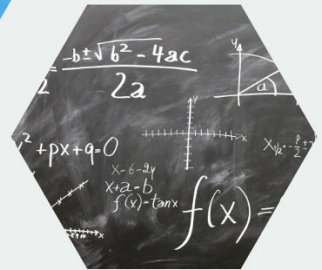


STATIKA STRUKTUR



**Fathan Mubina Dewadi, Karyadi, Eka Sriwahyuni,
Luluk Edahwati, Indra Komara, Enni Sulfiana,
Dodi Mulyadi, Tungga Bhimadi Karyasa,
Haikal Fajri, Amallia, Muh. Setiawan Sukardin,
Ludvi Arif Wibowo**

STATIKA STRUKTUR

**Fathan Mubina Dewadi
Karyadi
Eka Sriwahyuni
Luluk Edahwati
Indra Komara
Enni Sulfiana
Dodi Mulyadi
Tungga Bhimadi Karyasa
Haikal Fajri
Amallia
Muh. Setiawan Sukardin
Ludvi Arif Wibowo**



GET PRESS INDONESIA

STATIKA STRUKTUR

Penulis :

Fathan Mubina Dewadi

Karyadi

Eka Sriwahyuni

Luluk Edahwati

Indra Komara

Enni Sulfiana

Dodi Mulyadi

Tungga Bhimadi Karyasa

Haikal Fajri

Amallia

Muh. Setiawan Sukardin

Ludvi Arif Wibowo

ISBN : 978-623-198-691-7

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

Penyunting : Tri Putri Wahyuni,S.Pd

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

Penerbit : GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

Jln. Palarik Air Pacah No 26 Kel. Air Pacah

Kec. Koto Tangah Kota Padang Sumatera Barat

Website : www.getpress.co.id

Email : adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, 15 September 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

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

Buku ini membahas Penguraian Gaya, Penjumlahan, Volum dan Massa, Momen Gaya dan Momen Kopel, Keseimbangan pada Benda Kaku, Hubungan antara Beban dan Gaya, Bidang Gaya, Besar Gaya yang Bekerja pada Suatu Sistem, Gaya pada Konstruksi Mesin, Besar Gaya Gesek Akibat Pembebanan, Gaya pada Pesawat Angkat Sederhana, Pesawat Angkat Sederhana, Kerek dan Dongkrak.

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, 15 September 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB 1 PENGURAIAN GAYA.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Gaya Resultan	2
1.3 Interaksi Gaya.....	3
1.4 Soal-Soal Latihan	6
DAFTAR PUSTAKA.....	7
BAB 2 PENJUMLAHAN VOLUM DAN MASSA.....	17
2.1 Pendahuluan.....	17
2.2 Pengertian Volum	18
2.3 Pengertian Massa.....	19
2.4 Perbedaan Volum dan Massa.....	21
2.5 Soal-Soal Latihan	22
DAFTAR PUSTAKA.....	24
BAB 3 MOMEN GAYA DAN MOMEN KOPEL	33
3.1 Pendahuluan.....	33
3.2 Gaya	33
3.3 Momen Gaya.....	36
3.3.1 Arah Momen Gaya	37
3.3.2 Rumus Momen Gaya	38
3.3.3 Contoh Momen Gaya dalam Kehidupan Sehari-hari.....	41
3.4 Momen Kopel.....	42
3.4.1 Rumus Momen Kopel.....	43
3.4.2 Pemisahan Suatu Gaya menjadi Gaya dan Momen Kopel.....	45
3.4.3 Peran Momen Kopel dalam Mesin	46
DAFTAR PUSTAKA.....	47

