Dewadi et al., 2023). Vektor

sendiri merupakan besaran yang memiliki *magnitude* (besar) dan arah (F. Dewadi, Octavianti, et al., 2023). Dalam diagram vektor, biasanya vektor direpresentasikan oleh sebuah panah yang memiliki panjang untuk menunjukkan magnitude dan arah panah tersebut menunjukkan arah dari vektor tersebut (F. M. Dewadi et al., 2024).

Diagram vektor digunakan dalam berbagai konteks, termasuk matematika, fisika, teknik, dan grafika komputer (Mudia et al., 2023). Mereka membantu dalam memvisualisasikan vektor dan operasi yang melibatkan vektor, seperti penjumlahan vektor, pengurangan vektor, dan perkalian vektor dengan skalar (N et al., 2024).

Dalam aplikasi praktis, diagram vektor dapat membantu dalam memecahkan masalah geometri, menganalisis gaya dalam fisika, merencanakan rute perjalanan dalam navigasi, atau bahkan dalam membuat grafik animasi dalam perangkat lunak desain grafis (Muryanto et al., 2023).

1.5 Titik Gantung dan Jangkar

Dalam konteks fisika atau mekanika, "titik gantung" dan "titik jangkar" adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada titik-titik tertentu dalam suatu sistem yang memiliki peran penting dalam analisis gaya dan gerakan (F. M. Dewadi, Puspita, et al., 2023). Namun, kedua istilah ini memiliki makna yang berbeda (Sugiyanto et al., n.d.). Titik gantung adalah titik di sekitar mana suatu benda atau sistem berputar atau bergerak (Simatupang et al., 2013). Ini sering kali merupakan titik tetap di sekitar mana benda atau sistem lain berputar atau bergerak (Wibowo et al., 2023). Misalnya, ketika Anda menggantung sebuah ayunan, titik di mana tali diikat adalah titik gantungnya (F. M. Dewadi, Farahdiansari, et al., 2023). Pada pelatihan ayunan, Anda dapat menganggap sendi pinggul sebagai titik gantung yang memungkinkan gerakan (F. M. Dewadi, Sriwahyuni, et al., 2023).

Dalam konteks analisis mekanika, titik gantung adalah titik yang digunakan sebagai referensi untuk menghitung momen atau torsi yang bekerja pada suatu benda (Alfianto et al., 2023). Titik ini

penting karena dalam analisis momen atau torsi, kita sering mengasumsikan bahwa momen yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada suatu benda dihitung relatif terhadap titik gantung (F. M. Dewadi, n.d.). Titik jangkar adalah titik atau titik-titik tertentu yang digunakan sebagai referensi atau titik tetap dalam suatu sistem atau struktur (Dahri et al., 2023). Ini adalah titik yang memungkinkan kita untuk menghitung atau memprediksi perubahan atau gerakan dalam sistem tersebut (Nanda et al., 2023).

Dalam konteks grafika komputer atau desain, titik jangkar sering kali digunakan untuk merujuk pada titik tetap dalam sebuah objek atau gambar (F. M. Dewadi, Kristiana, et al., 2023). Misalnya, dalam perangkat lunak desain grafis, anda dapat menetapkan titik jangkar sebagai titik referensi dari mana objek lain dalam gambar diatur atau diposisikan (F. Dewadi, Kusmiwardhana, et al., 2023).

1.6 Struktur Beban Tegar

Struktur beban tegar adalah istilah yang digunakan dalam rekayasa struktur untuk merujuk pada jenis struktur tertentu yang mampu menahan dan mendistribusikan beban dengan sedikit atau tanpa deformasi yang signifikan (Jakariya et al., 2023). Dalam struktur beban tegar, elemen struktur, seperti balok, kolom, atau bingkai, dirancang dan dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya atau beban yang bekerja padanya tanpa mengalami perubahan bentuk yang signifikan (Lulut Alfaris et al., 2022).

Beberapa ciri umum dari struktur beban tegar termasuk kekakuan, kestabilan, dan kekuatan yang tinggi (F. M. Dewadi et al., 2019). Struktur-struktur ini sering kali dibangun dari bahan-bahan yang kokoh dan tahan lama, seperti baja, beton bertulang, atau kayu yang kuat (Wibowo, Setiawan, et al., 2021).

Contoh struktur beban tegar meliputi jembatan, gedung pencakar langit, menara, jaringan listrik, dan struktur-struktur lain yang membutuhkan kestabilan dan kekuatan untuk menahan beban secara efisien tanpa mengalami deformasi yang signifikan (Abbas et al., 2021).

Perencanaan dan analisis struktur beban tegar melibatkan pemodelan matematis dan simulasi untuk memastikan bahwa struktur tersebut mampu menahan beban-beban yang

diterapkannya dengan aman dan efisien (Wibowo, Dewadi, et al., 2021). Hal ini melibatkan pemahaman yang mendalam tentang mekanika bahan, teori struktur, dan prinsip-prinsip rekayasa sipil (Dimiyati et al., 2021).

1.7 Keseimbangan Benda Tegar

Keseimbangan benda tegar adalah konsep dalam fisika yang mengacu pada kondisi ketika sebuah benda tidak mengalami rotasi atau translasi karena gaya-gaya yang bekerja padanya seimbang (F. M. Dewadi & Sigalingging, 2021).

Dalam keseimbangan benda tegar, momen (torsi) total yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada benda itu nol, dan juga gaya total yang bekerja pada benda itu nol (F. M. Dewadi, 2023b). Dalam konteks ini, sebuah benda dianggap sebagai "benda tegar" jika bentuknya tidak mengalami perubahan yang signifikan ketika gaya-gaya diterapkan padanya (F. M. Dewadi & Supriyanto, 2021). Contoh benda tegar meliputi balok, papan, atau benda geometris lainnya yang kokoh dan kaku (Suhara, Dewadi, & Hamdani, 2023).

Konsep keseimbangan benda tegar penting dalam berbagai bidang fisika, termasuk mekanika, fisika teknik, dan rekayasa (Fathan et al., 2022). Dalam analisis keseimbangan benda tegar, berbagai gaya-gaya yang bekerja pada benda, seperti gaya gravitasi, gaya normal, dan gaya gesekan, dipertimbangkan untuk menentukan apakah benda tersebut akan tetap diam atau berputar, serta untuk menghitung posisi keseimbangannya (F. M. Dewadi, Jati, et al., 2023).

Analisis keseimbangan benda tegar seringkali melibatkan penerapan prinsip momen atau torsi, yang menyatakan bahwa momen total yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang bekerja pada benda itu seimbang dengan momen yang dihasilkan oleh gaya-gaya yang berlawanan arah (Nanda, Supriyanto, Dewadi, et al., 2022). Dengan menerapkan prinsip ini, kita dapat menentukan kondisi keseimbangan dan memecahkan masalah yang terkait dengan posisi, gaya, dan momen pada benda tegar (Nanda, Karyadi, & Dewadi, 2022).

1.8 Soal-Soal Latihan

1. Sebuah balok dengan panjang L dan berat W didukung pada dua ujungnya. Hitunglah reaksi pada kedua ujung balok jika balok tersebut memiliki berat yang merata (Nurmiah, A., Nunik Hasriyanti, et al., 2023)!
2. Sebuah balok dengan berat W dihubungkan dengan tali pada salah satu ujungnya dan digantung vertikal. Tentukanlah tegangan maksimum yang dialami tali jika panjang tali adalah L (Nurmiah, A., Hasriyanti, et al., 2023)!
3. Sebuah jembatan gantung memiliki panjang L dan berat W . Jika ujung-ujung jembatan diikatkan pada dua tiang yang tingginya H masing-masing, tentukanlah tegangan maksimum yang dialami pada kabel-kabel yang mengikatkan jembatan pada tiang (F. M. Dewadi, Riduwansah, et al., 2023)!
4. Sebuah jembatan gantung terdiri dari dua jajaran balok paralel dengan panjang L dan berat W setiap jajaran. Jika jarak antara kedua jajaran tersebut adalah D , hitunglah tegangan maksimum yang dialami pada tali penghubung di tengah jembatan (F. M. Dewadi, Milasari, et al., 2023)!
5. Sebuah balok dengan berat W ditempatkan di dalam air dengan sebagian balok berada di bawah permukaan air. Tentukanlah gaya-gaya yang bekerja pada balok dan gaya-gaya pada tumpuan jika densitas air adalah ρ dan gravitasi adalah g (Yusaerah et al., 2022)!
6. Sebuah benda tegar ditempatkan pada bidang miring dengan sudut kemiringan θ . Hitunglah gaya normal dan gaya geser pada tumpuan benda tegar jika diketahui massa benda dan jarak dari tumpuan (Minuk Riyana, S.Pd. et al., 2022)!
7. Sebuah balok didukung pada satu ujungnya dan dikenai gaya F pada ujung yang lain. Tentukanlah reaksi pada tumpuan dan momen gaya pada titik tumpu jika diketahui panjang dan berat balok (Lulut Alfaris, S.T. et al., 2022)!
8. Sebuah jembatan gantung terdiri dari tiga jajaran balok paralel dengan panjang L dan berat W setiap jajaran. Jika

- jarak antara setiap jajaran adalah D , hitunglah tegangan maksimum yang dialami pada tali penghubung di tengah jembatan (Ratnadewi et al., 2023)!
9. Sebuah balok dengan panjang L dan berat W ditarik ke atas oleh dua tali yang membentuk sudut α dengan horizontal. Tentukanlah tegangan maksimum pada setiap tali (F. Dewadi et al., 2024)!
 10. Sebuah benda tegar ditempatkan di atas bidang miring yang menerima gaya geser F . Hitunglah massa benda tegar agar benda tetap dalam keseimbangan (Mustafa et al., 2000)!

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.
- Alfianto, E., Nurmalasari, N. P. Y., Sa'diyah, A., Fatkhulloh, A., Anwar, B., & Wibowo, C. (2023). *KONSEP PESAWAT TERBANG*. Get Press Indonesia.
- Dahri, A. T., Sa'diyah, A., Nurherdiana, S. D., Wibowo, R., Winardi, B., Satriawan, D., Dewadi, F. M., Santoso, H., & Novita, Y. (2023). *Konversi Energi Dan Sistem Pembangkit*. Global Eksekutif Teknologi.
- Darmayani, S., Tribakti, I., Bulkis Musa, Satriawan, D., Rustiah, W., Helilusiatiningsih, N., Sahabuddin, E. S., Rivandi Pranandita Putra, Rahmawati, Fathan Mubina dewadi, & Cundaningsih, N. (2023). *Kimia Lingkungan* (M. Sari, Ed.). PT. GET Press Indonesia.
- Dewadi, F., Kusmiwardhana, D., Hakim, F., & Tsabitha, N. (2023). Optimasi Rangka Electric Bike dengan Menitikberatkan Nilai Keamanan pada Tiap Titik Beban dengan Aplikasi Inventor. *Jurnal Mekanik Terapan*, 4(2), 103–107.
- Dewadi, F. M. (n.d.). *PERAN KARANG TARUNA DALAM PENGEMBANGAN SDM DI ERA MILENIAL*.
- 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., Dahlan, D., & Maulana, E. (2019). *JOJAPS*.
- Dewadi, F. M., Farahdiansari, A. P., Rochyani, N., Suprihatin, H., Botutihe, S., Oktavera, R., Rachman, D. N., Yuliawati, E., Suprayitno, A., & Umar, U. (2023). *EKONOMI TEKNIK*. Get Press Indonesia.
- 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., Kristiana, R., La Ola, M. N., Setiawan, A. M., Rachim, F., Widiati, I. R., Yasin, A., Masgode, M. B., & Hamdi, F. (2023). *STATIKA TEKNIK*. Get Press Indonesia.
- Dewadi, F. M., Milasari, L. A., A. H., Wibowo, C., Suprayitno, A., Alfaris, L., Saputra, A. A., & Gobel, F. F. (2023). *HAKI Desain Penelitian Bidang Teknik* (Patent EC00202380965).
- Dewadi, F. M., Nova, M. A., & Agustini, V. Y. (2024). *Investigation of Diode Holder Plate Damage on ATR 72 Type Aircraft for the 2022-2023 Period*. 4(2), 103–107. <https://doi.org/10.4108/eai.7-11-2023.2342955>
- Dewadi, F. M., Puspita, S., Yunita, R., Erniati, Wahyuni, R., Muljo, A., Dewi, A. F., Karyadi, Novrianti, Ahadiyah, K., & Sedyanto. (2023). Kalkulus Dasar. In Ariyanto (Ed.), *Penerbit Tahta Media*. PT. GET Press Indonesia. <http://tahtamedia.co.id/index.php/issj/article/download/217/216>
- Dewadi, F. M., Riduwansah, Sadipun, B., Asroni, A., Zaifullah, Junaidi, Dahlan, R., Wahab, G., Elizamiharti, & Abdullah, J. (2023). Pendidikan Pancasila dan Kewarganegaraan. In A. Asari (Ed.), *Patra Widya: Seri Penerbitan Penelitian Sejarah dan Budaya*. (Vol. 21, Issue 3). PT. Literasi Nusantara Abadi Grup. <https://doi.org/10.52829/pw.310>
- 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., Sriwahyuni, E., Edahwati, L., Komara, I., Mulyadi, D., Fajri, H., Sukardin, M. S., & Wibowo, L. A. (2023). *STATIKA STRUKTUR*. Get Press Indonesia.

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.

Dewadi, F., Octavianti, C., Nanang, Sitopu, J., Eka, D., Dhianti, L., Kelen, W., Randjawali, E., Suhendar, H., Lestari, N., Setiawan, J., & Sediyanto. (2023). *Matematika Terapan II* (A. Yanto, Ed.; Issue May). PT. GET Press Indonesia.

Dewadi, F., Puspita, S., Yunita, R., Bachtiar, E., Wahyuni, R., Muljo, A., Dewi, A. F., Karyadi, Novrianti, Ahadiyah, K., & Sediyanto. (2024). *HAKI Kalkulus Dasar* (Patent EC00202402050). [http://repository.uinsu.ac.id/5536/7/Sertifikat HAKI Yusuf Hadi dkk.pdf](http://repository.uinsu.ac.id/5536/7/Sertifikat%20HAKI%20Yusuf%20Hadi%20dkk.pdf)
[http://repository.uinsu.ac.id/5536/1/JURNAL Yusuf Hjy TADBIR VOL 5 NO 1 JANUARI-JUNI 2019.pdf](http://repository.uinsu.ac.id/5536/1/JURNAL%20Yusuf%20Hjy%20TADBIR%20VOL%205%20NO%201%20JANUARI-JUNI%202019.pdf)

Dimiyati, D., Ashiedieque, A. D., Sukarman, S., Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rahardja, I. B., Ramadhan, A. I., & Surtpto, 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.

Fathan Mubina Dewadi, Normansyah, P. D. N., & Esta Larosa, Ahmad Eko Suryanto, A. W. (2023). *Gambar Teknik* (A. Asari, Ed.). PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA.

- Fathan Mubina Dewadi; Riduwansah; Berty Sadipun; Ahmad Asroni; Zaifullah; Junaidin; Gusnarib Wahab; Elizamiharti; Jihan Abdullah. (2023). *HAK CIPTA BUKU PPKN* (Patent EC00202372234).
- Ir. Fathan Mubina Dewadi, S.T., M.T, I., Rifaldo Pido, S.T., M. T., Radissa Dzaky Issafira, S.T., M. S., Ni Putu Yuni Nurmalasari, S.Si., M. S., MT, M. Rifal., Atika Nandini, S.T., M. S., Rahmad Hidayat Boli, ST., M., Eka Murdani, S.Si., M. Pf., Muhtar, Rafil Arizona, S.T., M. E., & Mustaqim. (2023). *Mekanika Fluida* (F. Dewadi, Ed.). PT. Indie Press.
- 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.
- Lulut Alfaris, S.T., M. T., Fathan Mubina Dewadi. ST., MT., Ir. Maryadi, ST., MT., IPM., ACPE., A. Eng., Eko Kurniawan, S. T. M. Sc., Ulum, M. M., Zulaikha, D. F., Ir. Indriyani, A.P., S.T., M. Si., Harahap, R. H., Tria Puspa Sari, ST., M. S., Ir. Ahmad Yani, S.T., M.T., IPP., Ir. Ari Beni Santoso S. T., M. T., & I Putu Tedy Indrayana, M. Sc. (2022). *Termodinamika* (R. Pido, Ed.). PT. Indie Press.
- Minuk Riyana, S.Pd., M. S., Helen Parkhurst, M. S., Hikmah Rahmah, M. S., Prasanti Mia Purnama, S.Si, M. S., Eko Sulistyono, M. Si., Fathan Mubina Dewadi, S.T., M.T., I., Muhtar, S.T., M. T., & Soraya Djamilah, S.Pd., Gr., M. P. (2022). *Pengantar Matematika* (R. Meliyani, Ed.). PT. Scifintech Andrew Wijaya.
- Mudia, R., Fathan, A. R., Dewadi, M., Rustiah, W., Helilusiatiningsih, N., Ningtyas, A. A., Rantesalu, A., Budirohmi, A., & Penulis, M.

- (2023). *Kimia Dasar II* (M. Sari, Ed.). PT. GET Press Indonesia. www.globaleksekutifteknologi.co.id
- 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.
- 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.
- Muryanto, M., Wibowo, C., Dewadi, F. M., & Dahlan, J. K. H. A. (2023). *Analisis Oli Hasil Destilasi (Filtrasi Arang Aktif) Terhadap Performa Motor Diesel*. 5(3), 1–13.
- Mustafa, Nugroho, B. S., Dewadi, F. M., Putera, D. A., Dermawan, A. A., Maharja, R., Sunuh, H. S., Saharudin, Panggeleng, A. M. F., Gala, S., Subagyo, I., Hasanudin, & Syam, D. M. (2000). *HAKI Keselamatan Kerja dan Lingkungan Industri* (Patent EC00202335600).
- N, V., Nanda, R. A., & Dewadi, F. M. (2024). *RPM MEASUREMENT COMPARISON USING A THERMOMETER AND LM393 MICROCONTROLLER*. 51–62. <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2024.005.01.6>
- Nanda, R. A., Dewadi, F. M., Nugroho, A. A., & Ramadhan, G. A. (2023). Pelatihan Pembacaan Gambar Teknik Dalam Proses Pengelasan Bagi Pemuda Desa Tegal Sawah. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 2(1), 17–25.
- 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., 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.
- Nugroho, B. S., Dewadi, F. M., Putera, D. A., Dermawan, A. A., Maharja, R., Sunuh, H. S., Panggeleng, A. M. F., & Gala, S. (2023). *Keselamatan Kerja dan Lingkungan Industri* (M. Sari, Ed.). PT. GET Press Indonesia. <https://books.google.co.id/books?id=7Ly9EAAAQBAJ>
- Nurmiah, A., Y. P. E., Hasriyanti, N., Hidayat, M., Puspaningtyas, R., Rahmi, E., Dewadi, F. M., Milasari, L. A., Nugraha, P. G. W. S., & Zulfiqar, M. F. (2023). *Arsitektur Lanskap* (M. Sari, Ed.). PT. GET Press Indonesia. <https://books.google.co.id/books?id=YCy8EAAAQBAJ>
- Nurmiah, A., Y. P. E., Nunik Hasriyanti, M. H. R. P. E. R., Dewadi, F. M., Astria Milasari, L., Wahyu Satya Nugraha, P. G., & Zulfiqar Furqa, M. (2023). *HAKI Arsitektur Lanskap* (Patent EC00202332127).
- Purnomo, T., & Sahabuddin, E. S. (2023). *Pengendalian limbah industri* (N. Sulung, Ed.). PT. GET Press Indonesia.
- Ratnadewi, Randjawali, E., Zahriah, Zulkarnaini, Rusdi, Wibowo, R., Tuada, rasydah N., Nurlina, Lutfin, N. A., & Dewadi, F. M. (2023). *Fisika Optik Umum dan Mata* (N. Sulung, Ed.). PT. GET Press Indonesia.
- Simatupang, D. A., Dewadi, F. M., Nugraha, M., & Rafdi, M. (2013). Sepeda Listrik Dengan Sistem Isi Ulang Mandiri. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). Politeknik Negeri Jakarta.
- Sugiyanto, G., Elim, R. V., Kurniawati, N., Arifien, Y., Suharno, Kristiana, R., Dewadi, F. M., Milasari, L. A., Akri, F. L., Syafri, & Hasriyanti, N. (n.d.). *Perencanaan Wilayah dan Perkotaan*. PT. GET Press Indonesia.

- 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.
- 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., Dewadi, F. M., & Muryanto, M. (2023). PENGEMBANGAN GERBAK SAMPAH SEBAGAI SOLUSI KEBERSIHAN DI PERMATA PENGGILINGAN RT 12 RW 16 CAKUNG, JAKARTA TIMUR. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Mandiri (JPMM)*, 1(02), 178–184.
- 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 PENGGILINGAN EAST JAKARTA. *International Journal of Engagement and Empowerment*, 1(3), 174–183.
- Wiyono, A. S., Dewadi, F. M., Della, R. H., Sugiyanto, G., Rustam, M. S. P. A., Bakri, M. D., Yunus, A. I., Rustan, F. R., Dairi, R. H., & Sari, D. P. (2023). *Rekayasa Lalu Lintas* (D. P. Sari, Ed.). PT. GET Press Indonesia.
<https://books.google.co.id/books?id=a3DBEAAAQBAJ>
- Yunus, A. I., Kristiana, R., Dewadi, F. M., Anwar, B., H.Umar, St. A., Fuadah, N., Sarasanty, D., Edahwati, L., Murdani, E., &

Tukimun. (2023). *Mekanika Teknik II* (D. P. Sari, Ed.). PT. GET Press Indonesia.

Yusaerah, N., Jumiatty, H., Dewadi, F. M., Rustiah, W., Faisal, A. P., Amin, I. I., Hutami, T. A., Darmayani, S., & Helilusiatiningsih, N. (2022). Konsep Dasar Kimia Analitik. In W. N. Ramadhani (Ed.), *Konsep Dasar Kimia Analitik*. PT. GET Press Indonesia. <https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=q-ajEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA63&dq=titrasi+pengendapan&ots=K8t-T4Xbem&sig=afUWKI5IUK...1/1>

BAB 2

TEGANGAN DAN REGANGAN

Oleh Karyadi

2.1 Tegangan

Tegangan, dalam konteks ilmu material atau mekanika kekuatan material, adalah ukuran dari gaya per satuan luas yang diterapkan pada suatu benda (C. Wibowo, Setiawan, et al., 2021). Secara matematis, tegangan (σ) dapat didefinisikan sebagai $\sigma = F/A$ di mana σ adalah tegangan, F adalah gaya yang diterapkan pada benda, dan A adalah luas penampang melintang benda yang menerima gaya tersebut (Abbas et al., 2021).