BAB 4 KESETIMBANGAN PADA BENDA KAKU	49
4.1 Pendahuluan	49
4.2 Keseimbangan Benda Tegar.....	49
4.2.1 Rumus Keseimbangan Benda Tegar	50
4.2.2 Syarat Keseimbangan Benda Tegar	50
4.2.3 Konsep Dasar Keseimbangan.....	51
4.3 Macam Keseimbangan Benda Tegar	52
4.3.1 Keseimbangan Stabil	52
4.3.2 Keseimbangan labil (goyah)	53
4.3.3 Keseimbangan Netral (Indeferen).....	54
4.4 Tumpuan.....	56
4.5 Beban (Muatan)	59
DAFTAR PUSTAKA.....	70
BAB 5 HUBUNGAN GAYA DAN BEBAN	71
5.1 Gaya dan Beban.....	71
5.2 Gaya dan Keseimbangan	72
5.3 Beban	76
5.4 Jenis Perletakan	82
5.5 Keseimbangan Benda.....	87
DAFTAR PUSTAKA.....	91
BAB 6 BIDANG GAYA	93
6.1 Konsep Dasar	93
6.2 Penjumlahan Gaya	96
6.3 Internal Forces, Gaya Gesek dan Momen Lentur pada Balok	99
6.4 Keseimbangan Partikel	100
6.4.1 Syarat Keseimbangan Partikel	100
6.4.2 Diagram Benda Bebas.....	101
6.4.3 Sistem Gaya dalam Satu Bidang	103
6.4.4 Rangkaian Tiga Dimensi	105
6.5 Resultan Gaya	106
6.5.1 Perkalian Silang (Cross)	106
DAFTAR PUSTAKA.....	109

BAB 7 BESAR GAYA YANG BEKERJA PADA SUATU SISTEM	111
7.1 Pendahuluan.....	111
7.2 Sistem Gaya Dua Dimensi	111
7.2.1 Komponen Persegi Panjang.....	111
7.2.2 Momen.....	119
7.2.3 Couple (Kopel)	122
7.2.4 Resultant	125
7.3 Sistem Gaya Tiga Dimensi	128
7.3.1 Komponen Persegi Panjang.....	128
7.3.2 Momen dan Couple	132
7.3.3 Resultan	135
7.4 Penutup	138
DAFTAR PUSTAKA	140
BAB 8 GAYA PADA KONSTRUKSI	141
8.1 Pengantar	141
8.2 Gaya Menurut Hukum Newton.....	142
8.3 Tipe, Jenis, Dan Idealisasi Gaya	147
8.4 Gaya Pada Konstruksi	149
DAFTAR PUSTAKA	154
BAB 9 BESAR GAYA GESEK AKIBAT PEMBEBANAN PADA STATIKA STRUKTUR.....	155
9.1 Pendahuluan.....	155
9.2 Konsep Dasar Gaya Gesek	156
9.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Besar Gaya Gesek	158
9.4 Gaya Gesek Statis.....	160
9.5 Gaya Gesek Kinetis	161
9.6 Penerapan dalam Analisis Struktur	163
9.7 Studi Kasus.....	167
9.8 Kesimpulan.....	169
DAFTAR PUSTAKA	171
BAB 10 GAYA PADA PESAWAT ANGKAT SEDERHANA ...	173
10.1 Gaya Angkat	173