Tegangan biasanya diukur dalam satuan tekanan seperti pascal (Pa) atau psi (*pound per square inch*) (Dewadi et al., 2019). Tegangan bisa terjadi dalam berbagai arah, tergantung pada arah gaya yang diterapkan pada benda tersebut (Lulut Alfaris et al., 2022). Jika gaya diterapkan tegak lurus terhadap penampang benda, kita menyebutnya sebagai tegangan normal (Della et al., 2022). Namun, jika gaya diterapkan sejajar dengan bidang penampang benda, kita menyebutnya sebagai tegangan geser (Jakariya et al., 2023).

Dalam konteks teknik sipil atau rekayasa struktural, tegangan digunakan untuk memahami bagaimana beban atau gaya yang diterapkan pada struktur mempengaruhi materialnya (Nanda & Dewadi, 2022).

Pemahaman tentang tegangan penting dalam desain struktur, karena memungkinkan insinyur untuk menentukan apakah suatu material mampu menahan beban yang diberikan tanpa mengalami kegagalan atau deformasi yang tidak diinginkan (Dewadi & Sigalingging, 2021).

2.2 Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Tegangan geser adalah gaya per satuan luas yang sejajar dengan bidang penampang suatu benda (Dewadi, 2023c). Tegangan

geser terjadi ketika dua bagian dari benda tersebut bergeser relatif satu sama lain di sepanjang bidang yang sejajar (Dewadi & Supriyanto, 2021). Secara matematis, tegangan geser (τ) dapat didefinisikan sebagai $\tau = F/A$ di mana τ adalah tegangan geser, F adalah gaya geser yang diterapkan pada benda, dan A adalah luas penampang melintang benda yang terkena gaya geser (Suhara, Dewadi, & Hamdani, 2023).

Tegangan geser diukur dalam satuan tekanan, seperti pascal (Pa) atau psi (*pound per square inch*) (Fathan et al., 2022). Tegangan geser sangat penting dalam analisis deformasi dan kekuatan bahan, terutama pada situasi di mana bahan mengalami pembebanan yang menyebabkan gerakan relatif antara bagian-bagian dari bahan tersebut (Dewadi, Jati, et al., 2023). Dalam prakteknya, tegangan geser sering kali digunakan untuk mengevaluasi kekuatan sambungan atau antarmuka antara dua material yang berbeda, seperti sambungan las atau perekatan (Nanda, Karyadi, & Dewadi, 2022). Pemahaman tentang tegangan geser membantu insinyur dan perancang dalam memastikan keamanan dan kekuatan struktur dan komponen mesin (Nanda, Supriyanto, Dewadi, et al., 2022).

2.3 Regangan

Regangan (strain) adalah ukuran dari perubahan relatif dalam dimensi suatu benda akibat penerapan tegangan (Dewadi, 2016). Dalam konteks mekanika kekuatan material, regangan (ϵ) didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan panjang atau dimensi benda (ΔL) dengan panjang atau dimensi aslinya (L) (Mulyadi et al., 2023). Secara matematis, regangan dapat dinyatakan sebagai $\epsilon = \Delta L/L$ (Dewadi et al., 2022). Regangan umumnya dinyatakan dalam bentuk desimal atau dalam bentuk persentase (C. Wibowo et al., 2022). Dalam kasus regangan linear, regangan tersebut proporsional dengan tegangan yang diterapkan, sesuai dengan Hukum Hooke (S. H. Wibowo et al., 2023). Namun, pada titik tertentu, bahan dapat mencapai titik elastisnya dan memasuki fase plastis, di mana regangan tidak lagi proporsional dengan tegangan (Nanda & Dewadi, 2023). Regangan adalah parameter penting dalam analisis kekuatan material karena memberikan gambaran tentang respons suatu bahan terhadap gaya atau beban yang

diterapkan (Dewadi, Lillahulhaq, et al., 2023). Pemahaman tentang regangan memungkinkan insinyur untuk mengevaluasi sifat elastis dan plastis dari material, serta memprediksi perilaku bahan dalam situasi pembebanan yang berbeda (Dewadi & Ma'arof, 2022).

2.4 Soal-Soal Latihan

1. Sebuah batang baja memiliki panjang awal 1 mm dan penampang melintang 100 mm (Mubina & Amir, 2022). Ketika batang tersebut dikenakan gaya tarik sebesar 50,000 N, regangan yang dihasilkan adalah 0.002. Hitunglah tegangan pada batang tersebut (Dewadi, Nanda, et al., 2023)!
2. Sebuah balok aluminium memiliki dimensi 200 mm × 50 mm × 30 mm (Nanda et al., 2023). Ketika balok tersebut dikenakan gaya tekan sebesar 10,000 N, tegangan normal maksimum yang terjadi di dalam balok adalah 100 MPa (Dewadi, Bachtiar, et al., 2023). Tentukanlah regangan yang terjadi pada balok (Dewadi, 2023b)!
3. Sebuah silinder baja dengan panjang 2 m dan diameter 50 mm dikenakan gaya tekan sebesar 20,000 N (Nanda, Karyadi, Dewadi, et al., 2022). Jika modulus elastisitas baja adalah 200 GPa, tentukanlah tegangan yang terjadi pada silinder (Murtalim et al., 2020)!
4. Sebuah bahan elastis memiliki modulus elastisitas 50 GPa dan kuat tarik maksimum 500 MPa (Farahdiansari et al., 2021). Jika kita ingin mengetahui regangan maksimum yang diperbolehkan untuk bahan ini, berapa regangan maksimum yang diizinkan (Mulyadi & Dewadi, 2021)?
5. Sebuah batang baja memiliki modulus elastisitas 200 GPa (Nanda, Supriyono, Ma'arof, et al., 2022). Jika regangan pada batang tersebut adalah 0.0015, berapakah tegangan yang dihasilkan (Dewadi, 2021a)?
6. Sebuah balok aluminium dengan dimensi 100 mm × 50 mm × 20 mm dikenakan gaya tekan sebesar 15,000 N (Khoirudin et al., 2021). Jika tegangan normal yang dihasilkan adalah 75 MPa, tentukanlah regangan yang terjadi pada balok (Suhara, Dewadi, & Febrian, 2023).

7. Sebuah batang material plastik memiliki modulus elastisitas sebesar 2 GPa (C. Wibowo & Dewadi, 2022). Jika tegangan yang dihasilkan adalah 30 MPa, berapakah regangan yang terjadi pada material tersebut (Dewadi, 2023a)?
8. Sebuah batang baja memiliki panjang awal 2 m dan penampang melintangnya 200 mm² (Dewadi, 2021b). Ketika batang tersebut dikenakan gaya tarik sebesar 10,000 N, regangan yang dihasilkan adalah 0.002 (Dimiyati et al., 2021). Hitunglah modulus elastisitas (*Young's modulus*) dari material baja tersebut (C. Wibowo, Dewadi, 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.
- Della, R. H., Nugroho, B. S., Agustawan, A., Simarmata, N., Fitriyani, E., Dewadi, F. M., Musfirah, M., & Sitorus, E. (2022). *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Society 5.0*.
- 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). BAB 3 KRITERIA PEMILIHAN BAHAN TEKNIK DALAM APLIKASINYA. In *MEKANIKA TEKNIK II* (p. 36). Global Eksekutif Teknologi.
- Dewadi, F. M. (2023c). 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., Bachtiar, E., Alyah, R., Satriawan, D., Annisa, F., Pasaribu, J. S., Randjawali, E., Afrida, J., & Rochyani, N. (2023). *Fisika Dasar I (Mekanika Dan Panas)*. Global Eksekutif Teknologi.
- 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., Nanda, R. A., & Wibowo, C. (2023). Understanding of Machinery Technology in Understanding Renewable Energy Towards Indonesia Go Green. *International Conference on Elementary Education*, 5(1), 206–210.
- 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.
- Dimyati, D., Ashiedieque, A. D., Sukarman, S., Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rahardja, I. B., Ramadhan, A. I., & Suropto, 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.
- 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.
- Mubina, F., & Amir, A. (2022). Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur. *Jurnal Mekanik Terapan*, 3(1), 18–25.
- 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., Karyadi, K., Dewadi, F. M., & Rizki, M. N. (2023). Perancangan dan Pembuatan JIG FOG Lamp Mobil Dengan Material Aluminium. *Jurnal Mekanik Terapan*, 4(1), 9–14.
- 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.
- 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.

- 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 PENGGILINGAN EAST JAKARTA. *International Journal of Engagement 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 PENGGILINGAN JAKARTA. *Indonesian Journal of Engagement, 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 3

TEGANGAN NORMAL, GESER, DAN BEARING STRESS

Oleh Fathan Mubina Dewadi

3.1 Tegangan Normal

Tegangan normal, tegangan geser, dan *bearing stress* adalah konsep penting dalam mekanika bahan dan struktur, yang digunakan untuk menganalisis bagaimana material atau struktur bereaksi terhadap berbagai jenis gaya yang bekerja pada mereka (Surbakti, Wibowo and Dewadi, 2022).

Tegangan normal adalah gaya internal yang bekerja tegak lurus terhadap penampang material, dihasilkan oleh gaya tarik atau tekan yang diterapkan sepanjang sumbu utama material (K Khoirudin *et al.*, 2021). Misalnya, saat sebuah batang ditarik atau ditekan secara aksial, tegangan normal berkembang di dalam material, dihitung sebagai rasio gaya (F) terhadap luas penampang (A) (Dewadi, 2022). Tegangan ini menjadi parameter kunci dalam mendesain struktur yang menahan beban aksial, seperti kolom atau batang penghubung (Dewadi *et al.*, 2016). Material harus memiliki kekuatan tarik atau tekan yang cukup untuk menghindari kegagalan seperti patah atau remuk (Dewadi, 2024).

3.2 Tegangan geser

Tegangan geser di sisi lain, terjadi ketika gaya bekerja sejajar dengan penampang material (Dewadi and Abduh Al-Afgani, 2021). Contohnya terlihat pada sambungan baut, di mana gaya yang bekerja sejajar dengan bidang sambungan menghasilkan tegangan geser pada baut tersebut (Dewadi and Amir, 2021).

Tegangan geser dihitung dengan formula, di mana (F) adalah gaya geser dan (A) adalah luas bidang geser (Nanda and Dewadi, 2024). Tegangan geser penting dalam analisis elemen-

elemen seperti sambungan, pelat, atau batang torsi, di mana gesekan atau gaya transversal mendominasi (Nanda *et al.*, 2024). Sambungan las atau rivet juga dirancang untuk menahan tegangan geser tertentu agar tidak terjadi kegagalan seperti geseran sambungan (F. M. Dewadi, Supriyadi, *et al.*, 2024).

3.3 Bearing Stress

Bearing stress atau tegangan tekan kontak, adalah tegangan yang terjadi pada permukaan kontak antara dua material akibat gaya tekan (Dewadi, 2023b). *Bearing stress* biasanya terjadi pada area kecil di mana satu elemen bersentuhan dengan elemen lainnya, seperti pada sambungan baut, pelat dasar kolom, atau bantalan (Kusmiwardhana *et al.*, 2024). Tegangan ini dihitung dengan membagi gaya tekan (F) meskipun tegangan ini sering dianggap seragam, dalam praktiknya, distribusi tegangan di area kontak sering kali tidak merata, yang dapat menyebabkan konsentrasi tegangan di area tertentu (Wibowo, Mubina Dewadi and Setiawan, 2024).

3.4 Eksekusi Desain

Untuk memastikan desain yang aman, tegangan normal, geser, dan *bearing stress* dibandingkan dengan sifat material seperti kekuatan tarik, kekuatan geser, atau kekuatan tekan material (Purnomo and Sahabuddin, 2023).

Jika salah satu tegangan melebihi kemampuan material, kegagalan dapat terjadi, baik dalam bentuk patah, retak, atau deformasi permanen (Dewadi, 2023a). Kriteria kegagalan material seperti teori Von Mises atau Tresca sering digunakan untuk menentukan kapan material akan mencapai batas kegagalannya di bawah kombinasi tegangan normal dan geser (Fathan Mubina Dewadi, *et al.*, 2023). Tegangan normal dan geser sering dianalisis bersama dalam kasus kombinasi beban, seperti pada balok yang mengalami momen lentur dan gaya geser secara bersamaan (Fathan Mubina Dewadi, *et al.*, 2023).

3.4 Studi Kasus

Dalam kasus ini, analisis tegangan melibatkan penggunaan diagram tegangan-regangan dan prinsip superposisi untuk menentukan tegangan maksimum yang dialami material (F. Dewadi *et al.*, 2023). Tegangan normal paling tinggi biasanya terjadi di sumbu ekstrem (atas atau bawah) balok yang melentur, sedangkan tegangan geser cenderung mencapai puncaknya di dekat sumbu netral balok (Dewadi, Nova and Agustini, 2024). Analisis bearing stress menjadi penting dalam desain sambungan dan elemen yang bekerja di bawah tekanan lokal (Mudia *et al.*, 2023). Contohnya, pada sambungan baut, tegangan bearing tidak boleh melampaui kekuatan tekan material pelat atau baut (N, Nanda and Dewadi, 2024). Jika tegangan ini melebihi batas material, pelat dapat mengalami deformasi permanen atau bahkan kerusakan (Murtalim, Dewadi and Sunandar, 2020). Untuk mengatasi masalah ini, area kontak diperbesar dengan menambahkan pelat penguat atau memilih material dengan kekuatan tekan yang lebih tinggi (F. M. Dewadi, Puspita, *et al.*, 2024). Pemahaman ketiga jenis tegangan ini juga diaplikasikan dalam desain struktur mekanik yang lebih kompleks, seperti roda gigi, poros, dan elemen mesin lainnya (Nanda, Karyadi, *et al.*, 2022). Dalam desain roda gigi, misalnya, tegangan geser muncul pada gigi akibat gaya gesekan, sementara tegangan bearing terjadi pada area kontak antara gigi-gigi roda (Simatupang *et al.*, 2013).

3.5 Analisis Kegagalan

Dalam analisis kegagalan, penting untuk mempertimbangkan pengaruh kombinasi tegangan (Wibowo, Dewadi and Muryanto, 2023). Misalnya, pada poros yang dikenai torsi dan gaya aksial, tegangan normal dan geser berinteraksi, menciptakan kondisi tegangan kombinasi yang memengaruhi kekuatan total poros (F. M. Dewadi, Sriwahyuni, *et al.*, 2023). Metode analisis seperti lingkaran Mohr digunakan untuk memvisualisasikan kondisi tegangan ini dan menentukan tegangan utama yang bekerja pada material (Alfianto *et al.*, 2023). Selain itu, distribusi tegangan sering kali tidak seragam di dalam material,

terutama di sekitar lubang, takikan, atau sambungan, yang dapat menyebabkan konsentrasi tegangan lokal (Dahri *et al.*, 2023).

3.6 Konsentrasi Tegangan

Konsentrasi tegangan ini dapat menjadi penyebab utama retak atau patah pada struktur (Darmayani *et al.*, 2023). Faktor konsentrasi tegangan dihitung untuk menentukan pengaruh geometri terhadap distribusi tegangan, yang kemudian digunakan untuk memperbaiki desain atau memilih material yang lebih cocok (Nugroho *et al.*, 2023). Tegangan normal, geser, dan *bearing stress* juga relevan dalam analisis struktur bangunan, di mana kolom, balok, dan sambungan dirancang untuk menahan kombinasi beban aksial, transversal, dan tekan lokal (Yunus *et al.*, 2023). Pada bangunan tinggi, misalnya, kolom utama harus dirancang untuk menahan tegangan normal akibat beban aksial dari lantai atas, tegangan geser akibat angin, dan *bearing stress* di area kontak dengan pondasi (Mustafa *et al.*, 2023). Dalam dunia teknik mesin, analisis ketiga tegangan ini diaplikasikan dalam desain elemen-elemen seperti sambungan las, paku keling, dan baut, yang sering kali menjadi titik lemah dalam struktur (F. Dewadi *et al.*, 2024).

Misalnya, pada sambungan baut, tegangan normal terjadi pada batang baut akibat gaya aksial, tegangan geser terjadi pada bagian batang yang bersentuhan dengan lubang, dan *bearing stress* terjadi pada permukaan kontak antara baut dan pelat (Alfaris, F. Dewadi, *et al.*, 2022).

3.7 Penggunaan Analisis Tegangan

Penggunaan analisis tegangan yang akurat dalam desain sambungan ini penting untuk memastikan keandalan struktur dalam berbagai kondisi operasi (Nurmiah *et al.*, 2023). *Bearing stress* juga menjadi perhatian khusus dalam mekanisme seperti bantalan, di mana gaya tekan dari poros harus didistribusikan secara merata untuk mengurangi keausan (F. M. Dewadi, Milasari, *et al.*, 2023). Bantalan yang dirancang buruk dapat menyebabkan deformasi lokal atau kegagalan prematur, sehingga penggunaan material yang tahan aus dan perhitungan *bearing stress* yang teliti menjadi sangat penting (Abbas *et al.*, 2021). Secara keseluruhan,

pemahaman tentang tegangan normal, geser, dan bearing stress memberikan dasar penting untuk desain struktur dan komponen mekanik yang andal, aman, dan efisien (Khoirudin Khoirudin *et al.*, 2021). Analisis yang cermat terhadap ketiga jenis tegangan ini memungkinkan insinyur untuk mengidentifikasi potensi kegagalan, memperbaiki desain, dan memilih material yang paling sesuai untuk aplikasi tertentu (Wibowo, Dewadi and Setiawan, 2024).

Tegangan normal, tegangan geser, dan *bearing stress* adalah jenis tegangan yang muncul akibat gaya yang bekerja pada suatu material, masing-masing memiliki karakteristik dan aplikasi berbeda (Fathan Mubina Dewadi, Dahlan and Maulana, 2019). Tegangan normal terjadi ketika gaya bekerja tegak lurus terhadap permukaan material, menghasilkan deformasi berupa pemanjangan atau pemendekan tergantung pada apakah gaya tersebut bersifat tarik atau tekan (Wibowo *et al.*, 2022).

Tegangan geser, di sisi lain, muncul akibat gaya yang bekerja sejajar dengan permukaan, sehingga material mengalami pergeseran antar lapisan, seperti pada paku yang menahan geseran (Wibowo and Dewadi, 2022).

Sementara itu, *bearing stress* adalah tegangan yang terjadi pada area kontak antara dua material akibat gaya tekan, seperti pada sambungan baut dan pelat, dengan intensitas yang bergantung pada gaya tekan total dan luas area kontak efektif (Alfaris, F. M. Dewadi, *et al.*, 2022). Ketiga jenis tegangan ini penting dalam perancangan struktur, memastikan material mampu menahan beban tanpa gagal, dan memandu para insinyur dalam memilih material serta mendesain sambungan yang aman dan efisien (Farahdiansari, Dewadi and Rahdiana, 2021).

3.8 Pertimbangan terhadap *Bearing Stress*

Pertimbangan terhadap *bearing stress* sangat penting dalam desain sambungan dan struktur, terutama di area di mana dua material saling bersentuhan dan menanggung gaya tekan, seperti sambungan baut, pin, atau mur dengan pelat logam (Della *et al.*, 2022). *Bearing stress* dihitung dengan membagi gaya tekan dengan luas area kontak efektif (Jakariya, Setiawan and Dewadi, 2023). Desain yang tidak tepat dapat menyebabkan kegagalan lokal seperti

deformasi permanen, keausan, atau bahkan retakan, terutama jika tegangan melebihi batas *bearing strength* material (Nanda and Dewadi, 2022). Oleh karena itu, untuk memastikan keandalan, harus dipertimbangkan sifat material seperti kekuatan tekan, kekakuan, dan ketahanan deformasi plastis, serta dimensi elemen yang berinteraksi (Dewadi and Sigalingging, 2021). Selain itu, faktor seperti distribusi gaya, toleransi fabrikasi, gesekan, dan korosi juga memainkan peran penting dalam memastikan sambungan tetap aman selama umur pakainya (Dewadi, 2023c).

Insinyur sering menggabungkan pengujian, simulasi, dan standar desain seperti ASTM atau ISO untuk memastikan bahwa material dan konfigurasi sambungan mampu menahan *bearing stress* tanpa melebihi batas keamanan, sambil mempertimbangkan faktor-faktor seperti efisiensi berat dan biaya (Mulyadi and Dewadi, 2021).

3.9 Pertimbangan Gesekan

Pertimbangan gesekan memainkan peran krusial dalam berbagai aplikasi teknik dan desain karena memengaruhi efisiensi, keandalan, serta umur pakai suatu sistem (Dimiyati *et al.*, 2021).

Gesekan, yang merupakan gaya resistansi antara dua permukaan yang bersentuhan, dapat bersifat statis (saat benda diam) atau kinetis (saat benda bergerak), dengan masing-masing bergantung pada koefisien gesekan dan gaya normal yang bekerja di antara permukaan tersebut (Dewadi and Supriyanto, 2021). Faktor-faktor utama yang perlu dipertimbangkan meliputi sifat material permukaan, seperti kekasaran, kekerasan, dan kelicinan, serta kondisi lingkungan seperti suhu, kelembapan, atau keberadaan pelumas (Suhara, Dewadi and Hamdani, 2023). Dalam desain mekanis, gesekan sering kali diinginkan untuk memberikan stabilitas, seperti pada rem atau kopling, namun di sisi lain, gesekan yang berlebihan dapat menyebabkan energi hilang dalam bentuk panas, keausan, dan kerusakan komponen, seperti pada bantalan atau roda gigi (Fathan, Jati and Sofiyanti, 2022). Oleh karena itu, pengendalian gesekan dilakukan melalui metode seperti pelumasan,

pemilihan material dengan koefisien gesekan rendah, atau penerapan teknologi permukaan seperti pelapisan anti-aus (Dewadi, Jati and Sofiyanti, 2023).

Pendekatan yang seimbang diperlukan untuk memastikan bahwa gesekan mendukung fungsi sistem tanpa mengorbankan efisiensi atau ketahanan, sambil tetap mematuhi standar keselamatan dan biaya produksi yang efektif (Suhara, Dewadi and Febrian, 2023).

3.10 Mekanika Kekuatan Material

Mekanika kekuatan material adalah cabang ilmu teknik yang mempelajari perilaku material saat menerima beban atau gaya, dengan fokus pada kemampuan material untuk menahan deformasi, tegangan, dan kegagalan dalam berbagai kondisi (Nanda, Karyadi and Dewadi, 2022). Ilmu ini mencakup analisis tegangan, regangan, serta hubungan antara keduanya melalui konsep elastisitas dan plastisitas (Nanda, Supriyanto, *et al.*, 2022). Tegangan dapat berupa tegangan tarik, tekan, geser, atau kombinasi di antaranya, sedangkan regangan mengukur perubahan bentuk atau ukuran material akibat gaya eksternal (Wibowo, Dewadi and Al-Afgani, 2021).

Mekanika kekuatan material juga mempertimbangkan sifat material seperti modulus elastisitas, kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum, dan kekuatan patah, yang semuanya memengaruhi performa material dalam aplikasi tertentu (Dewadi, 2016). Aspek desain melibatkan analisis gaya internal, seperti momen lentur, gaya geser, dan torsi, yang terjadi pada struktur seperti balok, kolom, poros, atau pelat (Setiawan and Dewadi, 2022). Faktor keamanan sering diterapkan untuk memastikan struktur tetap stabil meskipun terjadi beban berlebih atau kondisi ekstrem (Mulyadi *et al.*, 2023). Selain itu, fenomena seperti kelelahan, perayapan, dan fraktur juga dipelajari untuk memahami kegagalan material di bawah beban dinamis atau lingkungan agresif (Dewadi, Maryadi, *et al.*, 2022).

Dengan bantuan simulasi komputer dan metode eksperimental, insinyur dapat merancang material dan struktur yang lebih efisien, ringan, dan tahan lama, mulai dari jembatan, pesawat terbang, hingga perangkat medis, sambil tetap

mempertimbangkan efisiensi biaya dan keberlanjutan (Nanda, Supriyono, *et al.*, 2022).

3.11 Studi Material

Studi material adalah bidang multidisiplin yang mempelajari sifat, struktur, proses, dan kinerja material untuk memahami dan mengoptimalkan penggunaannya dalam berbagai aplikasi teknik, ilmiah, dan industri (Wibowo, Surbakti and Dewadi, 2022). Bidang ini mencakup empat pilar utama: struktur material, sifat material, pemrosesan, dan performa (Wibowo *et al.*, 2023). Struktur material meliputi analisis pada tingkat atomik, mikro, dan makro untuk mengidentifikasi pola kristal, butiran, atau struktur amorf yang menentukan sifat fisiknya (Nanda and Dewadi, 2023). Sifat material dibagi menjadi beberapa kategori, termasuk mekanik (kekuatan, kekerasan, elastisitas), termal (konduktivitas panas, kapasitas panas), listrik (konduktivitas, resistivitas), optik (indeks bias, transmisi), dan kimia (ketahanan terhadap korosi, reaktivitas) (F. M. Dewadi, Lillahulhaq, *et al.*, 2023). Proses manufaktur, seperti pengecoran, ekstrusi, perlakuan panas, pencetakan 3D, dan pelapisan, memengaruhi mikrostruktur material dan, pada akhirnya, sifat-sifatnya (Wibowo, Setiawan and Dewadi, 2021).

Performa material diuji untuk menentukan kelayakannya dalam kondisi nyata, termasuk daya tahan terhadap kelelahan, retak, deformasi, atau kegagalan akibat suhu ekstrem, beban mekanis, atau lingkungan korosif (Dewadi, 2021b).

Studi ini juga mencakup pengembangan material baru, seperti logam paduan, polimer rekayasa, keramik canggih, komposit, dan material nano yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan khusus, seperti kekuatan tinggi dengan bobot ringan atau sifat multifungsi seperti konduktivitas listrik yang tinggi dan ketahanan termal (F M Dewadi, Dahlan and Maulana, 2019).

Selain itu, kemajuan dalam nanoteknologi, biomaterial, dan material pintar telah membuka peluang baru di sektor energi, kesehatan, teknologi, dan transportasi (Asari *et al.*, 2023). Dengan bantuan alat analisis seperti mikroskop elektron, spektroskopi, dan

simulasi berbasis komputer, para ilmuwan dapat memprediksi sifat material baru sebelum diproduksi, sehingga mempercepat inovasi (Dewadi, Amir, *et al.*, 2022).

Studi material tidak hanya berfokus pada efisiensi dan performa, tetapi juga pada keberlanjutan melalui daur ulang, penggunaan material ramah lingkungan, dan pengurangan limbah dalam proses produksi (Dewadi and Ma'arof, 2022). Hal ini menjadikannya inti dari pengembangan teknologi yang mendorong kemajuan manusia di berbagai sektor (Dewadi, 2021a).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, A. *et al.* (2021) 'Implementation of clustering unsupervised learning using K-Means mapping techniques', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, p. 012004.
- Alfaris, L., Dewadi, F.M., *et al.* (2022) *MATRIKS DAN RUANG VEKTOR*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Alfaris, L., Dewadi, F., *et al.* (2022) *Termodinamika*. Edited by R. Pido. Bandung: PT. Indie Press.
- Alfianto, E. *et al.* (2023) *KONSEP PESAWAT TERBANG*. Get Press Indonesia.
- Asari, A. *et al.* (2023) 'Pengantar Statistika', in. PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA.
- Dahri, A.T. *et al.* (2023) *Konversi Energi Dan Sistem Pembangkit*. Global Eksekutif Teknologi.
- Darmayani, S. *et al.* (2023) *Kimia Lingkungan*. Edited by M. Sari. Padang: PT. GET Press Indonesia.
- Della, R.H. *et al.* (2022) 'Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Society 5.0'.
- Dewadi, F. *et al.* (2016) *Sepeda Listrik dengan Isi Ulang Mandiri*. Depok.
- Dewadi, F. *et al.* (2023) *Matematika Terapan II*. Edited by A. Yanto. Padang: PT. GET Press Indonesia.
- Dewadi, F. *et al.* (2024) 'HAKI Kalkulus Dasar'. Indonesia. Available at: [http://repository.uinsu.ac.id/5536/7/Sertifikat HAKI Yusuf Hadi dkk.pdf](http://repository.uinsu.ac.id/5536/7/Sertifikat%20HAKI%20Yusuf%20Hadi%20dkk.pdf)
[http://repository.uinsu.ac.id/5536/1/JURNAL Yusuf Hiy TADBIR VOL 5 NO 1 JANUARI-JUNI 2019.pdf](http://repository.uinsu.ac.id/5536/1/JURNAL%20Yusuf%20Hijab%20TADBIR%20VOL%205%20NO%201%20JANUARI-JUNI%202019.pdf).
- Dewadi, F. and Amir (2021) *Machine Drawing Module*. Karawang: Guepedia. Available at: <https://doi.org/10.1049/sqj.1935.0084>.
- 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*, pp. 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), pp. 28–36.
- Dewadi, F.M. (2021b) 'Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator', *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 4(1), pp. 13–23.
- Dewadi, F.M. (2022) 'Klasifikasi Perpindahan Panas', in R. Pido (ed.) *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi*. Bandung: Indie Press, pp. 1–8.
- Dewadi, F.M., Maryadi, I., *et al.* (2022) *PERPINDAHAN PANAS: DASAR DAN PRAKTIS DARI PERSPEKTIF AKADEMISI DAN PRAKTISI*. Indie Press.
- Dewadi, F.M., Amir, A., *et al.* (2022) 'Upaya Meminimalisir Kadar Debu Pada Laboratorium Teknik Mesin dengan Vertical Garden', *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 4(2), pp. 128–135.
- Dewadi, F.M. (2023a) 'BAB 3 GEJALA KERADIOAKTIFAN UNSUR-UNSUR TIDAK STABIL', *Kimia Dasar II*, p. 47.
- Dewadi, F.M., Milasari, L.A., *et al.* (2023) 'Desain Penelitian Bidang Teknik'. Indonesia.
- Dewadi, F.M. (2023b) 'Pemanasan BBM Kombinasi dengan Tolak Ukur Pemanasan Temperatur dengan Variabel Densitas, Viskositas serta Flash Point', *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, 5(3).
- Dewadi, F.M. (2023c) 'PENGARUH PEMANASAN BBM CAMPURAN DENGAN PARAMETER PEMANASAN SUHU TERHADAP DENSITAS BAHAN BAKAR', *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), pp. 105–113.
- Dewadi, F.M., Sriwahyuni, E., *et al.* (2023) *STATIKA STRUKTUR*. Get Press Indonesia.
- Dewadi, F.M., Lillahulhaq, Z., *et al.* (2023) *Teknik Pendingin dan Tata Udara*. Global Eksekutif Teknologi.
- Dewadi, F.M. (2024) 'BAB 1 SISTEM KOORDINAT SEGI EMPAT', in *KALKULUS DASAR*. Get Press Indonesia.
- Dewadi, F.M., Supriyadi, S., *et al.* (2024) 'Evaluation of Science Implementation in Mechanical Engineering Design

- Curriculum Class 2A State Polytechnic of Jakarta Pekalongan City Campus Academic Year 2023/2024', *Engineering and Technology International Journal*, 6(02), pp. 56–64.
- Dewadi, F.M., Puspita, S., *et al.* (2024) *Kalkulus Dasar*, Penerbit Tahta Media. Edited by Ariyanto. Padang: PT. GET Press Indonesia. Available at: <http://tahtamedia.co.id/index.php/issj/article/download/217/216>.
- Dewadi, F.M. and Abduh Al-Afgani (2021) *Implementasi Material Titanium Pada Sepeda Listrik Sebagai Rangka Yang Efisien*, Research Gate. Karawang. Available at: https://www.researchgate.net/publication/371172279_Implementasi_Material_Titanium_pada_Sepeda_Listrik_sebagai_Rangka_yang_Efisien#fullTextFileContent.
- Dewadi, F M, Dahlan, D. and Maulana, E. (2019) 'Frame e-Bike Optimization Capacity 48V', *Journal Online Jaringan Pengajian Seni Bina (JOJAPS)*, 14, pp. 129–138.
- Dewadi, Fathan Mubina, Dahlan, D. and Maulana, E. (2019) 'JOJAPS'.
- Dewadi, F.M., Jati, R.R. and Sofiyanti, B. (2023) 'PENGKLASIFIKASIAN MATERIAL DALAM PROSES PENGELASAN BERDASARKAN JENIS MATERIAL', *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), pp. 2030–2035.
- Dewadi, F.M. and 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), pp. 16–27.
- Dewadi, F.M., Nova, M.A. and Agustini, V.Y. (2024) 'Investigation of Diode Holder Plate Damage on ATR 72 Type Aircraft for the 2022-2023 Period', 4(2), pp. 103–107. Available at: <https://doi.org/10.4108/eai.7-11-2023.2342955>.
- Dewadi, F.M. and Sigalingging, W.S. (2021) 'PENGARUH PARAMETER TEMPERATUR QUENCHING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO REAR HUB SPINDLES', *Buana Ilmu*, 5(2), pp. 101–118.

- Dewadi, F.M. and Supriyanto, A. (2021) 'PENGARUH PENAHANAN SUHU REAKTOR PADA PENGUJIAN LDPE DENGAN DEBIT AIR 46 L/MIN', *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), pp. 19–27.
- Dimiyati, D. *et al.* (2021) 'Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blankss Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan', *Borobudur Engineering Review*, 1(2), pp. 96–105.
- Farahdiansari, A.P., Dewadi, F.M. and Rahdiana, N. (2021) 'Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis', *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), pp. 1–5.
- Fathan, F.M.D., Jati, R.R. and Sofiyanti, B. (2022) 'Pengenalan Material Yang Digunakan Dalam Proses Pengelasan Berdasarkan Spesifikasi Material', *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(3), pp. 300–305.
- Fathan Mubina Dewadi, Normansyah, P.D.N. and Esta Larosa, Ahmad Eko Suryanto, A.W. (2023) *Gambar Teknik*. Edited by A. Asari. Solok: PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA.
- Ir. Fathan Mubina Dewadi, S.T., M.T, I. *et al.* (2023) *Mekanika Fluida*. Edited by F. Dewadi. Bandung: PT. Indie Press.
- Jakariya, J., Setiawan, D. and Dewadi, F. (2023) 'Pemakaian Peralatan K3 (Keselamatan Kesehatan Kerja) agar Tidak Terjadinya Kecelakaan Kerja', *Jurnal Pengabdian Masyarakat Indonesia*, 3(2).
- Khoirudin, Khoirudin *et al.* (2021) 'A report on metal forming technology transfer from expert to industry for improving production efficiency', *Mechanical Engineering for Society and Industry*, 1(2), pp. 96–103.
- Khoirudin, K *et al.* (2021) 'Mechanical Engineering for Society and Industry A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency'.
- Kusmiwardhana, D. *et al.* (2024) 'PEMANFAATAN HIDROFOBIK PADA SERAT RAMI TERHADAP HIGIENITAS MATERIAL KAIN DI KAMPUS PNJ PSDKU PEKALONGAN', *Jurnal Pengabdian Masyarakat: Pemberdayaan, Inovasi dan Perubahan*, 4(2).

- Mudia, R. *et al.* (2023) *Kimia Dasar II*. Edited by M. Sari. Padang: PT. GET Press Indonesia. Available at: www.globaleksekutifteknologi.co.id.
- Mulyadi, D. *et al.* (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), pp. 93–104.
- Mulyadi, D. and 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), pp. 6–12.
- Murtalim, M., Dewadi, F.M. and Sunandar, S. (2020) 'ANALISIS UNJUK KERJA ECO RACING SEBAGAI SUPLEMEN PENGHEMAT BAHAN BAKAR', in *Conference on Innovation and Application of Science and Technology (CIASTECH)*, pp. 335–340.
- Mustafa *et al.* (2023) 'HAKI Keselamatan Kerja dan Lingkungan Industri'. Indonesia.
- N, V., Nanda, R.A. and Dewadi, F.M. (2024) 'RPM MEASUREMENT COMPARISON USING A THERMOMETER AND LM393 MICROCONTROLLER', pp. 51–62. Available at: <https://doi.org/10.21776/MECHTA.2024.005.01.6>.
- Nanda, R.A., Supriyono, T., *et al.* (2022) 'Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga', *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(2), pp. 1–8.
- Nanda, R.A., Karyadi, K., *et al.* (2022) 'Archimedes' Principle Applied to Buoy Design for Measuring Purposes in Offshore Illumination Conditions', *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 3(1), pp. 40–48.
- Nanda, R.A., Supriyanto, A., *et al.* (2022) 'PERANCANGAN DAN PERAKITAN ELEKTRONIKA MIKROKONTROLER BERBASIS IOT UNTUK STUDI PENGUKURAN SISTEM HVAC', *BUANA ILMU*, 7(1), pp. 43–55.
- Nanda, R.A. *et al.* (2024) 'Pelatihan Penggunaan Alat Ukur Voltmeter Untuk mengukur Tegangan Dan Arus Solar Panel di

- Pesantren AT-Taubah', *Jurnal Pengabdian Masyarakat Mandiri (JPMM)*, 2(02), pp. 215–224.
- Nanda, R.A. and Dewadi, F.M. (2022) 'Pemanfaatan Aquaponic di Wilayah Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan', *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 1(1), pp. 16–21.
- Nanda, R.A. and 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), pp. 771–784.
- Nanda, R.A. and Dewadi, F.M. (2024) 'Optimization of Production Processes through Lean Manufacturing Techniques in the Automotive Industry', *Engineering and Technology International Journal*, 06(02), pp. 58–65. Available at: <https://www.mand-ycomm.org/index.php/eatij/article/view/795>.
- Nanda, R.A., Karyadi, K. and 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), pp. 74–81.
- Nugroho, B.S. *et al.* (2023) *Keselamatan Kerja dan Lingkungan Industri*. Edited by M. Sari. Padang: PT. GET Press Indonesia. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=7Ly9EAAAQBAJ>.
- Nurmiah *et al.* (2023) *Arsitektur Lanskap*. Edited by M. Sari. Padang: PT. GET Press Indonesia. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=YCy8EAAAQBAJ>.
- Purnomo, T. and Sahabuddin, E.S. (2023) *Pengendalian limbah industri*. Edited by N. Sulung. Padang: PT. GET Press Indonesia.
- Setiawan, M.D. and 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), pp. 22–27.

Simatupang, D.A. *et al.* (2013) *Sepeda Listrik Dengan Sistem Isi Ulang Mandiri*, *Journal of Chemical Information and Modeling*. Depok: Politeknik Negeri Jakarta.

Suhara, A., Dewadi, F.M. and Febrian, R. (2023) 'ANALISAPENGARUHPELUMASTERHADAPGESEKAN MENGGUNAKANMETODETINKEN LOAD', *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), pp. 14–24.

Suhara, A., Dewadi, F.M. and 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), pp. 2511–2519.

Surbakti, D., Wibowo, C. and Dewadi, F.M. (2022) 'Perbaikan gerobak sampah sebagai bagian dari manajemen sampah sisi hulu di lingkungan Permata Penggilingan Jakarta', *Indonesian Journal of Engagement, Community Services, Empowerment and Development*, pp. 165–174.

Wibowo, C. *et al.* (2022) 'Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia', *VISIONER*, 4(1 JUNI), pp. 20–27.

Wibowo, C. and 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), pp. 60–65.

Wibowo, C., Dewadi, F.M. and Al-Afgani, A. (2021) 'Implementasi Material Titanium Pada Sepeda Listrik Sebagai Rangka Yang Efisien', *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), pp. 13–18.

Wibowo, C., Dewadi, F.M. and Muryanto, M. (2023) 'PENGEMBANGAN GEROBAK SAMPAH SEBAGAI SOLUSI KEBERSIHAN DI PERMATA PENGGILINGAN RT 12 RW 16 CAKUNG, JAKARTA TIMUR', *Jurnal Pengabdian Masyarakat*

- Mandiri (JPMM)*, 1(02), pp. 178–184.
- Wibowo, C., Dewadi, F.M. and Setiawan, D. (2024) 'Pembuatan Compressed Natural Gas (CNG) Pressure Reduction System (PRS) Kapasitas 15 NM³/H', *Engineering and Technology International Journal*, 6(01), pp. 14–21.
- Wibowo, C., Mubina Dewadi, F. and Setiawan, D. (2024) 'PEMBUATAN COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) PRESSURE REDUCTION SYSTEM (PRS) KAPASITAS 15 NM³/H', *Engineering And Technology International Journal Maret*, 6(1), pp. 2714–755. Available at: <https://doi.org/10.556442>.
- Wibowo, C., Setiawan, D. and 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 Engagement and Empowerment*, 1(3), pp. 174–183.
- Wibowo, C., Surbakti, D. and 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 Engagement, Community Services, Empowerment and Development*, 2(2), pp. 165–174.
- Wibowo, S.H. *et al.* (2023) *Robotika*. Global Eksekutif Teknologi.
- Yunus, A.I. *et al.* (2023) *Mekanika Teknik II*. Edited by D.P. Sari. Padang: PT. GET Press Indonesia.

BAB 4

PERTIMBANGAN DI DALAM PERANCANGAN

Oleh Muhammad Nuzan Rizki

4.1 Pendahuluan

Secara umum, perancangan sebuah produk mekanika memerlukan berbagai macam pertimbangan agar produk yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan dan tujuan yang optimal. Pertimbangan penting dilakukan untuk memastikan keberhasilan dan kehandalan produk yang dirancang (Jenkins and Khanna, 2005; Budynas and Nisbett, 2014).

Salah satu pertimbangan utama yaitu prinsip dasar desain. Seorang insinyur harus memiliki pemahaman dalam prinsip dasar dalam rekayasa mesin. Hal ini mencakup pemahaman mengenai material/bahan, analisis beban, dan perilaku dari mekanisme. Konsep tegangan dan regangan sangat diperhatikan untuk dapat menghasilkan desain yang aman dan efektif.

Proses manufaktur menjadi pertimbangan dalam perancangan berikutnya. Mengevaluasi hubungan antara desain dan proses manufaktur juga menjadi fokus penting. Bagaimana komponen diproduksi, metode, teknik pemesinan, dan seleksi material yang dipilih sangat menentukan biaya dan waktu produksi sebuah komponen mekanika.

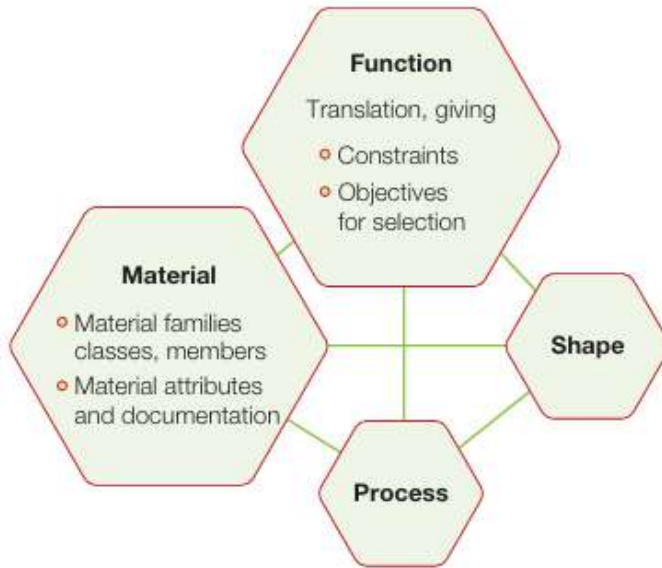
Dengan demikian, maka penting untuk dibahas secara mendetail apa saja poin-poin penting yang harus diperhatikan untuk menjadi pertimbangan dalam perancangan. BAB ini memuat informasi yang akan membantu insinyur untuk merancang produk mekanika yang aman, fungsional, ekonomis, dengan tetap memperhatikan inovasi dan tanggung jawab sosial. Sub-sub bab di bawah ini akan menjelaskan enam poin pertimbangan utama dalam perancangan mekanika.

4.2 Kriteria Desain

Dalam merancang suatu sistem mekanika, sangat tepat apabila langkah awal yang harus dilakukan yaitu mendefinisikan kriteria desain. Kriteria desain adalah parameter yang mendefinisikan performa, fungsi, dan batasan dari suatu produk. Parameter ini dapat mencakup kebutuhan fungsional, kekuatan mekanik, daya tahan, berat, kemudahan pemrosesan, serta aspek biaya dan dampak lingkungan. Seorang insinyur harus mengidentifikasi kriteria-kriteria ini pada tahap awal perancangan untuk memastikan bahwa material yang dipilih memenuhi semua persyaratan yang diharapkan dalam merancang produk mekanika (Ashby, 2016; Yang *et al.*, 2021).