10.2 Hukum Bernoulli	175
10.3 Sistem Kemudi Pesawat	177
10.4 Aerodinamika Pesawat.....	178
10.5 Gaya Yang Bekerja Pada Pesawat Terbang.....	179
DAFTAR PUSTAKA.....	189
BAB 11 PESAWAT ANGKAT SEDERHANA.....	191
11.1 Pendahuluan	191
11.1.1 Gravitasi universal	192
11.1.2 Pusat gravitasi (<i>center of gravity</i> , CG) dan perubahan posisi	192
11.1.4 Mekanika Stabilisasi Beban Dan Gerakan	194
11.2 Tuas	195
11.2.1 Tuas kelompok pertama.....	196
11.2.2 Tuas kelompok kedua	198
11.2.3 Tuas kelompok ketiga.....	199
11.3 Puli	200
11.3.1 Puli Tetap	201
11.3.2 Puli Bebas.....	203
11.3.3 Tali lengan kuasa keluar dari puli bebas	205
11.4 Bidang Miring.....	207
11.5 Ulir	208
11.5.1 Ulir Sumbu	208
11.5.2 Ulir Heliks	210
11.6 Roda gigi.....	210
DAFTAR PUSTAKA.....	212
BAB 12 KATROL DAN DONGKRAK.....	213
12.1 Pendahuluan	213
12.2 Rasio Gaya, Rasio Gerakan Dan Efisiensi	213
12.3 Katrol	215
12.4 Dongkrak Mekanik.....	223
DAFTAR PUSTAKA.....	226
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Visualisasi Volum.....	19
Gambar 2.2. Visualisasi Atom.....	21
Gambar 3.1. Analogi Gaya	34
Gambar 3.2. Besaran Gaya.....	34
Gambar 3.3. Arah Momen Gaya.....	38
Gambar 3.4. Momen Gaya pada Kunci Inggris	39
Gambar 3.5. Arah Momen Gaya pada Kunci Inggris	40
Gambar 3.6. Momen gaya pada gagang pintu	41
Gambar 3.7. Momen gaya pada kunci inggris.....	42
Gambar 3.8. Momen Kopel	43
Gambar 3.9. Pemindahan gaya menjadi gaya dan kopel	45
Gambar 4.1. Keseimbangan benda tegar	51
Gambar 4.2. Kesetimbangan Stabil	53
Gambar 4.3. Keseimbangan Labil.....	54
Gambar 4.4. Keseimbangan Netral	54
Gambar 4.5. Ilustrasi soal.....	55
Gambar 4.6. Uraian gaya.....	55
Gambar 4.7. Uraian diagram benda bebas	59
Gambar 4.8. Diagram pendukung.....	62
Gambar 4.9. Penggambaran dari contoh soal	63
Gambar 4.10. Penggambaran dari contoh soal.....	64
Gambar 4.11. Uraian gaya dari contoh soal	64
Gambar 4.12. Penggambaran crane.....	67
Gambar 5.1. Ilustrasi beban vertical orang.....	73
Gambar 5.2. Ilustrasi beban vertical batu	74
Gambar 5.3. Ilustrasi beban horizontal dari dorongan.....	74
Gambar 5.4. Garis kerja gaya	75
Gambar 5.5. Titik bermulanya gaya	75
Gambar 5.6. Garis kerja gaya dan beban yang dapat berpindah.....	76
Gambar 5.7. Distribusi beban terpusat	79

Gambar 5.8. Distribusi beban terbagi merata	79
Gambar 5.9. Ilustrasi perletakan jembatan sebelum diberikan beban.....	81
Gambar 5.10. Ilustrasi perletakan bangunan Gedung dan pondasi.....	82
Gambar 5.11. Ilustrasi perletakan rol.....	83
Gambar 5.12. Penyederhanaan perletakan rol	83
Gambar 5.13. Ilustrasi perletakan sendi	84
Gambar 5.14. Penyederhanaan perletakan sendi	84
Gambar 5.15. Penyederhanaan perletakan jepit	85
Gambar 5.17. Ilustrasi perletakan pendel.....	87
Gambar 5.18. Ilustrasi kotak yang dilem diatas meja.....	89
Gambar 6.1. Hukum keseimbangan	94
Gambar 6.2. Partikel dengan Dua massa	95
Gambar 6.3. Pemindahan Gaya	96
Gambar 6.4. Resultan Gaya.....	97
Gambar 6.5. Resultan segitiga	97
Gambar 6.6. Resultan dengan berbagai titik yang berbeda	97
Gambar 6.7. Pengurangan Gaya.....	98
Gambar 6.8. Resultan Gaya Sejajar.....	98
Gambar 6.9. Batang dengan internal force	99
Gambar 6.10. Momen Lentur dan Gaya Gesek.....	99
Gambar 6.11. Internal force berupa gaya gesek dan momen lentur pada batang yang dipotong.....	100
Gambar 6.12. Balok.....	102
Gambar 6.13. Gambar diagram benda bebas	103
Gambar 6.14. Kesetimbangan Partikel.....	103
Gambar 6.15. Gambar lampu.....	104
Gambar 6.16. Kesetimbangan Partikel.....	105
Gambar 6.17. Arah vektor gaya.....	108
Gambar 7.1. Komponen Gaya Persegi Panjang.	112