Ashby (2016) menjelaskan di dalam bukunya bahwa setiap material memiliki serangkaian sifat yang mempengaruhi kinerjanya ketika digunakan dalam aplikasi tertentu. Menggunakan grafik pemilihan material, insinyur dapat membandingkan sifat material seperti kekuatan, kekakuan, dan densitas dengan lebih visual (Gambar 4.1). Contohnya, dalam desain komponen yang memerlukan kekuatan tinggi tetapi harus ringan, material seperti aluminium atau titanium dapat dipertimbangkan, mengingat rasio kekuatan terhadap berat (*specific strength*) yang tinggi.

Merumuskan kriteria desain dapat mudah dilakukan dengan penggunaan alat bantu grafis. Diagram Ashby membantu insinyur dalam pemilihan material. Diagram ini memungkinkan perbandingan visual antara berbagai material berdasarkan dua sifat yang berbeda. Misalnya, grafik yang menunjukkan kekuatan tarik versus harga dapat membantu menentukan material yang memberikan nilai terbaik untuk aplikasi yang dimaksud.



Gambar 4.1. Pemilihan material berdasarkan hubungannya dengan fungsi, bentuk, dan produksi.
(Sumber : Ashby 2016)

Setiap aplikasi teknik memiliki kriteria desain yang unik. Misalnya, dalam industri otomotif, material untuk bodi mobil harus mempertimbangkan beban yang tinggi sambil tetap efisien dalam konsumsi bahan bakar. Pemilihan material juga harus mempertimbangkan proses manufaktur yang akan digunakan. Setiap jenis material memiliki teknik pencetakan, pengelasan, dan pemesinan yang berbeda. Misalnya, material yang mudah dibentuk dan dipotong mungkin lebih disukai dalam proses produksi massal, sementara material yang sulit dikerjakan mungkin lebih cocok untuk aplikasi di mana performa adalah faktor utama (Callister, William and Rethwisch, 1991; Rodríguez-Prieto, Camacho and Sebastián, 2016).

4.3 Sifat Material

Setiap material memiliki serangkaian sifat yang mempengaruhi kinerjanya ketika digunakan dalam aplikasi

tertentu. Penggunaan material yang tepat untuk aplikasi tertentu sangat penting dalam upaya memastikan bahwa desain dapat menahan beban dan kondisi lingkungan yang dihadapi. Secara umum sifat material terbagi menjadi beberapa klasifikasi yaitu sifat fisik, mekanik, kimia, dan termal. Dari beberapa klasifikasi tersebut, sifat fisik dan mekanik menjadi poin utama dalam perancangan sistem mekanika.

4.3.1 Sifat fisik

Sifat fisik material adalah karakteristik yang dapat diukur dan dianalisis tanpa mengubah struktur kimia material. Sifat ini menggambarkan bagaimana material berperilaku dalam kondisi tertentu dan berinteraksi dengan lingkungan fisiknya. Memahami sifat fisik sangat penting dalam perancangan aplikasi teknik. Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai beberapa sifat fisik yang utama:

1. **Densitas.** Densitas adalah salah satu sifat fisik yang paling fundamental, diukur sebagai massa per unit volume, biasanya dinyatakan dalam gram per sentimeter kubik (g/cm^3) atau kilogram per meter kubik (kg/m^3). Densitas dapat memberikan informasi tentang komposisi material dan strukturnya. Material dengan densitas tinggi biasanya memiliki atom yang lebih besar atau lebih rapat, sehingga mempengaruhi sifat mekanik dan termal material tersebut (Ibrahim *et al.*, 2019).
2. **Porositas.** Porositas menggambarkan banyaknya ruang kosong dalam suatu material dan berpengaruh terhadap sifat mekanik, daya serap, dan perilaku termal. Material berpori, seperti beton atau kayu, memiliki kemampuan untuk menyerap cairan dan gas, sehingga penting dalam aplikasi seperti rekayasa bahan bangunan dan filtrasi. Porositas dapat diukur dengan perbandingan antara volume pori dan volume total material.
3. **Titik Lebur dan Didih.** Titik lebur adalah suhu dimana material beralih dari fase padat ke cair. Ini penting dalam banyak aplikasi, terutama bagi material seperti logam dan plastik, yang perlu diproses pada suhu tertentu. Titik didih adalah suhu dimana material beralih dari fase cair ke gas.
4. **Warna dan Tranparansi.** Warna adalah sifat visual yang mencirikan material. Warna dapat berfungsi sebagai tanda

identifikasi dan juga mempengaruhi sifat optik material, seperti dalam aplikasi bahan optik. Transparansi menggambarkan seberapa banyak cahaya yang dapat melewati material; material bisa transparan, translusen, atau opak tergantung pada struktur dan komposisi.

4.3.2 Sifat mekanik

Sifat mekanik material adalah karakteristik yang mencerminkan respons material terhadap gaya atau beban. Sifat-sifat ini penting dalam menentukan bagaimana material akan berperilaku di bawah kondisi tertentu, terutama dalam aplikasi teknik dan rekayasa (Sinaga *et al.*, 2024). Berikut adalah penjelasan lebih lanjut mengenai beberapa sifat mekanik yang utama:

1. **Kekuatan Tarik.** Kekuatan tarik adalah ukuran kemampuan material untuk menahan gaya tarik tanpa mengalami deformasi permanen atau patah. Pengujian kekuatan tarik dilakukan dengan mengubah ukuran dan kekuatan spesimen material dengan menariknya sampai putus. Kekuatan tarik adalah parameter kunci dalam desain struktur, sebab material harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang bekerja.
2. **Kekuatan Tekan.** Kekuatan tekan adalah kemampuan material untuk tahan terhadap gaya tekan. Ini adalah sifat penting untuk material-bahan konstruksi, seperti beton, yang bekerja terutama dalam kompresi. Pengujian dilakukan dengan menekan material hingga mencapai titik kegagalan. Kekuatan tekan biasanya lebih tinggi daripada kekuatan tarik untuk banyak material.
3. **Kekerasan.** Kekerasan menggambarkan ketahanan material terhadap penetrasi dan deformasi permanen. Nilai kekerasan dapat diukur dengan berbagai metode, termasuk; *Brinell Hardness Test*, *Rockwell Hardness Test*, dan *Vickers Hardness Test*. Kekerasan adalah sifat kritis dalam aplikasi yang memerlukan daya tahan terhadap goresan dan keausan.
4. **Keuletan.** Keuletan adalah ukuran kemampuan material untuk mengalami deformasi plastis sebelum patah. Material yang ulet dapat menyerap energi besar selama deformasi tanpa putus,

menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap kejutan dan beban yang tidak terduga. Pengujian keuletan dapat dilakukan dengan metode tarik atau uji impak.

5. Modul Elastisitas. Modul elastisitas adalah ukuran kekakuan material, menggambarkan hubungan antara tegangan (gaya per unit area) dan regangan (perubahan panjang relatif) pada material dalam batas elastisnya. Terdapat dua tipe utama modul elastisitas:

- a. Modul Elastisitas Tegangan (E): Mengukur respons terhadap gaya tarik.
- b. Modul Elastisitas Geser (G): Mengukur respons terhadap gaya geser.

Modulus ini memberikan informasi tentang seberapa banyak material akan deformasi ketika dikenakan beban.

6. Sifat Kelelahan (Fatigue). Sifat *fatigue* adalah kemampuan material untuk mengalami siklus beban yang berulang tanpa gagal. Ketahanan fatigue mengukur berapa banyak siklus siklus beban yang dapat ditransfer sebelum ada kerugian struktural. Ini sangat penting untuk komponen yang mengalami fluktuasi beban, misalnya di dalam mesin dan struktur lainnya.

4.3 Metode Analisis Mekanisme

Untuk menghasilkan produk mekanika sederhana hingga kompleks, para insinyur memerlukan metode pendekatan yang sesuai sebelum membangun prototipe fisik, sehingga mengurangi biaya dan waktu. Berbagai metode ditawarkan sebagai bentuk upaya penyelesaian tersebut. Salah satu metode yang paling umum digunakan yaitu metode analisis elemen hingga (finite element analysis, FEA).

FEA ini digunakan untuk memecahkan masalah kompleks dalam analisis struktur mekanika. Dengan membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil, insinyur dapat menghitung perilaku material di bawah beban maksimum dan memastikan bahwa desain memenuhi spesifikasi keamanan (Hasanuddin *et al.*, 2020; Ali, Abdillah and Nuzan Rizki, 2021). FEA mengkombinasikan beberapa konsep matematika untuk menghasilkan persamaan linear dan

nonlinear. Dikarenakan perhitungan secara analitik memakan waktu yang panjang jika diterapkan dalam kasus rumit, maka dengan memanfaatkan kemajuan perangkat lunak komputer yang telah mampu mempermudah penyelesaian masalah keteknikan dalam skala besar. Dasar proses metode ini yaitu membagi permasalahan rumit menjadi bagian-bagian kecil atau elemen-elemen, sehingga solusi yang lebih sederhana dapat dengan mudah diperoleh.

FEA terdiri dari beberapa langkah dasar dalam penyelesaian analisis struktur yaitu terdiri dari :

1. **Pre-processing phase.** Pada fase ini diawali dengan membuat model dan membagi-bagi geometri dalam bentuk elemen, yaitu sub-bagian dalam bentuk elemen-elemen beserta nodal-nodalnya. Kemudian asumsikan fungsi bentuk dapat mewakili sifat fisik dari elemen tersebut yakni aproksimasi fungsi kontinu yang mewakili solusi suatu elemen. Kemudian kembangkan persamaan-persamaan elemen. Gunakan persamaan elemen tersebut untuk membentuk matriks kekakuan global. Dan terapkan kondisi batas, kondisi awal, serta pembebanan
2. **Solution phase Fase.** Fase ini dimana persamaan aljabar linear atau nonlinear simultan diselesaikan untuk dapat memperoleh hasil nodal, seperti *displacement* pada nodal-nodal yang berbeda.
3. **Post-processing phase.** Pada tahap ini dapat ditemukan informasi penting lainnya seperti *Von misses stress* dan *displacement*. Kemudian bandingkan setiap elemen dan nodal dengan bantuan perangkat lunak komputer.

4.4 Mampu manufaktur (*Manufacturability*)

Pertimbangan keterkaitan antara desain dan proses manufaktur juga menjadi fokus penting. Para insinyur harus mempertimbangkan metode produksi yang akan digunakan untuk memproduksi komponen yang dirancang. Ini termasuk seleksi material yang sesuai, teknik pemesinan, dan spesifikasi toleransi, yang semuanya berdampak pada biaya dan waktu produksi. Insinyur harus memastikan bahwa desain perancangan tidak hanya

fungsional tetapi juga dapat/mudah diproduksi dengan teknologi, material, dan alat yang tersedia.

Istilah *Design for Manufacturability* (DFM) tepat untuk menggambarkan kondisi ini. Dimana pendekatan dalam desain produk harus mempertimbangkan proses manufaktur sejak awal, untuk mengurangi biaya, efisiensi produksi, dan kualitas produk. Selain itu juga bertujuan untuk mengurangi kompleksitas desain, meminimalkan komponen dan kompatibilitas dengan metode produksi yang ada.

Dalam dunia teknik, seorang insinyur harus mempertimbangkan manufacturability saat:

1. Memilih material yang mudah diproses.
2. Menentukan toleransi ukuran yang realistis.
3. Mengurangi jumlah operasi manufaktur yang diperlukan.
4. Mengoptimalkan desain untuk proses spesifik, seperti pengecoran, pemesinan, atau pencetakan 3D.

Manufakturabilitas adalah aspek penting dalam desain teknik modern karena dapat memengaruhi biaya, waktu, dan kualitas produk akhir.

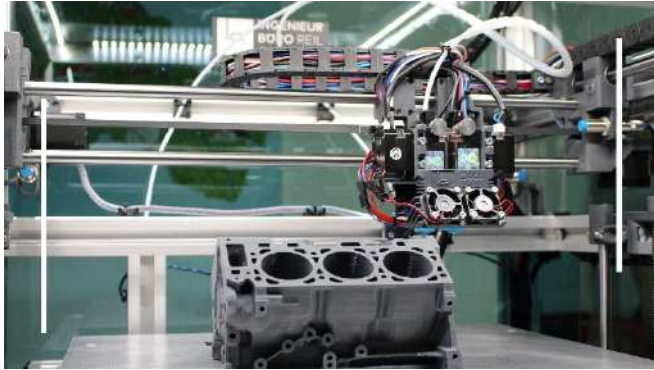
4.5 Inovasi dan Teknolgi

Kemajuan teknologi harus diperhitungkan dalam setiap tahap perancangan. Penggunaan teknik desain yang baru, seperti manufaktur aditif dan teknologi pencetakan 3D, menjadi semakin umum dalam rekayasa mesin. Desain yang memperhitungkan teknik ini dapat memberikan solusi yang lebih efisien dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan proyek yang spesifik, terutama di bidang-bidang seperti rekayasa angkasa dan material (Lei and Ferdous, 2016; Peel *et al.*, 2017).

Pentingnya mencari solusi atau inovasi yang berkelanjutan dalam desain juga mendesak. Insinyur diajak untuk mempertimbangkan penggunaan material baru dan teknik baru yang dapat meningkatkan performa dan mengurangi dampak lingkungan dari desain yang dihasilkan. Penerapan teknologi modern dalam desain dan produksi, seperti penggunaan bahan

komposit dan produk yang dapat didaur ulang, menjadi contoh perhatian terhadap keberlanjutan dalam rekayasa mesin.

Inovasi dalam perancangan mencakup pengembangan dan penerapan ide baru, metode, atau produk yang dapat meningkatkan performa, efisiensi, dan keberlanjutan. Beberapa aspek penting dari inovasi dalam desain meliputi:



Gambar 4.2. Penerapan teknologi pencetakan 3D di bidang produksi mesin.

(Sumber : CADD Centre, 2024)

1. **Peningkatan Kinerja.** Inovasi memungkinkan peningkatan kinerja produk dengan menggunakan material dan teknik baru yang menawarkan kekuatan lebih, bobot lebih ringan, atau daya tahan lebih baik. Misalnya, penggunaan material komposit dalam industri otomotif dan aerospace telah memungkinkan pengurangan berat dan peningkatan efisiensi bahan bakar.
2. **Desain Berkelanjutan.** Inovasi juga berfokus pada keberlanjutan, di mana insinyur mencari cara untuk mengurangi dampak lingkungan dari produk. Ini mencakup penggunaan material daur ulang, energi terbarukan, dan proses manufaktur yang ramah lingkungan. Sumber-sumber yang membahasnya menunjukkan bahwa pemilihan material yang rendah jejak karbon dan proses yang efisien sangat penting dalam era sekarang.
3. **Teknologi Digital dan AI.** Teknologi baru, termasuk digitalisasi dan kecerdasan buatan (AI), telah membawa perubahan

signifikan dalam proses desain. Desain generatif, yang menggunakan algoritma untuk menghasilkan banyak solusi desain berdasarkan kriteria spesifik, adalah salah satu contoh bagaimana teknologi dapat menginspirasi inovasi desain dan mempercepat pengembangan produk.

4.5.1 Pengaruh Teknologi pada Proses Perancangan

Teknologi memainkan peran kunci dalam mendukung inovasi dan efisiensi dalam desain. Beberapa pengaruh teknologi meliputi:

1. **Simulasi dan Pemodelan.** Teknologi simulasi modern memungkinkan desainer untuk memprediksi bagaimana desain akan berperilaku dalam kondisi dunia nyata sebelum pembuatan fisik. Metode seperti analisis elemen hingga (FEA) dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi masalah dan mengoptimalkan desain. Ini tidak hanya mengurangi biaya prototyping tetapi juga mempercepat siklus desain.
2. **Automasi dalam Manufaktur.** Otomatisasi yang didukung oleh teknologi robotik dan sistem manajemen produksi canggih meningkatkan efisiensi produksi. Penggunaan teknologi ini memungkinkan produksi massal dengan konsistensi tinggi dan pengurangan waktu siklus, yang sangat penting dalam industri yang membutuhkan respons cepat terhadap permintaan pasar.
3. **Pengumpulan Data dan Internet of Things (IoT).** Dengan kemajuan dalam IoT, pengumpulan data *real-time* memungkinkan analisis yang lebih baik mengenai performa produk di lapangan. Data ini dapat digunakan untuk memperbaiki desain dan menginformasikan produk generasi berikutnya. Misalnya, sensor yang dipasang pada produk memungkinkan pemantauan kondisi dan performa, yang membawa peluang bagi perbaikan berkelanjutan.

4.5.2 Keterkaitan Inovasi dan Keterbatasan Teknologi

Meskipun inovasi dan teknologi menciptakan banyak peluang, ada juga keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam proses perancangan:

1. **Ketersediaan Material dan Teknologi.** Inovasi sering kali dibatasi oleh ketersediaan teknologi atau material baru. Oleh

karena itu, perancangan harus mempertimbangkan apa yang dapat diakses secara komersial dan teknik manufakturasi yang sudah teruji.

2. **Biaya dan Penyerapan Pasar.** Inovasi tidak selalu berarti sukses di pasar. Desainer perlu mempertimbangkan biaya implementasi dan bagaimana pasar akan menerima teknologi baru. Keterbatasan dalam adopsi teknologi juga bisa disebabkan oleh faktor-faktor seperti pelatihan yang diperlukan, biaya transisi, dan kebiasaan pengguna (Worrall and Collins, 2024).
3. **Regulasi dan Standar.** Kelemahan lain yang mungkin dihadapi adalah regulasi terkait teknologi baru. Inovasi dalam produk harus mematuhi standar dan peraturan yang berdampak pada cara produk dirancang, dikembangkan, dan dipasarkan (Kormelink, 2019).

Inovasi dan teknologi merupakan elemen esensial dalam proses perancangan yang memberikan peluang untuk meningkatkan performa dan keberlanjutan produk. Dengan memanfaatkan teknologi terbaru dan pendekatan inovatif, insinyur dan desainer dapat menciptakan produk yang tidak hanya memenuhi kebutuhan pasar tetapi juga berkontribusi terhadap masa depan yang lebih berkelanjutan. Namun, pendekatan inovatif ini harus mempertimbangkan keterbatasan serta tantangan yang ada agar dapat diterima dan diimplementasikan dengan sukses.

Sebagai kesimpulan, fokus pada inovasi dan teknologi dalam perancangan membawa kemungkinan untuk menciptakan solusi yang lebih baik dan lebih efektif, tetapi juga memerlukan perencanaan dan pemikiran yang matang untuk mengatasi tantangan yang dihadapi di lapangan.

4.6 Ekonomi dan Tanggung jawab sosial

Akhirnya, aspek ekonomi dalam pertimbangan dalam perancangan faktor yang tidak bisa diabaikan. Biaya mencakup harga material, produksi, pemrosesan, dan pemeliharaan sepanjang umur produk. Memahami total biaya atau *total cost of ownership* dari suatu material menjadi penting agar solusi desain dapat

berkelanjutan secara ekonomi. Insinyur perlu mengkaji apakah rancangan dapat diproduksi dengan biaya yang efisien dan apakah nilai yang dihasilkan sebanding dengan biaya pengembangan dan produksi. Misalnya, penggunaan material yang murah mungkin mengurangi biaya awal, tetapi jika material tersebut tidak tahan lama, biaya perawatan atau penggantian di masa depan bisa lebih besar.

Desain produk juga harus memperhatikan analisis pasar untuk memahami kebutuhan konsumen dan proyeksi permintaan. Hal ini penting untuk memastikan bahwa produk telah dirancang untuk memenuhi kebutuhan pelanggan, sehingga meningkatkan kemungkinan keberhasilan produk di pasar (Ghaljehei and Khorsand, 2022).

Selain itu, etika dalam rekayasa menjadi semakin penting untuk memastikan bahwa produk yang dihasilkan tidak hanya aman dan fungsional, tetapi juga mempertimbangkan dampaknya terhadap masyarakat dan lingkungan. Perancangan yang mempertimbangkan dampak lingkungan merupakan bagian dari tanggung jawab sosial. Misalnya, pemilihan material yang ramah lingkungan, proses produksi yang mengurangi limbah, dan desain produk yang mudah didaur ulang sangat penting untuk mengurangi jejak karbon perusahaan. Buku *Material Selection* karangan Ashby (2016) mencatat bagaimana analisis siklus hidup dapat digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari berbagai material dan proses, sehingga mendukung pengambilan keputusan yang lebih berkelanjutan.

Tanggung jawab sosial juga mencakup pertimbangan terhadap dampak sosial yang ditimbulkan oleh produk. Insinyur harus mempertimbangkan aspek seperti keselamatan pengguna, dampak terhadap komunitas lokal, dan bagaimana produk dapat berkontribusi pada kesejahteraan masyarakat. Misalnya, produk yang mempromosikan kesehatan, keselamatan, atau pendidikan dapat menciptakan nilai sosial yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, N., Abdillah, S. and Nuzan Rizki, M. (2021) *Comparison of Hardness and Microstructure of Cast Wheel and Spoke Wheel Rims of Motorcycles Made of Aluminum Alloy Alloy*. Available at: www.scientific.net.
- Ashby, M.F. (2016) *Materials Selection in Mechanical Design*. 5th edn. Butterworth-Heinemann.
- Budynas, R. and Nisbett, K. (2014) *Shigley's Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.
- CADD Centre (2024) *The Impact of 3D Printing on Manufacturing and Design Industries*, <https://caddcentre.com/blog/the-impact-of-3d-printing-on-manufacturing-and-design-industries/>.
- Callister, William, D. and Rethwisch, D.G. (1991) *Materials science and engineering: an introduction*. 2nd edn. New York: John Wiley.
- Ghaljehei, M. and Khorsand, M. (2022) 'Day-Ahead Operational Scheduling With Enhanced Flexible Ramping Product: Design and Analysis', *IEEE Transactions on Power Systems*, 37(3), pp. 1842–1856. Available at: <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2021.3110712>.
- Hasanuddin, I. *et al.* (2020) 'The Design of Rowing Ergometer Based on the Anthropometry of Acehnese Male Athletes', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 931(1), p. 012022. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/931/1/012022>.
- Ibrahim, J.E.F.M. *et al.* (2019) 'The influence of composition, microstructure and firing temperature on the density, porosity, and shrinkage of new zeolite-alumina composite material', *Epitoanyag - Journal of Silicate Based and Composite Materials* [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:213787773>.
- Jenkins, C.H. and Khanna, S.K. (2005) 'Mechanics of Materials: A Modern Integration of Mechanics and Materials in Structural Design', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:107042547>.

- Kormelink, J.B.J.G. (2019) 'Responsible Innovation: Ethics, Safety and Technology', in. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:209766898>.
- Lei, Y. and Ferdous, Z. (2016) 'Design considerations and challenges for mechanical stretch bioreactors in tissue engineering', *Biotechnology Progress*, 32(3), pp. 543–553. Available at: <https://doi.org/10.1002/btpr.2256>.
- Peel, S. *et al.* (2017) 'Evolution of design considerations in complex craniofacial reconstruction using patient-specific implants', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 231(6), pp. 509–524. Available at: <https://doi.org/10.1177/0954411916681346>.
- Rodríguez-Prieto, Á., Camacho, A.M. and Sebastián, M.A. (2016) 'Materials Selection Criteria for Nuclear Power Applications: A Decision Algorithm', *JOM*, 68, pp. 496–506. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:111807759>.
- Sinaga, F.T.H. *et al.* (2024) 'Analisis Sifat Mekanik Material Plat Baja ST 37 Dengan Metode Brinell Hardness Test', *Atech-i* [Preprint]. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:271648442>.
- Worrall, K. and Collins, T. (2024) 'Considerations and Concerns of Professional Game Composers Regarding Artificially Intelligent Music Technology', *IEEE Transactions on Games*, 16(3), pp. 586–597. Available at: <https://doi.org/10.1109/TG.2023.3319085>.
- Yang, W.-C. *et al.* (2021) 'Materials selection criteria weighting method using analytic hierarchy process (AHP) with simplest questionnaire and modifying method of inconsistent pairwise comparison matrix', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 236, pp. 69–85. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:244214620>.

BAB 5

HUKUM HOOKE

Oleh Fitri Puspasari

5.1 Pendahuluan

Dalam analisis mekanika material, pemahaman tentang hubungan antara gaya yang bekerja pada suatu material dan respons deformasi yang dihasilkan sangatlah penting. Salah satu prinsip dasar yang menjadi fondasi dalam kajian ini adalah Hukum Hooke, yang pertama kali diperkenalkan oleh Robert Hooke pada abad ke-17. Hukum ini menjelaskan hubungan linear antara tegangan (stress) dan regangan (strain) pada material elastis selama material tersebut berada dalam batas elastisitasnya.

Hukum Hooke berlaku pada zona elastis, di mana material kembali ke bentuk awalnya setelah gaya dilepaskan. Namun, jika batas elastisitas terlampaui, hubungan antara tegangan dan regangan menjadi non-linear, dan material memasuki zona plastis, yang mengakibatkan deformasi permanen.

Pembahasan Hukum Hooke dalam buku ini memberikan wawasan mendalam tentang perilaku elastis material, termasuk asumsi dasar, batasan, dan relevansinya dalam kehidupan nyata. Oleh karena itu, kajian ini tidak hanya berperan dalam teori material, tetapi juga menjadi landasan penting untuk aplikasi praktis dalam bidang teknik sipil, mekanik, dan material.

5.1.1 Pengertian Hukum Hooke

Hukum Hooke adalah prinsip dalam mekanika material yang menyatakan bahwa tegangan (stress, σ) pada suatu material elastis berbanding lurus dengan regangan (strain, ϵ) yang terjadi, selama material tersebut berada dalam batas elastisitasnya. Dalam bentuknya yang paling sederhana, hukum ini menyatakan bahwa gaya elastis yang diberikan pada suatu pegas sebanding dengan

perubahan panjang pegas tersebut. Pernyataan ini dirumuskan secara matematis sebagai berikut.

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

di mana

F adalah gaya (N),

k adalah konstanta pegas (N/m) ,

Δx adalah perubahan Panjang (m).

Dalam konteks material teknik, hukum Hooke dapat diterapkan pada analisis tegangan dan regangan. Sebagian besar material struktural, seperti logam, kayu, plastik, dan keramik, menunjukkan sifat elastis dan linier ketika pertama kali diberikan beban. Ketika material berperilaku elastis dan memiliki hubungan linier antara tegangan dan regangan, material tersebut dikatakan memiliki sifat elastis linier. Perilaku ini sangat penting dalam teknik karena struktur dan mesin dibuat untuk bekerja dalam area ini agar tidak mengalami perubahan bentuk permanen yang dapat merusak material.

Hubungan linier antara tegangan (σ) dan regangan (ϵ) pada batang yang mengalami tarikan atau tekanan sederhana dinyatakan dengan persamaan umum hukum Hooke dalam bentuk tegangan-regangan. Persamaan dibawah dikenal sebagai Hukum Hooke, yang dinamai sesuai dengan ilmuwan Inggris terkenal, Robert Hooke (1635–1703). Namun, persamaan ini adalah bentuk sederhana dari Hukum Hooke yang hanya berlaku untuk tegangan dan regangan longitudinal dalam kondisi tarikan atau tekanan uniaxial. Untuk kondisi tegangan yang lebih kompleks, seperti yang terjadi pada kebanyakan struktur dan mesin, diperlukan bentuk persamaan Hukum Hooke yang lebih luas.

Prinsip ini memungkinkan untuk memprediksi respons elastis dari berbagai material, seperti logam, kayu, atau polimer. Hukum Hooke berlaku hanya dalam rentang elastisitas material, yaitu batas di mana material dapat kembali ke bentuk aslinya setelah gaya dihilangkan. Jika tegangan melampaui batas ini, material akan memasuki fase plastis atau bahkan mengalami kegagalan. Oleh karena itu, pemahaman tentang hukum Hooke sangat penting dalam

menentukan parameter desain yang aman. Berikut adalah persamaan hukum Hooke.

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

di mana

σ : tegangan (stress) (N/m^2),

E : modulus elastisitas (Young's Modulus) (N/m^2),

ε : regangan (strain).

Modulus elastisitas E menunjukkan kemiringan kurva tegangan-regangan pada wilayah elastis linier. Karena regangan tidak memiliki satuan, maka satuan E sama dengan satuan tegangan, yaitu N/m^2 ,

Modulus elastisitas memiliki nilai yang besar untuk material yang sangat kaku, seperti logam struktural. Misalnya, baja memiliki modulus sekitar 210 GPa, sedangkan aluminium memiliki nilai tipikal sekitar 73 GPa. Material yang lebih fleksibel, seperti plastik, memiliki nilai modulus elastisitas lebih rendah, berkisar antara 0,7 hingga 14 GPa. Nilai E untuk kompresi hampir sama dengan nilai E untuk tarikan pada kebanyakan material.

Modulus elastisitas sering disebut sebagai modulus Young, yang dinamai sesuai ilmuwan Inggris lainnya, Thomas Young (1773–1829). Dalam penelitiannya mengenai tarikan dan tekanan pada batang prismatik, Young memperkenalkan konsep "modulus elastisitas." Namun, definisi modulus yang digunakan Young berbeda dengan yang digunakan saat ini karena melibatkan sifat batang serta materialnya.

5.1.2 Sejarah dan Kontribusi Robert Hooke dalam Ilmu Mekanika

Robert Hooke lahir pada tahun 1635 di Inggris dan merupakan salah satu ilmuwan paling berpengaruh pada masanya. Sebagai seorang ahli fisika, astronomi, dan arsitektur, Hooke memberikan kontribusi yang sangat penting dalam ilmu mekanika melalui hukum elastisitas yang dinamai sesuai dengan namanya. Hooke adalah orang pertama yang secara ilmiah menyelidiki sifat

elastis material. Ia menguji berbagai material seperti logam, kayu, batu, tulang, dan otot. Dalam eksperimennya, Hooke berhasil menetapkan hubungan linier antara beban yang diterapkan dan pemanjangan yang dihasilkan.

Selain penggunaannya dalam mekanika struktur, hukum Hooke juga diaplikasikan dalam berbagai bidang ilmu, seperti fisika, biologi, dan bahkan kedokteran. Contohnya, konsep ini digunakan untuk memahami perilaku jaringan tubuh manusia yang bersifat elastis, seperti tendon dan otot. Hukum Hooke memberikan dasar bagi studi elastisitas material, yang merupakan cabang utama dari mekanika material. Prinsip ini tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga sebagai panduan dalam pengembangan material baru dengan sifat elastisitas yang diinginkan.

Pada tahun 1678, Hooke mempublikasikan hasil penelitiannya dalam karya berjudul *"Lectures de Potentia Restitutiva, or of Spring"*. Dalam publikasi tersebut, Hooke menjelaskan hubungan linier antara gaya dan deformasi pada pegas. Meski awalnya hukum ini diterapkan pada pegas, Hooke menyadari bahwa prinsip yang sama dapat diaplikasikan pada berbagai jenis material. Penemuan ini menjadi dasar dalam pengembangan teori elastisitas yang mendalam di abad-abad berikutnya.

Kontribusi Hooke tidak hanya terbatas pada hukum elastisitas. Ia juga terlibat dalam pengembangan berbagai alat ilmiah, seperti mikroskop dan jam mekanis berbasis pegas. Selain itu, Hooke dikenal karena kontribusinya dalam studi gravitasi dan optik, serta desain arsitektur yang inovatif.

Peran Hooke dalam mekanika material sangat signifikan karena memberikan dasar yang kuat untuk memahami perilaku material di bawah pengaruh gaya. Hukum Hooke juga memungkinkan untuk memprediksi deformasi dalam struktur teknik, yang sangat penting untuk desain struktur bangunan, jembatan, dan peralatan industri.

5.1.3 Pentingnya Hukum Hooke dalam Analisis Material

Hukum Hooke menjadi dasar dalam studi elastisitas material, sebuah bidang yang mempelajari bagaimana material merespons gaya eksternal dalam batas elastisitasnya. Prinsip ini memberikan

cara untuk menghitung deformasi yang dialami material, yang penting untuk perancangan struktur dan mesin. Sebagai contoh, hukum Hooke digunakan dalam analisis balok yang menanggung beban lentur, kolom yang menanggung beban aksial, dan pegas dalam sistem mekanis.

Salah satu kontribusi utama hukum Hooke adalah pada perencanaan struktur teknik. Insinyur menggunakan hukum ini untuk memastikan bahwa material yang digunakan dalam struktur tidak melebihi batas elastisitas, sehingga dapat mencegah kegagalan struktural. Tegangan maksimum yang dapat ditahan material dapat dihitung menggunakan hukum Hooke, sehingga struktur dapat dirancang dengan margin keamanan yang memadai.

Selain itu, hukum Hooke penting dalam rekayasa material. Modulus elastisitas (E) memberikan informasi tentang kekakuan material, yang merupakan parameter kritis dalam memilih material untuk aplikasi tertentu. Misalnya, baja memiliki modulus elastisitas tinggi, sehingga cocok untuk struktur yang membutuhkan kekakuan tinggi. Di sisi lain, material dengan modulus elastisitas rendah seperti polimer digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan fleksibilitas.

Dalam analisis kegagalan, hukum Hooke membantu menentukan kapan material akan melampaui batas elastisitasnya dan memasuki fase deformasi plastis. Hal ini memungkinkan para insinyur untuk mengidentifikasi titik kritis dalam desain mereka dan mengambil langkah-langkah untuk menghindari kegagalan tersebut.

Pentingnya hukum Hooke juga meluas ke aplikasi non-teknik. Dalam bidang biologi, hukum ini digunakan untuk memahami perilaku elastis jaringan tubuh, seperti ligamen dan pembuluh darah. Dalam ilmu lingkungan, prinsip elastisitas digunakan untuk mempelajari deformasi kerak bumi akibat gempa atau aktivitas vulkanik.

5.2 Konsep Dasar Hukum Hooke

5.2.1 Gaya, Tegangan, dan Regangan

Gaya, tegangan, dan regangan adalah tiga konsep dasar yang saling berkaitan dalam hukum Hooke. Gaya adalah dorongan atau

tarikan yang diberikan pada suatu objek, yang menyebabkan deformasi atau perubahan bentuk objek tersebut. Gaya ini dapat berupa gaya tarik, gaya tekan, atau gaya geser, tergantung pada arah dan jenis beban yang bekerja. Gaya dinyatakan dalam satuan Newton (N) dalam Sistem Internasional.

Tegangan (stress) adalah gaya per satuan luas yang bekerja pada suatu material. Tegangan memberikan informasi tentang tekanan internal yang terjadi akibat gaya eksternal. Tegangan (σ) dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma = F.A$$

Di mana

F : gaya yang bekerja (N),

A : luas penampang material (m^2)

Tegangan memiliki beberapa jenis, termasuk tegangan tarik, tekan, dan geser, yang masing-masing berpengaruh pada karakteristik deformasi material.

Regangan (strain) adalah ukuran deformasi relatif material akibat tegangan yang bekerja padanya. Regangan (ϵ) didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjang (ΔL) terhadap panjang awal material (L_0):

$$\epsilon = \Delta L / L_0$$

Regangan tidak memiliki satuan karena merupakan perbandingan dua panjang. Regangan menunjukkan sejauh mana material mengalami deformasi elastis atau plastis. Hubungan antara gaya, tegangan, dan regangan memberikan dasar untuk memahami respons mekanis suatu material. Ketiga parameter ini adalah elemen penting dalam perhitungan teknik, seperti perancangan jembatan, bangunan, dan komponen mesin.

5.2.2 Hubungan Linier antara Tegangan dan Regangan

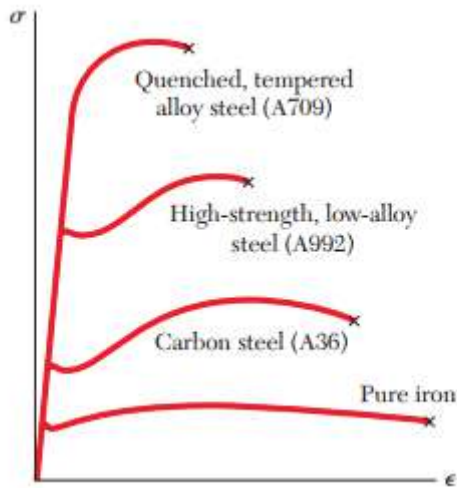
Hukum Hooke berdasar pada hubungan linier antara tegangan (σ) dan regangan (ϵ) dalam batas elastisitas material. Hubungan ini dirumuskan secara matematis sebagai:

$$\sigma = E \cdot \epsilon$$

Di mana E adalah modulus elastisitas atau Modulus Young. Modulus elastisitas adalah konstanta material yang menunjukkan kekakuan material terhadap deformasi. Material dengan nilai E yang tinggi, seperti baja, lebih kaku dibandingkan material dengan E rendah, seperti karet.

Batas tegangan terbesar di mana Hukum Hooke masih berlaku pada suatu material disebut batas proporsional. Pada material ulet yang memiliki titik luluh yang jelas, seperti baja, batas proporsional hampir sama dengan titik luluh. Namun, pada material lain, batas proporsional sulit ditentukan secara akurat karena sulit untuk mendeteksi kapan hubungan antara tegangan dan regangan mulai tidak linier. Meski demikian, penggunaan Hukum Hooke sedikit di atas batas proporsional biasanya tidak menimbulkan kesalahan yang signifikan.

Sifat fisik logam struktural, seperti kekuatan, keuletan, dan ketahanan korosi, sangat dipengaruhi oleh paduan, perlakuan panas, dan proses manufaktur. Misalnya, diagram tegangan-regangan untuk besi murni dan berbagai jenis baja menunjukkan variasi besar dalam kekuatan luluh, kekuatan maksimum, dan regangan akhir (keuletan). Namun, semua material ini memiliki modulus elastisitas yang sama, artinya kemampuan mereka untuk menahan deformasi dalam rentang linier tetap sama. Jika baja dengan kekuatan tinggi menggantikan baja dengan kekuatan rendah tanpa mengubah dimensinya, kapasitas beban struktur akan meningkat, tetapi kekakuannya tetap sama.



Gambar 5.1. Diagram tegangan-regangan untuk besi dan berbagai jenis baja (Sumber : Beer, et. al., 2015)

Hubungan linier (Gambar 5.1) ini menunjukkan bahwa ketika tegangan meningkat, regangan juga meningkat secara proporsional, selama material bekerja dalam batas elastisitasnya. Jika tegangan melampaui batas tersebut, hubungan linier tidak lagi berlaku, dan material memasuki fase deformasi plastis. Grafik tegangan-regangan untuk material elastis menunjukkan hubungan linier yang jelas dalam zona elastisitas. Dalam grafik ini, kemiringan garis linier merupakan modulus elastisitas material. Analisis grafik tersebut memberikan wawasan tentang sifat mekanis material, termasuk titik leleh, kekuatan maksimum, dan kemampuan deformasi material.

Konsep hubungan linier ini digunakan secara luas dalam desain teknik, seperti menentukan beban maksimum yang dapat diterima suatu struktur tanpa menyebabkan deformasi permanen. Selain itu, hubungan ini juga relevan dalam pengujian material untuk menentukan parameter mekanis seperti kekuatan tarik dan modulus elastisitas.

5.2.3 Batas Elastisitas Material

Batas elastisitas adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan material tanpa mengalami deformasi permanen. Pada tegangan di bawah batas elastisitas, material akan kembali ke bentuk aslinya setelah gaya dilepaskan. Jika tegangan melampaui batas ini, material memasuki fase deformasi plastis, di mana deformasi menjadi permanen.

Batas elastisitas berbeda untuk setiap material dan sangat bergantung pada struktur mikro material tersebut. Material seperti baja memiliki batas elastisitas yang tinggi, menjadikannya ideal untuk aplikasi struktural. Sebaliknya, material seperti plastik memiliki batas elastisitas yang rendah, tetapi menawarkan fleksibilitas yang tinggi.

Pengukuran batas elastisitas dilakukan melalui uji tarik. Dalam uji ini, spesimen material ditarik hingga putus untuk menentukan sifat mekanisnya. Grafik tegangan-regangan dari uji ini menunjukkan titik di mana hubungan linier antara tegangan dan regangan mulai menyimpang, yang menandai batas elastisitas. Diagram tegangan-regangan diperoleh dengan memplot tegangan (σ) terhadap regangan (ϵ) seiring dengan peningkatan beban. Diagram ini dapat digunakan untuk membedakan antara material rapuh dan material ulet. Material rapuh patah tanpa perubahan yang terlihat pada laju pemanjangan sebelumnya, sedangkan material ulet menunjukkan perilaku yang berbeda.

Pemahaman tentang batas elastisitas sangat penting dalam desain teknik untuk memastikan struktur atau komponen tidak mengalami kegagalan. Beban kerja suatu struktur biasanya dirancang berada di bawah batas elastisitas untuk memastikan keamanan dan keandalan. Selain itu, konsep batas elastisitas juga digunakan dalam penelitian material baru untuk menentukan aplikasi potensialnya. Material yang memiliki batas elastisitas tinggi dan modulus elastisitas yang besar sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan kekuatan dan stabilitas tinggi.

5.3 Penerapan Hukum Hooke

5.3.1 Analisis Tegangan pada Balok dan Kolom

Hukum Hooke diterapkan secara luas dalam analisis tegangan dan deformasi pada balok dan kolom, yang merupakan elemen dasar dalam struktur bangunan. Balok yang dikenai beban lentur menghasilkan distribusi tegangan tarik dan tekan di sepanjang penampangnya. Tegangan maksimum terjadi pada permukaan luar penampang, sementara titik netral memiliki tegangan nol. Pada kolom, beban tekan menyebabkan tegangan normal yang dapat dihitung menggunakan hukum Hooke. Tegangan kritis yang menyebabkan tekuk (buckling) juga dianalisis untuk memastikan kolom tidak gagal secara elastis. Analisis ini penting dalam desain struktur seperti gedung pencakar langit dan jembatan.

5.3.2 Perhitungan Deformasi pada Struktur Rangka

Struktur rangka sering digunakan dalam desain pesawat, kendaraan, dan jembatan. Hukum Hooke membantu menghitung deformasi elemen-elemen rangka akibat beban eksternal. Tegangan dan regangan dalam elemen rangka dihitung untuk memastikan struktur tetap berada dalam batas elastisitas material. Penggunaan hukum Hooke dalam desain rangka memastikan distribusi beban yang merata dan deformasi yang terkendali. Hal ini meningkatkan efisiensi material dan keamanan struktur secara keseluruhan.

5.3.3 Studi Kasus: Pegas dalam Sistem Mekanika

Salah satu penerapan sederhana hukum Hooke adalah pada analisis pegas. Pegas mematuhi hukum Hooke, di mana gaya (F) berbanding lurus dengan perubahan panjang (x):

$$F = -k \cdot x$$

k adalah konstanta pegas yang mencerminkan kekakuan pegas. Analisis ini penting dalam sistem suspensi kendaraan, di mana pegas dirancang untuk menyerap energi dan menjaga kestabilan. Penerapan hukum Hooke pada pegas juga digunakan dalam desain sensor dan aktuator dalam sistem mekanik modern, termasuk dalam robotika dan perangkat medis.

DAFTAR PUSTAKA

- Beer, F. P., Johnston, E. R., & DeWolf, J. T. (2015). *Mechanics of Materials*. McGraw-Hill Education.
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2013). *Mechanics of Materials*. Cengage Learning.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., & DeWolf, J. T. (2015). *Mechanics of Materials*. McGraw-Hill Education.
- Hooke, R. (1678). *Lectures de Potentia Restitutiva, or of Spring*. London: John Martyn.
- Timoshenko, S. P., & Goodier, J. N. (1970). *Theory of Elasticity*. McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2017). *Mechanics of Materials*. Pearson.
- Boresi, A. P., Schmidt, R. J., & Sidebottom, O. M. (1993). *Advanced Mechanics of Materials*. Wiley.

BAB 6

TEGANGAN BEBAN LENTUR MURNI

Oleh Rahmani Kadarningsih

6.1 Pendahuluan

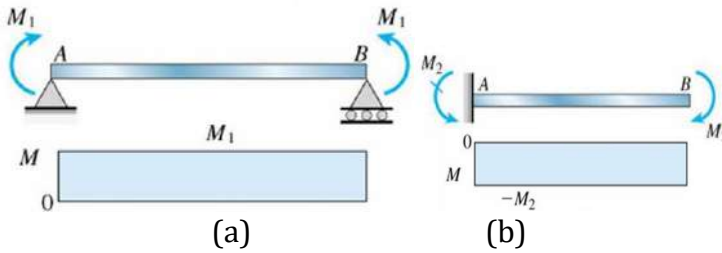
Balok adalah elemen struktur yang mengalami beban lentur dan geser. Suatu elemen struktur mengalami lentur dan geser apabila diberi beban arah lateral atau tegak lurus terhadap sumbu batang. Beban tersebut dapat berupa beban titik, beban terdistribusi maupun momen yang menghasilkan besaran yang bervariasi disepanjang bentang.

Untuk mendesain suatu balok dibutuhkan besaran momen dan geser di sepanjang balok. Sehingga tidak hanya harga maksimum yang terjadi, tetapi dengan besaran yang bervariasi tersebut dapat dilakukan desain balok yang efisien baik pada daerah lapangan maupun daerah tumpuan.

6.2 Lentur Murni dan Lentur Tak Murni

Lentur murni adalah lentur pada daerah balok yang terjadi tanpa disertai dengan adanya gaya geser atau gaya geser nol. Pada daerah lentur murni nilai momennya konstan. Lentur murni pada balok dapat dilihat pada Gambar 6.1 dan 6.2. Pada Gambar 6.2 lentur murni hanya terjadi pada daerah Tengah.

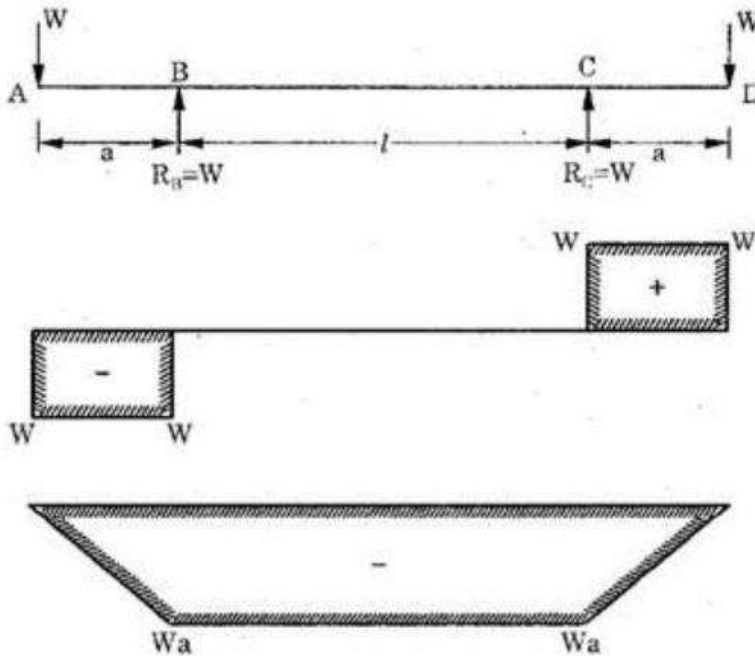
Sebaliknya lentur tak murni adalah lentur pada balok yang disertai dengan adanya gaya geser. Pada daerah lentur tak murni nilai momennya bervariasi dan gaya geser tidak nol. Lentur tak murni dapat dilihat pada Gambar dan. Pada Gambar lentur tak murni hanya terjadi pada daerah ujung-ujung.



Gambar 6.1. (a) Balok sederhana mengalami lentur (b) Balok kantilever mengalami lentur

(Sumber :

https://www.civil.iitb.ac.in/~naresh/teaching/ce221/L5_bending_v1.pdf)



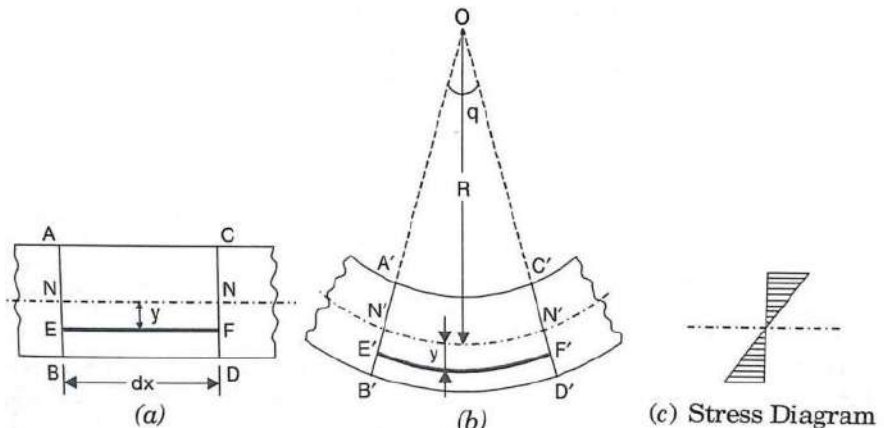
Gambar 6.2. Daerah tengah mengalami lentur murni, daerah tepi mengalami lentur dan geser

(Sumber : <https://engineering.myindialist.com/2015/seven-questions-on-theory-of-bending-stress/>)

6.3 Kelengkungan Balok

Sumbu longitudinal balok akan mengalami lengkungan apabila pada balok diberikan beban. Besarnya kelengkungan (*curvature*) sebanding dengan besarnya tegangan dan regangan yang bekerja.

Pada Gambar 6.3, titik A' dan C' adalah dua buah titik pada balok yang mengalami lengkungan. Garis A'O dan C'O masing-masing adalah garis tegak lurus terhadap kurva defleksi. Kedua garis tersebut berpotongan di titik O' yang merupakan pusat kelengkungan. Apabila beban yang bekerja pada balok sangat kecil maka defleksi balok juga akan sangat kecil atau balok hampir mendatar dan pusat kelengkungannya akan sangat jauh.



Gambar 6.3. (a) Sumbu longitudinal balok lurus (b) Sumbu longitudinal busur lingkaran (c) Diagram regangan pada penampang. (Sumber :

https://www.rcet.org.in/uploads/academics/rohini_70491230464.pdf)

Jarak A'O disebut radius kelengkungan (R) sedangkan kelengkungan (κ) adalah kebalikan dari radius kelengkungan dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\kappa = \frac{1}{R}$$

6.4 Regangan Longitudinal di Balok

Balok mula-mula mempunyai sumbu longitudinal lurus Gambar 6.3a, akibat momen lentur balok berdefleksi sehingga sumbu longitudinalnya melentur menjadi kurva busur lingkaran (kurva N'N'). Karena adanya deformasi lentur penampang A'B' dan C'D berputar satu sama lain dalam bidang xy. Garis longitudinal pada bagian cembung dari balok memanjang, sedangkan bagian cekungnya memendek. Perpanjangan dan perpendekan ini menimbulkan regangan normal. Antara bagian atas dan bawah balok terdapat permukaan dengan garis longitudinal yang tidak berubah panjangnya. Permukaan ini ditunjukkan dengan garis putus-putus N'N', disebut permukaan netral balok. Regangan pada suatu permukaan didefinisikan dengan persamaan berikut.

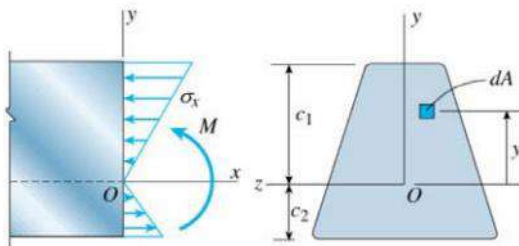
$$\varepsilon_x = -\frac{y}{R} = -\kappa y$$

6.5 Tegangan Normal di Balok Bahan Elastis Linear

Seperti yang dijelaskan sebelumnya akibat momen lentur permukaan mengalami perpendekan di bagian atas dan perpanjangan di bagian bawah sehingga kemudian diketahui besarnya regangan yang terjadi. Dari regangan tersebut pada bahan elastis dapat ditentukan besarnya tegangan sebagai berikut.

$$\sigma_x = E\varepsilon_x = -\frac{Ey}{R} = -E\kappa y$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa tegangan normal yang bekerja di penampang bervariasi secara linier terhadap jarak y dari permukaan netral (Gambar 6.5).



Gambar 6.4. Tegangan normal balok elastis

(Sumber: https://ocw.nthu.edu.tw/ocw/upload/8/254/Chapter_5-98.pdf)

6.6 Lokasi Sumbu Netral

Gaya yang bekerja di suatu elemen sama dengan $s_x dA$. Pada lokasi sumbu netral gaya yang bekerja sama dengan nol sehingga persamaan menjadi

$$\int_A \sigma_x dA = - \int_A E \kappa y dA = 0$$

Karena kelengkungan κ dan modulus elastisitas E merupakan konstanta yang bukan nol, maka keduanya tidak dilibatkan dalam proses integrasi dan persamaan menjadi

$$\int_A y dA = 0$$

6.7 Hubungan Momen Kelengkungan

Resultan momen dari tegangan normal s_x yang bekerja pada seluruh penampang sama dengan momen lentur M dan dapat dinyatakan pada persamaan berikut.

$$M = - \int_A \sigma_x y dA$$

$$M = - \int_A \kappa E y^2 dA = \kappa E \int_A y^2 dA$$

$$M = \kappa EI$$

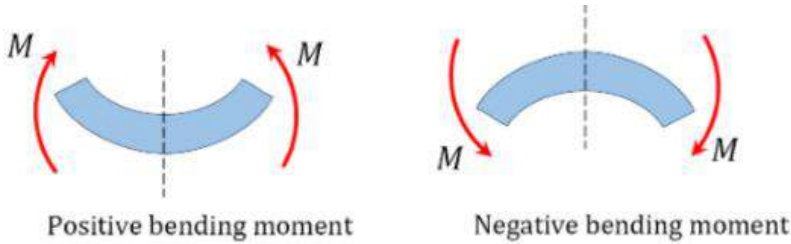
Dimana

$$I = \int_A y^2 dA$$

$$\kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

Ini dikenal sebagai persamaan momen-kelengkungan, menunjukkan bahwa kelengkungan sebanding dengan momen lentur M dan berbanding terbalik dengan besaran EI , yang disebut rigiditas lentur. Rigiditas lentur merupakan ukuran tahanan suatu balok terhadap lentur.

Dengan membandingkan perjanjian tanda untuk momen lentur dengan kelengkungan, bahwa momen lentur positif menghasilkan kelengkungan ke bawah dan momen lentur negative menghasilkan kelengkungan ke atas (Gambar 6.6).



Gambar 6.5. Perjanjian tanda pada momen lentur

(Sumber : <https://studyx.ai/homework/100216060-bending-stress-in-this-exercise-we-consider-a-simply-supported-beam-of-length-l-12-m>)

6.8 Rumus Lentur

$$\sigma_x = \kappa E y$$

$$\sigma_x = \frac{M}{EI} E y = \frac{M y}{I}$$

Persamaan lentur menunjukkan bahwa tegangan sebanding dengan momen lentur M dan berbanding terbalik dengan momen inersia penampang.

Untuk suatu balok dengan penampang persegi Panjang dengan lebar b dan tinggi h , momen inersia dan modulus penampang adalah

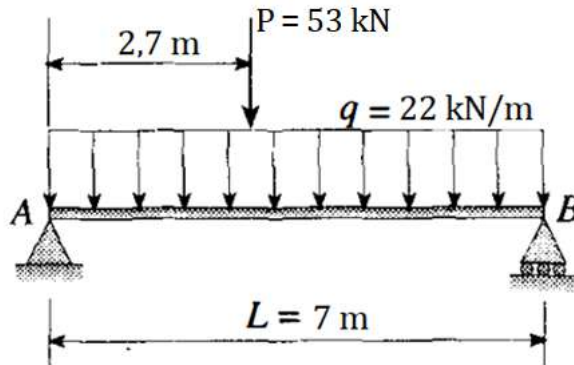
$$I = \frac{b h^3}{12} \quad S = \frac{b h^2}{6}$$

Untuk penampang lingkaran dengan diameter d momen inersia dan modulus penampang adalah

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \quad S = \frac{\pi d^3}{32}$$

Contoh 1:

Sebuah balok sederhana AB dengan panjang bentang 7 m memikul beban terbagi rata sebesar $q = 22 \text{ kN/m}$ (termasuk berat sendiri) dan beban terpusat $P = 53 \text{ kN}$. Beban terpusat terletak 2,7 m dari ujung kiri balok. Balok terbuat dari kayu laminasi dengan ukuran penampang lebar 0,2 m dan tinggi 0,7 m. Tentukan tegangan tarik dan tekan maksimum akibat lentur.



Penyelesaian :

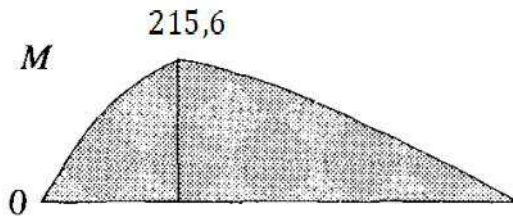
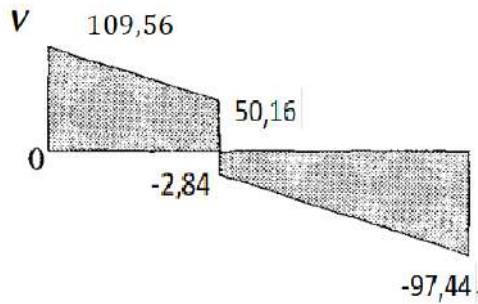
Perhitungan reaksi perletakan pada titik tumpuan A.

$$\sum M_B = 0$$

$$V_A \times 7 - q \times \frac{x^2}{2} - P \times 4,3 = 0$$

$$V_A \times 7 - 22 \times \frac{7^2}{2} - 53 \times 4,3 = 0$$

$$V_A = 109,56 \text{ kN}$$



Momen maksimum terjadi pada lokasi dimana tanda gaya geser berubah. Sehingga momen maksimum dihitung sebagai berikut:

$$M_{max} = V_A \times 2,7 - q \times \frac{2,7^2}{2} = 109,56 \times 2,7 - 22 \times \frac{2,7^2}{2} = 215,6 \text{ kNm}$$

Momen inersia penampang adalah

$$I = \frac{0,2 \times 0,7^3}{12} = 0,0057 \text{ m}^4$$

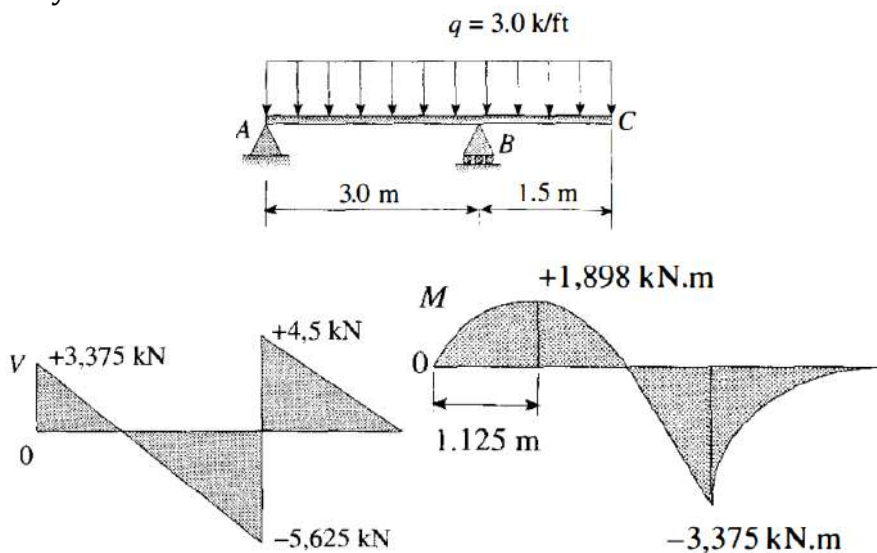
$$\sigma_c = \frac{My}{I} = \frac{-215,6 \times 0,35}{0,0057} = -13200,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = -13,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{My}{I} = \frac{215,6 \times 0,35}{0,0057} = 13200,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 13,2 \text{ MPa}$$

Contoh 2:

Balok ABC mempunyai tumpuan sederhana di A dan B serta overstek dari B ke C. Beban terbagi merata sebesar $q = 3 \text{ kN/m}$. Balok terdiri dari tiga pelat baja (tebal $t = 12 \text{ mm}$) yang di las membentuk profil kanal dengan lebar 300 mm dan tinggi $h = 80 \text{ mm}$. Fillet dan las diabaikan. Tentukan tegangan tarik dan tekan maksimum balok.

Penyelesaian :



Momen maksimum terjadi pada lokasi gaya geser berubah tanda. Kedua momen tersebut adalah 1,898 kNm dan -3,375 kNm. Titik berat profil dihitung sebagai berikut

$$y_a = \frac{(300 - 2 \times 12) \times 12 \times \frac{12}{2} + 2 \times 12 \times 80 \times \frac{80}{2}}{(300 - 2 \times 12) \times 12 + 2 \times 12 \times 80} = 18,48 \text{ mm}$$

$$y_b = h - y_a = 80 - 18,48 = 61,52 \text{ mm}$$

$$I = \frac{(300 - 2 \times 12) \times 12^3}{12} + (300 - 2 \times 12) \times 12 \times \left(18,48 - \frac{12}{2}\right)^2 + 2 \times \frac{12 \times 80^3}{12} + 2 \times 80 \times 12 \times \left(18,48 - \frac{80}{2}\right)^2 = 2468761 \text{ mm}^4$$

Tegangan positif dan negative pada jarak 1,125 m sebesar

$$\sigma_c = -\frac{1,898 \times 10^6 \times 18,48}{2468761} = -14,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{1,898 \times 10^6 \times 61,52}{2468761} = 47,3 \text{ MPa}$$

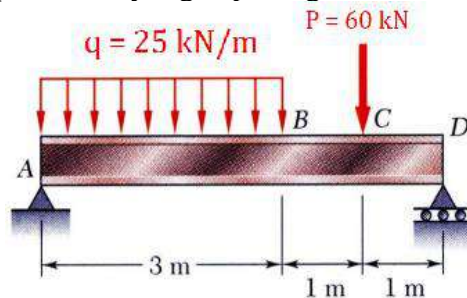
Tegangan positif dan negative pada tumpuan B sebesar

$$\sigma_c = -\frac{3,375 \times 10^6 \times 61,52}{2468761} = -84,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{3,375 \times 10^6 \times 18,48}{2468761} = 25,26 \text{ MPa}$$

Contoh 3:

Sebuah balok baja dengan perletakan sederhana memikul beban merata $q = 25 \text{ kN}$ dan beban terpusat sebesar $P = 60 \text{ kN}$. Tegangan normal yang diijinkan untuk baja yang digunakan sebesar 150 Mpa. Pilih profil IWF yang dapat digunakan.



Penyelesaian :

Perhitungan reaksi perletakan V_A dan V_D .

$$\sum M_D = 0$$

$$V_A \times 5 - q \times 3 \times \left(\frac{3}{2} + 2\right) - P \times 1 = 0$$

$$V_A \times 5 - 25 \times 3 \times \left(\frac{3}{2} + 2\right) - 60 \times 1 = 0$$

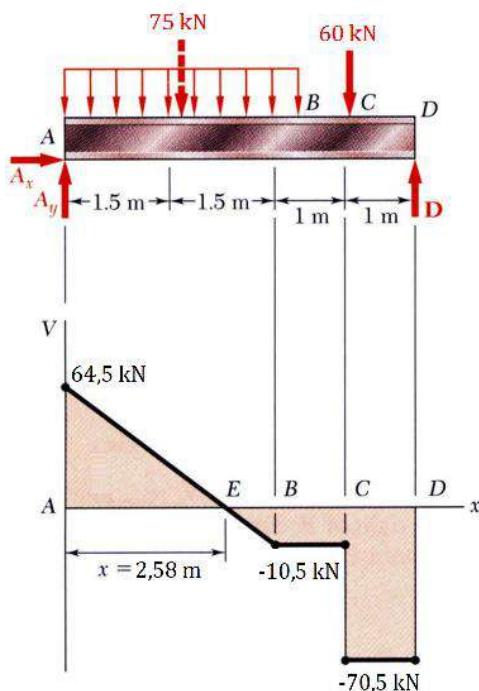
$$V_A = \frac{25 \times 3 \times 3,5 + 60 \times 1}{5} = 64,5 \text{ kN}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$V_D \times 5 - q \times \frac{3^2}{2} - P \times 4 = 0$$

$$V_D \times 5 - 25 \times \frac{3^2}{2} - 60 \times 4 = 0$$

$$V_D = \frac{25 \times \frac{3^2}{2} + 60 \times 4}{5} = 70,5 \text{ kN}$$



Momen maksimum terjadi pada $V=0$ atau pada $x = 2,58$, sehingga

$$M_{max} = V_A \times 2,58 - q \times \frac{2,58^2}{2}$$

$$M_{max} = 64,5 \times 2,58 - 25 \times \frac{2,58^2}{2} = 83,205 \text{ kNm}$$

Hitung modulus penampang minimum yang diijinkan

$$S_x = \frac{M_{max}}{\bar{\sigma}} = \frac{83,205 \times 10^6}{160} = 520,031 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

Sehingga digunakan profil W310x32,9

DAFTAR PUSTAKA

- Gere dan Timoshenko. 1972. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga
Mechanics of Material Pure Bending.
https://www.civil.iitb.ac.in/~naresh/teaching/ce221/L5_bending_v1.pdf
- Amit Thakur. 2015. Seven Question on Theory of Bending Stress.
<https://engineering.myindialist.com/2015/seven-questions-on-theory-of-bending-stress/>
- Rohini Collage of Engineering and Technology. Bending Shear Stress in Beam
https://www.rcet.org.in/uploads/academics/rohini_70491230464.pdf
- Stress in Beam (Basic Topic}
<https://studyx.ai/homework/100216060-bending-stress-in-this-exercise-we-consider-a-simply-supported-beam-of-length-l-12-m>
- StudyX, Bending Stress in this Excercise
<https://studyx.ai/homework/100216060-bending-stress-in-this-exercise-we-consider-a-simply-supported-beam-of-length-l-12-m>

BAB 7

LINGKARAN MOHR

Oleh Jan Setiawan

7.1 Pendahuluan

Lingkaran Mohr dikembangkan pada tahun 1882 oleh insinyur sipil berkebangsaan Jerman yang terkenal Otto Christian Mohr (1835-1918). Lingkaran Mohr ini merupakan representasi secara grafik dari persamaan transformasi untuk tegangan bidang. Representasi ini sangat berarti, dikarenakan dapat memberikan gambaran mengenai hubungan antara tegangan normal dan geser yang bekerja pada bidang putar di suatu titik dalam benda yang mengalami tegangan. Selain itu lingkaran Mohr juga memberikan perhitungan tegangan prinsipal, tegangan geser maksimum dan tegangan pada bidang putar. Lebih lanjut lagi, lingkaran Mohr ini dapat juga diimplementasikan pada besaran selain tegangan yang memiliki karakteristik matematika yang serupa, seperti regangan dan momen inersia (Goodno & Gere, 2021).

7.1.1 Persamaan Lingkaran Mohr

Persamaan lingkaran Mohr diturunkan dari persamaan transformasi untuk tegangan bidang yang dituliskan sebagai,

$$\sigma_{x1} - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (7.1)$$

$$\tau_{x1y1} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (7.2)$$

Berdasarkan geometri analitis, dari kedua persamaan tersebut memiliki bentuk persamaan lingkaran. Lihat lebih dekat pada sudut 2θ merupakan parameter dan tegangan σ_{x1} dan τ_{x1y1} merupakan koordinatnya. Sepintas bentuk ini tidak dikenali sebagai persamaan lingkaran. Untuk lebih terlihat sebagai persamaan

lingkaran parameter sudut perlu dihilangkan dengan melakukan pemangkatan kedua sisi setiap persamaan tersebut kemudian dijumlahkan. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut,

$$\left(\sigma_{x1} - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{x1y1}^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2 \quad (7.3)$$

Persamaan ini dapat dituliskan menjadi lebih sederhana dengan memberikan

$$\sigma_{rata-rata} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

sehingga Persamaan 10.3 dapat dituliskan menjadi,

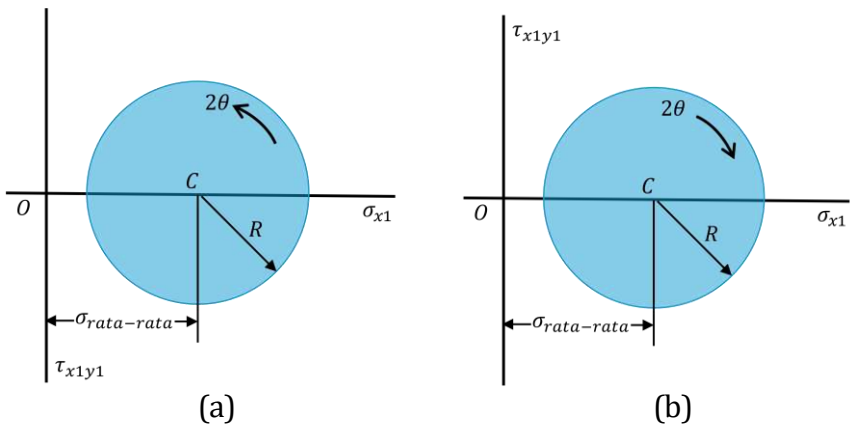
$$(\sigma_{x1} - \sigma_{rata-rata})^2 + \tau_{x1y1}^2 = R^2 \quad (7.4)$$

Persamaan ini secara eksplisit berbentuk persamaan lingkaran. Koordinat dari persamaan ini adalah σ_{x1} dan τ_{x1y1} , nilai jari-jarinya adalah R . Titik pusat dari lingkaran ini adalah $\sigma_{x1} = \sigma_{rata-rata}$ dan $\tau_{x1y1} = 0$.

7.1.2 Bentuk Lingkaran Mohr

Lingkaran Mohr yang dibangun dari persamaan 7.1, 7.2 dan 7.4 akan memiliki dua bentuk. Bentuk yang pertama adalah tegangan normal σ_{x1} bernilai positif ke arah kanan dan tegangan geser τ_{x1y1} bernilai positif ke arah bawah. Kemudian nilai positif untuk sudut 2θ akan digambarkan pada lingkaran Mohr ini berlawanan arah jarum jam. Ilustrasi dari bentuk lingkaran Mohr ini diberikan oleh Gambar 7.1(a). Bentuk kedua nilai positif untuk tegangan geser τ_{x1y1} ke arah atas sehingga nilai positif sudut 2θ

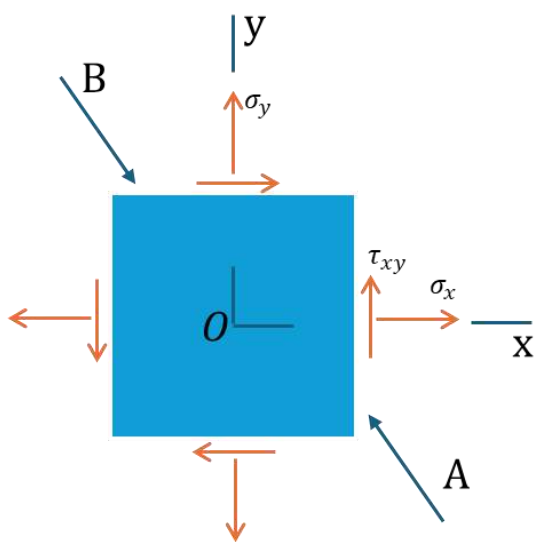
akan digambarkan pada lingkaran Mohr searah jarum jam. Secara matematis kedua penggambaran ini benar, dan bisa digunakan salah satunya. Namun akan menjadi lebih mudah untuk menggambarkan komponen tegangannya apabila nilai positif sudut 2θ berlawanan dengan arah jarum jam (Goodno & Gere, 2021).



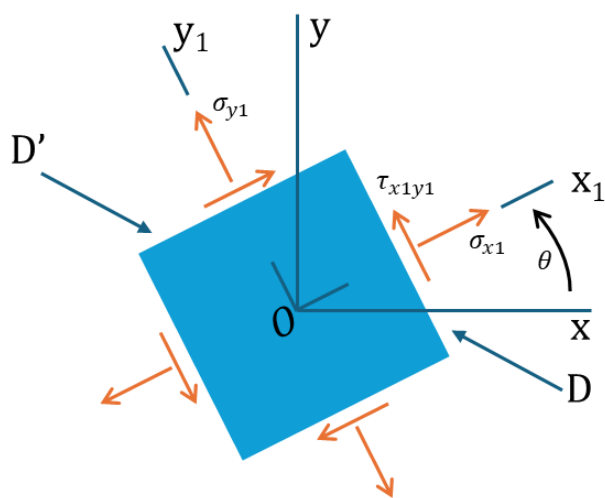
Gambar 7.1. Ilustrasi penggambaran lingkaran Mohr nilai positif sudut (a) berlawanan arah jarum jam dan (b) searah jarum jam.

7.2 Pembentukan Lingkaran Mohr

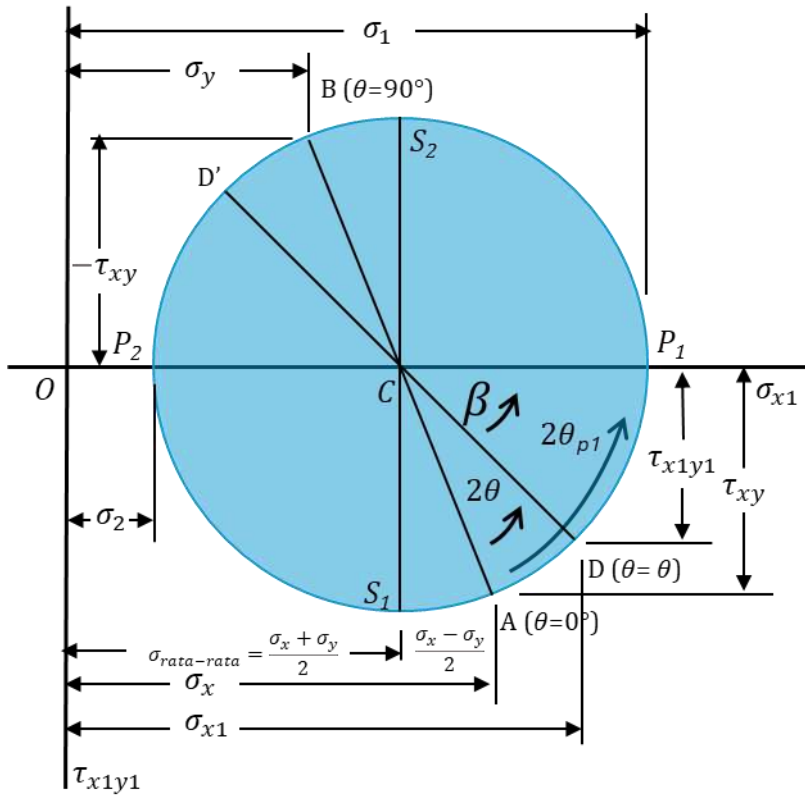
Dalam penyusunan lingkaran Mohr dapat dilakukan melalui berbagai cara, bergantung tegangan yang diketahui dan yang akan ditentukan. Apabila diketahui tegangan σ_x , σ_y , dan τ_{xy} yang bekerja pada bidang x dan y sebagai komponen tegangan bidangnya, informasi ini sangat cukup untuk membentuk lingkaran Mohr. Dari lingkaran Mohr yang dibentuk dapat ditentukan nilai komponen tegangan σ_{x1} , σ_{y1} , dan τ_{x1y1} yang bekerja pada bidang miring. Selain itu tegangan utama dan tegangan geser maksimumnya juga dapat ditentukan dari lingkaran Mohr. Ilustrasi dari lingkaran Mohr ini diberikan pada Gambar 7.2. Informasi tegangan yang bekerja pada bidang diilustrasikan pada Gambar 7.2.(a) dan 7.2.(b) (Goodno & Gere, 2021; Parry, 2004, Popov, 1978).



(a)



(b)



(c)

Gambar 7.2. Penggambaran (a) tegangan yang bekerja pada bidang (b) tegangan yang bekerja pada bidang terputar dan (c) lingkaran Mohr.

Dari informasi tegangan tersebut dapat dibangun lingkaran Mohr seperti pada Gambar 7.2.(c) dengan langkah-langkah sebagai berikut ini:

1. Gambarkan sumbu koordinat dengan sumbu absis σ_{x1} dengan nilai positif ke arah kanan, sumbu ordinat τ_{x1y1} dengan nilai positif ke arah bawah.
2. Tentukan nilai $\sigma_{rata-rata} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$
3. Tentukan posisi pusat lingkaran C , dengan koordinat $(\sigma_{rata-rata}, 0)$

4. Tentukan titik **A** yang menggambarkan kondisi tegangan yang bekerja pada permukaan **x**, dengan koordinat (σ_x, τ_{xy}) . Titik **A** ini berkaitan dengan $\theta = 0$. Dalam Gambar 7.2.(a) titik **A** ini juga diilustrasikan dengan titik **A** dalam lingkaran Mohr.
5. Berikutnya menentukan titik **B** yang menggambarkan kondisi tegangan yang bekerja pada permukaan **y**. Titik koordinat **B** diberikan oleh $(\sigma_y, -\tau_{xy})$. Perlu diingat titik **B** ini berkaitan dengan $\theta = 90^\circ$. Dalam Gambar 7.2.(a) titik **B** ini juga diilustrasikan dengan titik **B** dalam lingkaran Mohr.
6. Berikutnya tarik garis yang menghubungkan titik **A** dengan titik **B** melalui titik pusat **C**. Garis ini menggambarkan diameter dari lingkaran Mohr.
7. Selanjutnya gambarkan lingkaran Mohr dengan titik pusat **C** kemudian garis lingkaran ini melalui titik **A** dan **B**. Jari-jari dari lingkaran Mohr dapat diberikan sebesar

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Tegangan pada bidang putar sebesar θ , tegangan ini dapat ditentukan dari lingkaran Mohr. Dari Gambar 7.2(c) tentukan titik **D** dengan sudut sebesar 2θ secara berlawanan arah dari garis jari-jari **CA**, seperti yang telah diketahui bahwa titik **A** berkaitan dengan $\theta = 0$. Setelah titik tersebut ditentukan, titik **D'** ditentukan sebesar 180° dari titik **D**. Koordinat untuk titik **D** dapat diberikan sebagai berikut.

$$\sigma_{x1} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + R \cos \beta$$

dan

$$\tau_{x1y1} = R \sin \beta \quad (7.5)$$

Perlu diperhatikan sudut yang dibentuk oleh jari-jari CA dengan sumbu horizontal adalah $2\theta + \beta$ sehingga

$$\cos(2\theta + \beta) = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2R}$$

dan

$$\sin(2\theta + \beta) = \frac{\tau_{xy}}{R} \quad (7.6)$$

bentuk persamaan ini dapat dibentuk menjadi

$$\cos 2\theta \cos \beta - \sin 2\theta \sin \beta = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2R}$$

dan

$$\sin 2\theta \cos \beta + \cos 2\theta \sin \beta = \frac{\tau_{xy}}{R} \quad (7.7)$$

dengan mengalikan persamaan pertama dengan $\cos 2\theta$ dan persamaan kedua dengan $\sin 2\theta$ kemudian menjumlahkan keduanya akan diperoleh persamaan berikut,

$$\cos \beta = \frac{1}{R} \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \right) \quad (7.8)$$

Selain itu apabila pada persamaan 10.7, untuk persamaan pertama dikalikan dengan dengan $\sin 2\theta$ dan persamaan kedua dengan $\cos 2\theta$ kemudian dikurangkan akan diperoleh persamaan berikut,

$$\sin \beta = \frac{1}{R} \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \right) \quad (7.9)$$

Setelah diperoleh bentuk $\cos \beta$ dan $\sin \beta$ ini, apabila disubstitusikan ke persamaan 6.5 dapat diperoleh nilai untuk σ_{x1} dan τ_{x1y1} . Dengan demikian titik D pada lingkaran Mohr, yang

terdefinisi oleh 2θ , menggambarkan kondisi tegangan pada sisi x_1 dari elemen tegangan yang terdefinisi oleh sudut θ . Titik D' , yang bertolak belakang terhadap titik D menggambarkan tegangan pada sisi elemen tegangan pada 90° dari sisi yang diwakilkan oleh titik D .

Seluruh tegangan yang diwakilkan sebagai titik pada lingkaran Mohr terkait pada tegangan yang bekerja pada sisi tertentu. Tegangan pada bidang putar didefinisikan oleh sudut θ dapat ditemukan pada lingkaran di titik di mana sudut dari titik referensi bernilai 2θ . Dengan demikian sumbu x_1y_1 berotasi berlawanan arah jarum jam sebesar sudut θ , titik pada lingkaran Mohr yang bersesuaian terhadap sisi x_1 bergerak berlawanan arah jarum jam sebesar 2θ .

Tegangan utama dan bidang utama dalam lingkaran Mohr diberikan dalam titik P_1 . Pada titik ini, tegangan normal bernilai maksimum dan tegangan gesernya bernilai nol. Bidang utama lainnya yang terkait dengan nilai tegangan normal yang paling rendah diberikan dalam titik P_2 . Secara geometri untuk tegangan utama dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\sigma_1 = OC + \overline{CP_1} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + R \quad (7.10)$$

Untuk sudut utama $2\theta_{p1}$ dapat dituliskan sebagai berikut,

$$\cos 2\theta_{p1} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2R}$$

dan

$$\sin 2\theta_{p1} = \frac{\tau_{xy}}{R} \quad (7.11)$$

Untuk titik S_1 dan S_2 menunjukkan bidang dengan nilai maksimum positif dan maksimum negatif dari tegangan geser. Nilai maksimum dari tegangan geser ini secara numerikal sebesar jari-jari R .

Contoh permasalahan lingkaran Mohr, apabila diketahui nilai $\sigma_x = 60$ MPa dan $\sigma_y = 30$ MPa sehingga elemen terputar sebesar $\theta = 15^\circ$. Tentukanlah tegangan yang bekerja pada elemen yang terputar. Langkah pertama adalah menentukan

$$\sigma_{rata-rata} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} = \frac{60 + 30}{2} = 45 \text{ MPa.}$$

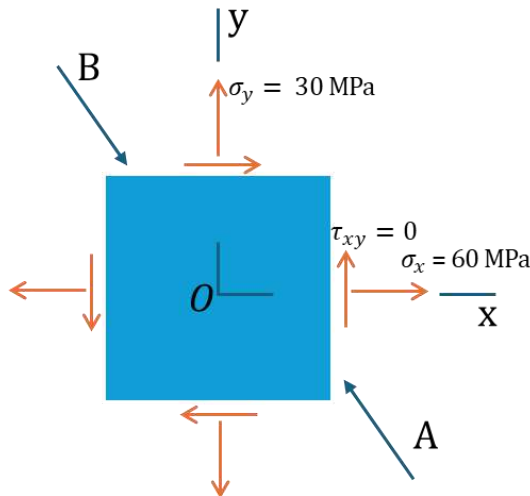
Selanjutnya menentukan titik A, dengan koordinat $\sigma_{x1} = 60$ MPa, dan $\tau_{x1y1} = 0$

Berikutnya menentukan titik B, dengan koordinat $\sigma_{y1} = 30$ MPa, dan $\tau_{x1y1} = 0$

Selanjutnya menentukan jari-jari lingkaran Mohr R

$$R = \sqrt{\left(\frac{60 - 30}{2}\right)^2 + 0} = 15 \text{ MPa.}$$

Ilustrasi dari tegangan yang bekerja pada elemen benda diberikan pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3. Tegangan yang bekerja pada elemen benda

Langkah kedua adalah menganalisis tegangan pada elemen benda yang berputar sebesar 15° . Titik koordinat D dituliskan dengan

$$\sigma_{x_1} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + R \cos \beta = 45 + (15) \cos (2 \cdot 15^\circ) = 57,99 \text{ MPa}$$

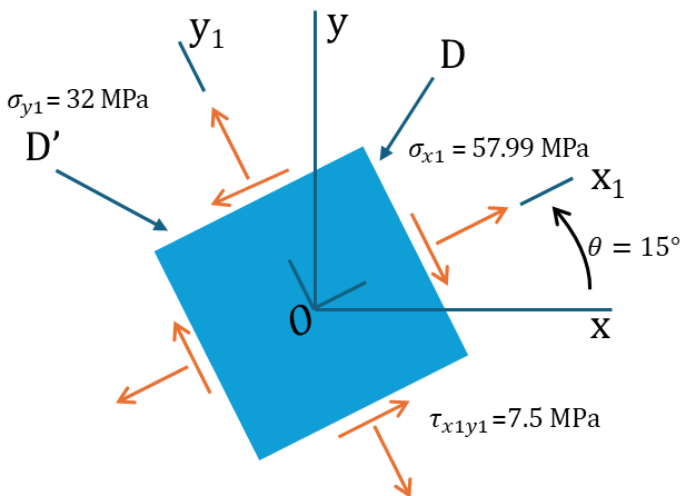
$$\tau_{x_1 y_1} = -R \sin \beta = - (15) \sin (2 \cdot 15^\circ) = - 7,5 \text{ MPa}$$

Sedangkan untuk titik koordinat D' dituliskan dengan

$$\sigma_{y_1} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - R \cos \beta = 45 - (15) \cos (2 \cdot 15^\circ) = 32 \text{ MPa}$$

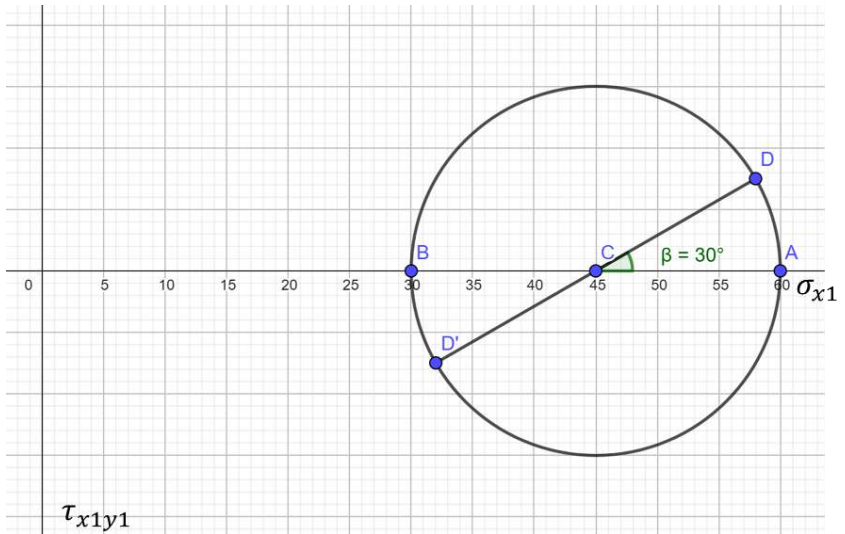
β

Ilustrasi dari tegangan yang bekerja pada elemen benda berputar diberikan pada Gambar 6.4.



Gambar 7.4. Tegangan yang bekerja pada elemen benda

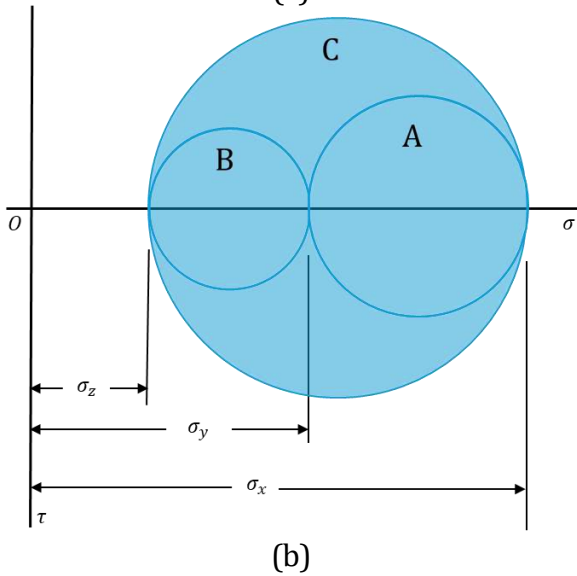
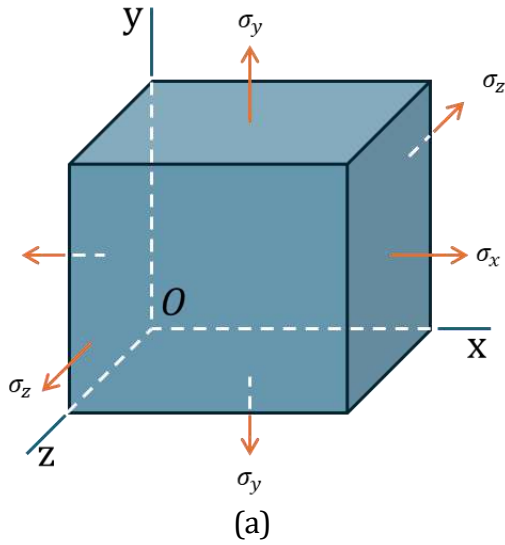
Dengan demikian lingkaran Mohr untuk persoalan tersebut diberikan pada Gambar 7.5.



Gambar 7.5. Penggambaran lingkaran Mohr.

7.3 Pembentukan Lingkaran Mohr Untuk Elemen Dengan Tegangan Tiga Sumbu

Dalam suatu benda dapat bekerja tegangan pada semua sisinya. Tegangan tiga sumbu ini dapat divisualisasikan juga dengan bantuan lingkaran Mohr. Untuk elemen yang berotasi terhadap sumbu z , pada lingkaran Mohr diberikan label A . Kemudian untuk elemen yang berotasi terhadap sumbu x diberi label B dan untuk elemen yang berotasi terhadap sumbu y diberi label C . Jari-jari setiap lingkaran menunjukkan nilai tegangan geser maksimumnya dan untuk tegangan geser maksimum absolut sebanding dengan jari-jari lingkaran yang terbesarnya. Tegangan normal yang bekerja pada bidang dengan tegangan geser maksimum memiliki besar yang diberikan oleh absis dari pusat lingkaran yang berkaitan. Ilustrasi tegangan yang bekerja dan lingkaran Mohr tiga sumbu diberikan pada Gambar 7.6.



Gambar 7.6. Ilustrasi (a) tegangan yang bekerja pada benda, dan (b) lingkaran Mohr untuk tegangan tiga sumbu.

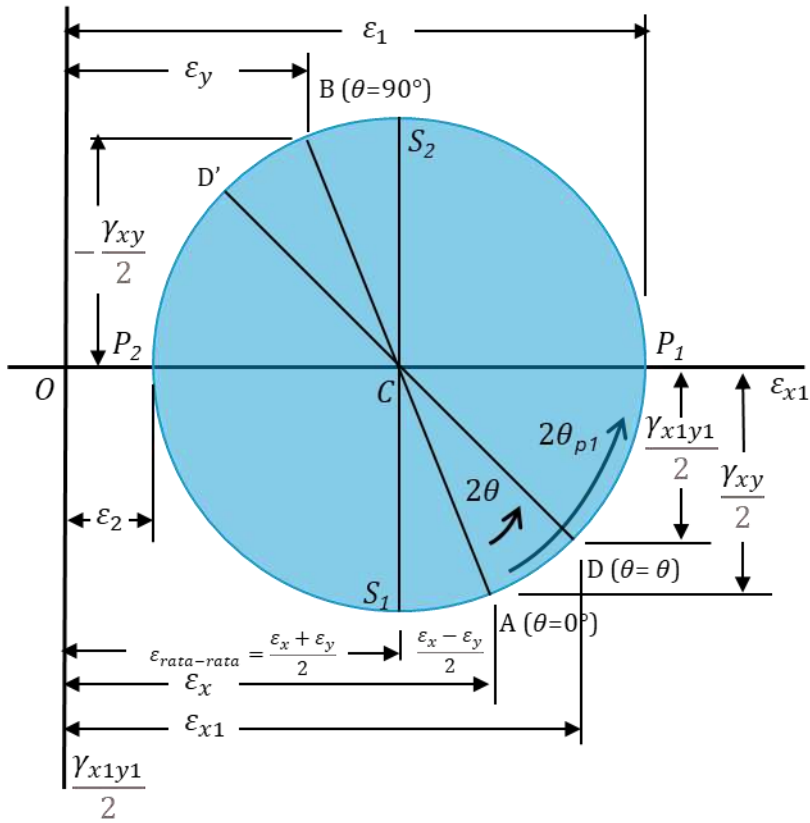
Konsekuensi dari ilustrasi pada Gambar 10.6 tersebut berlaku hubungan $\sigma_z < \sigma_y < \sigma_x$.

7.4 Lingkaran Mohr Untuk Bidang Regangan

Selain untuk menggambarkan tegangan pada elemen benda, lingkaran Mohr dapat juga digunakan untuk menampilkan visualisasi regangan pada elemen benda. Untuk kesamaan parameter antara tegangan dengan regangan dalam pembentukan lingkaran Mohr diberikan pada Tabel 5.1. Ilustrasi lingkaran Mohr untuk bidang regangan diberikan dalam Gambar 7.7. Parameter pada bidang regangan antara lain regangan bidang ε_x , dan ε_y , regangan geser γ_{xy} , regangan normal ε_{x1} , dan regangan geser γ_{x1y1} (Goodno & Gere, 2021; Popov, 1978).

Tabel 7.1. Parameter yang bersesuaian antara bidang tegangan dengan bidang regangan.

No	Tegangan	Regangan
1	σ_x	ε_x
2	σ_y	ε_y
3	τ_{xy}	$\gamma_{xy}/2$
4	σ_{x1}	ε_{x1}
5	τ_{x1y1}	$\gamma_{x1y1}/2$



Gambar 7.7. Lingkaran Mohr untuk bidang regangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Goodno, B. J. & Gere J. M., 2021, *Mechanics of Materials* (9th ed.). Cengage
- Parry, R.H.G., 2004, *Mohr Circles, Stress Paths and Geotechnics* (2nd ed.). Spon Press.
- Popov, E. P., 1978, *Mechanics of Materials* (2nd ed.). Prentice-Hall.

BAB 8

KRITERIA LULUH VON MISES

Oleh Bagus Eko Prasetyo

8.1 Pendahuluan

Dalam rekayasa dan ilmu material, mengetahui kapan suatu material akan mengalami luluh atau yielding sangat penting. Luluh mengacu pada titik di mana suatu material mengalami deformasi permanen di bawah beban tertentu. Ini berarti material tidak akan kembali ke bentuk semula setelah beban dilepaskan. Analisis luluh memungkinkan insinyur dan ilmuwan material untuk mendesain struktur dan komponen yang aman dan mampu menahan beban yang diterapkan tanpa gagal. Salah satu kriteria luluh yang paling umum digunakan untuk material daktail, terutama logam, adalah kriteria Von Mises.

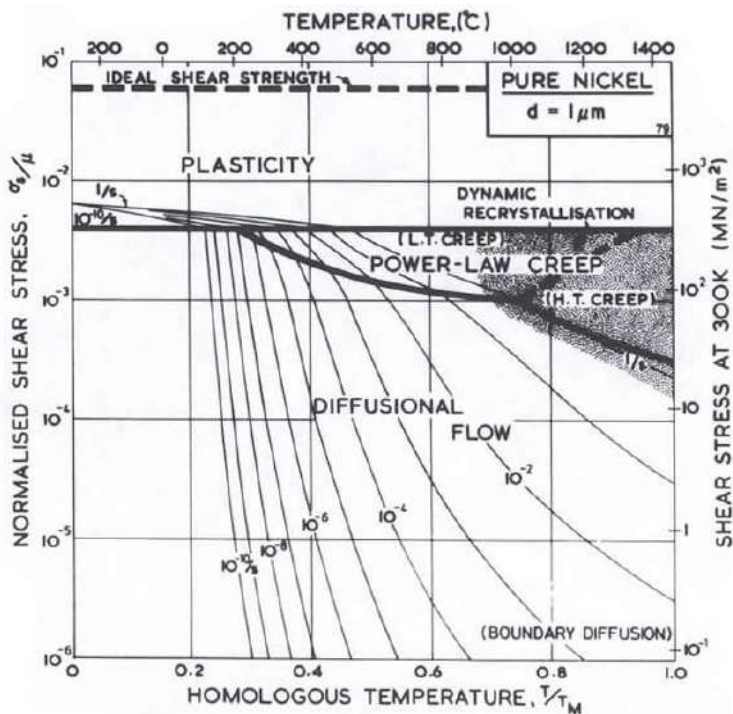
Bab ini memberikan pemahaman tentang konsep dasar plastisitas, teori yang mendasari kriteria luluh Von Mises, serta membahas penerapannya dalam rekayasa sipil, mesin, dan geoteknik. Bab ini juga menyertakan perbandingan dengan kriteria luluh lainnya seperti Tresca, dan disertai dengan contoh perhitungan praktis untuk memberikan gambaran komprehensif.

8.2 Konsep Dasar Deformasi pada Material

Sebelum memasuki pembahasan kriteria luluh Von Mises, penting untuk memahami perbedaan antara deformasi elastis dan plastis. Dalam deformasi elastis, material akan kembali ke bentuk aslinya setelah beban dihilangkan. Sedangkan pada deformasi plastis, material tidak dapat kembali ke bentuk aslinya meskipun beban dihilangkan, menghasilkan deformasi permanen. Pemahaman ini penting untuk mengetahui kapan material mulai mengalami luluh.

Berdasarkan pengamatan eksperimental, karakteristik utama dari deformasi plastis adalah sifatnya yang tidak dapat dipulihkan. Deformasi plastis dapat terjadi secara langsung atau

dengan ketergantungan waktu, bergantung pada kondisi lingkungan seperti suhu dan laju deformasi. Pada suhu kamar dan dengan laju regangan yang normal, deformasi plastis pada material struktural dapat dianggap tidak bergantung pada laju (*rate-independent*), seperti yang dijelaskan dalam penelitian material oleh Frost dan Ashby.



Gambar 8.1. Peta mekanisme deformasi khas untuk Ni murni yang diperkeras melalui kerja dengan ukuran butir 1 μm
(Sumber : Frost & Ashby, 1982)

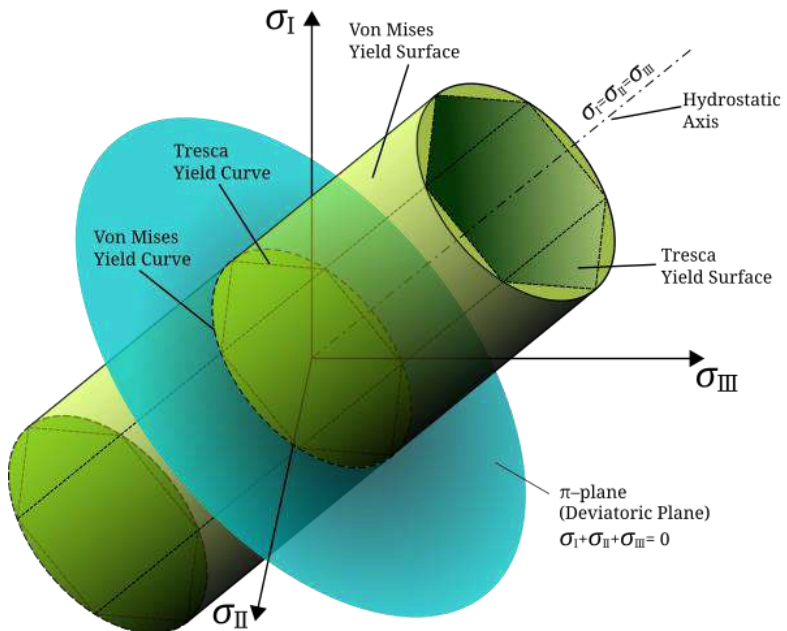
8.3 Teori Dasar Kriteria Luluh Von Mises

Kriteria luluh Von Mises didasarkan pada teori energi distorsi, yang menyatakan bahwa material akan mengalami luluh ketika energi distorsi mencapai batas tertentu. Persamaan utama kriteria Von Mises adalah sebagai berikut :

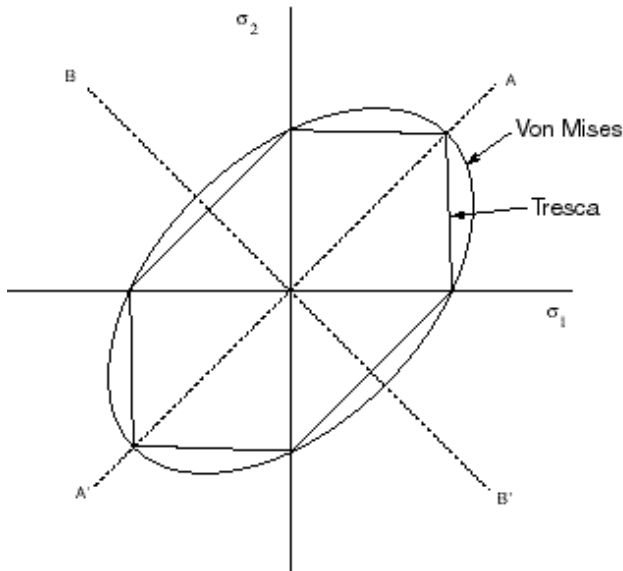
$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}$$

Di mana σ_1 , σ_2 , dan σ_3 adalah tegangan utama. Material akan mengalami luluh ketika tegangan Von Mises σ_v mencapai tegangan luluh material, σ_y .

Kriteria ini menghasilkan permukaan ellipsoid dalam ruang tegangan utama, yang mengindikasikan bahwa material berada dalam kondisi elastis ketika tegangan berada di dalam ellipsoid tersebut. Ketika tegangan mencapai batas ellipsoid, material akan mulai luluh. Geometri ini mengasumsikan bahwa deformasi plastis tidak dipengaruhi oleh tegangan hidrostatis.



Gambar 8.2. Permukaan luluh von Mises dalam koordinat tegangan utama membentuk silinder dengan jari-jari $\sqrt{2/3} J_2$ sekitar sumbu hidrostatik. Selain itu, juga ditampilkan permukaan luluh heksagonal Tresca.
(Sumber : Wikipedia)



Gambar 8.3. Tresca and Von Mises yield criteria.
(Sumber : Kazimi, 1982)

8.4 Perbandingan dengan Kriteria Luluh Lainnya

Kriteria Tresca menyatakan bahwa material akan mulai mengalami luluh jika tegangan geser maksimum mencapai nilai tertentu. Kriteria ini lebih konservatif dibandingkan Von Mises karena memberikan batas yang lebih rendah untuk luluh pada material, sehingga sering digunakan dalam situasi di mana keamanan ekstra diperlukan, khususnya pada material getas.

Dalam ruang tegangan, kriteria Tresca menghasilkan prisma heksagonal, sementara kriteria Von Mises menghasilkan bentuk elipsoid. Ini menunjukkan bahwa Von Mises lebih sesuai untuk material duktal, sementara Tresca lebih cocok untuk material getas atau material yang memerlukan desain konservatif.

8.5 Contoh Analisis Menggunakan Kriteria Luluh Von Mises

Pada bab ini, kita akan mempelajari contoh perhitungan praktis menggunakan kriteria luluh Von Mises. Setiap contoh akan

memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang penerapan kriteria ini dalam situasi teknik nyata, termasuk pada batang baja, bejana tekan, dan stabilitas lereng tanah.

8.5.1 Analisis Tegangan pada Batang dengan Tegangan Dua Arah

Misalkan sebuah batang baja menerima tegangan dua arah, yaitu tegangan aksial $\sigma_x = 300\text{MPa}$ dan tegangan aksial $\sigma_y = 200\text{MPa}$, serta tegangan geser $\tau_{xy} = 50\text{MPa}$. Kita akan menentukan apakah material ini akan mengalami luluh menggunakan kriteria Von Mises: Langkah-Langkah Perhitungan :

Persamaan Von Mises dalam Kasus Dua Arah: Dengan dua tegangan utama dan satu tegangan geser, tegangan Von Mises dihitung sebagai berikut:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2}$$

Substitusi Nilai: Masukkan nilai yang diberikan:

$$\sigma_v = \sqrt{300^2 + 200^2 - (300 \times 200) + 3(50)^2}$$

Hitung:

$$\sigma_v = 278.39 \text{ Mpa}$$

Bandingkan dengan Tegangan Luluh: Misalkan tegangan luluh baja adalah $\sigma_y = 250\text{MPa}$. Karena $\sigma_v = 278.39 \text{ Mpa}$ lebih besar dari σ_y , batang ini akan mengalami luluh.

8.5.2 Analisis Tekanan pada Bejana Silinder Tekan

Pertimbangkan sebuah bejana silinder tekan dengan tegangan lingkaran $\sigma_\theta = 500\text{MPa}$ dan tegangan aksial $\sigma_z = 150\text{MPa}$. Tegangan radialnya $\sigma_r = 50\text{MPa}$. Kita akan menentukan apakah bejana ini akan luluh.

Persamaan Von Mises untuk Tegangan Tiga Arah:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2]}$$

Substitusi Nilai:

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{2}[(500 - 150)^2 + (150 - 50)^2 + (50 - 500)^2]}$$

Hitung:

$$\sigma_v = 409.04 \text{ Mpa}$$

Bandingkan dengan Tegangan Luluh: Dengan tegangan luluh material $\sigma_y = 400\text{MPa}$, karena $\sigma_v = 409.04\text{MPa}$ lebih besar, maka bejana ini akan mengalami luluh.

Contoh-contoh ini menggambarkan penerapan kriteria Von Mises pada berbagai kondisi yang nyata dalam rekayasa. Dengan menggunakan pendekatan ini, insinyur dapat mengevaluasi apakah struktur akan mengalami luluh dan merancang ulang jika perlu untuk mencapai standar keselamatan yang diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Frost, H. J., & Ashby, M. F. (1982). Deformation-Mechanism Maps: The Plasticity and Creep of Metals and Ceramics. Pergamon Press. 978-0080293370
- Fung, Y.C. (1965). Foundations of Solid Mechanics. Prentice Hall.
- Kachanov, L. M., (1971). Foundations Of The Theory Of Plasticity. Dover Publication, 978-0486435831.
- Kazimi, S. M. A. (1982). Solid Mechanics. Mc Graw-Hill, ISBN 0074517155.
- Wikipedia

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 Universitas Buana Perjuangan Karawang. 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 sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku.

BIODATA PENULIS



Karyadi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Buana Perjuangan Karawang

Penulis lahir di Karawang 09 Februari 1990 Provinsi Jawa Barat. Penulis merupakan dosen tetap Universitas Buana Perjuangan Karawang Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik. Penulis menyelesaikan S1 pada Program Studi Teknik Mesin di Universitas Singaperbangsa Karawang dan Melanjutkan S2 Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila Jakarta dengan keahlian Bidang proses Pproduksi Manufaktur.

BIODATA PENULIS



Muhammad Nuzan Rizki, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh

Penulis lahir di Langsa tanggal 16 Januari 1998. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin Universitas Malikussaleh. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknik Mesin dengan bidang Keahlian Konstruksi & Perancangan pada 2019 dan melanjutkan pendidikan Magister Teknik Mesin dengan bidang Keahlian Material & Manufaktur di Universitas Syiah Kuala pada 2020. Saat ini Penulis menekuni bidang penelitian mengenai pengaruh optimasi topologi desain terhadap sifat mekanik material. Penulis menaruh minat yang besar pada upaya merancang produk yang memiliki efisiensi bentuk mekanika paling optimal. Hasil penelitian ini bertujuan agar meningkatkan inovasi dalam konsep desain.

BIODATA PENULIS



Dr. Rahmani Kadarningsih, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo

Penulis lahir di Kotabaru, Kalimantan Selatan tanggal 30 April 1978. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo. Menyelesaikan pendidikan S1 di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat pada tahun 2001 dan melanjutkan S2 di Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro pada tahun 2002. Setelah menyelesaikan S2 penulis bekerja sebagai dosen struktur di Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Gorontalo pada tahun 2006. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan studi S3 di Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada. Penulis aktif melakukan penelitian tentang struktur dan beton bertulang. Setelah menyelesaikan S3, penulis kembali ke Jurusan Teknik Sipil UNG sebagai dosen matakuliah Mekanika Bahan, Struktur Kayu, Struktur Baja dan Struktur Beton. Beberapa karya tulisan berbentuk artikel telah diterbitkan melalui Jurnal Nasional dan Internasional. Adapun buku hasil karya secara mandiri maupun bersama penulis lainnya yang telah terbit antara lain: Struktur Kayu, Civil Literacy Karakteristik Sistem Kota Berkembang dan Infrastruktur Berbasis Kearifan Lokal.

BIODATA PENULIS



Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc

Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro
Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Rekayasa Elektro Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada. Penulis lahir di Sragen tanggal 04 Maret 1991 dan telah menyelesaikan pendidikan doktor di FMIPA UGM pada tahun 2024. Ia aktif terlibat dalam beberapa proyek penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan teknologi baru dan meningkatkan aplikasi rekayasa elektro dan fisika instrumentasi dalam berbagai bidang.

BIODATA PENULIS



Dr. Jan Setiawan, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Teknik Elektro Universitas Pamulang
Periset Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Jakarta pada tahun 1980. Saat ini penulis adalah staf Peneliti Ahli Madya pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis melaksanakan studi S1 di prodi Fisika Institut Pertanian Bogor pada tahun 1998 dan menyelesaikannya pada tahun 2003. Penulis melanjutkan studi S2 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia pada tahun 2008 dan menyelesaikannya pada tahun 2010. Pada tahun 2012, Penulis berkesempatan melanjutkan studi S3 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia dan menyelesaikannya pada tahun 2015. Penulis mengembangkan kepakaran peneliti dibidang teknik material. Selain berkarir sebagai peneliti Penulis juga aktif menjadi pengajar pada Program Studi Teknik Elektro - Universitas Pamulang. Selain meneliti penulis mendalami pengelolaan jurnal semenjak tahun 2006 yang dimulai dari Buletin Daur Bahan Bakar Nuklir Urania. Saat ini Penulis juga aktif menjadi editor untuk jurnal ilmiah nasional dan mitra bestari untuk jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional. Penulis berkecimpung dalam penulisan buku untuk bidang MIPA dan keteknikan semenjak tahun 2020. Email Penulis: jansetiawan.lecturer@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Ir. Bagus Eko Prasetyo, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Ir. Bagus Eko Prasetyo, ST., MT Lahir di Ciamis, pada tanggal 30 Juli 1986. Menyelesaikan Sarjana (S1) Jurusan Teknik Sipil pada Universitas Jember tahun 2008, menamatkan Program Magister (S2) di Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan (FTSL) Institut Teknologi Bandung tahun 2015. Penulis mendapatkan gelar Insinyur-nya di Universitas Hasanuddin pada tahun 2023. Aktivitas saat ini adalah sebagai salah satu dosen tetap Universitas Sembilanbelas November Kolaka pada Fakultas Sains dan Teknologi Prodi S1 Teknik Sipil sejak 2018. Penulis juga adalah seorang Geotechnical Engineer pemegang sertifikat Ahli Madya (G1) pada Himpunan Ahli Teknik Tanah Indonesia (HATTI). Penulis juga pernah terlibat dalam beberapa proyek desain dan penanganan teknis yang berhubungan dengan keahliannya sebagai Geotechnical Engineer pada PT. LAPI ITB tahun 2013 – 2017.