Gambar 7.2. Gambar Soal no 1.	113
Gambar 7.3 Penguraian Gaya untuk Soal no 1.	114
Gambar 7.4. Gambar Soal no 2.	116
Gambar 7.5. Penyelesaian Soal no 2 dengan Cara 1.	116
Gambar 7.6. Penyelesaian Soal no 2 dengan Cara 2.	117
Gambar 7.7. Penyelesaian Soal no 2 dengan Cara 3.	118
Gambar 7.8. Konsep Momen Gaya.	119
Gambar 7.9. Gambar Soal no 3.	120
Gambar 7.10. Gambar Uraian Penyelesaian Soal no 3.	121
Gambar 7.11. Ilustrasi <i>Couple</i>	123
Gambar 7.12. Gambar Soal no 4 (dimensi dalam millimeter).	123
Gambar 7.13. Gambar Soal no 5.	124
Gambar 7.14. Gambar Penyelesaian Soal no 5.	125
Gambar 7.15. Penjumlahan Gaya-gaya menjadi Resultan Gaya.	126
Gambar 7.16. Gambar Soal no 6.	127
Gambar 7.17. Resultan Gaya dan <i>Couple</i>	128
Gambar 7.18. Tiga Komponen Gaya.	129
Gambar 7.19. Gambar Soal no 7.	130
Gambar 7.20. Penyelesaian Soal no 7b.	131
Gambar 7.21. Penyelesaian Soal no 7c.	132
Gambar 7.22. Gambar Soal no 8.	134
Gambar 7.23. Gambar Soal no 9.	135
Gambar 7.24. Gambar Soal no 10.	136
Gambar 7.24. Gambar Soal no 11.	137
Gambar 7.25. Gambar Penyelesaian Soal no 11.	138
Gambar 10.1. Proses Aliran Udara gaya angkat pada sayap pesawat	174
Gambar 10.2. Aerodinamika pada posisi badan pesawat.	179
Gambar 10.3. Gaya Dorong (<i>Thrust</i>)	180
Gambar 10.4. Jangkauan kecepatan dalam 3 daerah.	181

Gambar 10.5. Gaya Hambat (Drag)	181
Gambar 10.6. Lift (Angkat)	183
Gambar 10.7. Benturan udara pada bagian bawah sayap.....	185
Gambar 10.8. Weight	186
Gambar 10.9. Hubungan yang tidak tepat (Salah).....	187
Gambar 10.10. Hubungan yang tepat (Benar)	187
Gambar 10.11. Penerapan Gaya pada posisi pesawat.....	188
Gambar 11.1. Pusat gravitasi (CG) benda padat terletak di tiga bidang atau arah.....	192
Gambar 11.2. Pusat gravitasi (CG) benda padat terletak di tiga bidang atau arah.....	193
Gambar 11.3. Posisi titik angkat (<i>lifting point</i>) terhadap Pusat gravitasi (CG) benda padat.....	193
Gambar 11.4. (a) Posisi titik angkat berada di atas pusat gravitasi (CG) sehingga beban stabil (b) Posisi titik angkat berada di bawah pusat gravitasi (CG) sehingga beban tidak stabil.....	195
Gambar 11.5. Tuas sederhana	196
Gambar 11.6. Tiga kelompok Tuas (a) tuas kelompok pertama (b) tuas kelompok kedua (c) tuas kelompok ketiga	197
Gambar 11.7. Dayung sebagai aplikasi Tuas kelompok	197
Gambar 11.8. Aplikasi Tuas kelompok kedua yang memudahkan mengangkat beban dengan menggunakan gerobak dorong	198
Gambar 11.9. Tuas kelompok ketiga.....	199
Gambar 11.10. Tuas kelompok ketiga	200
Gambar 11.11. Puli tetap (a) pergerakan tali (b) distribusi gaya yang terjadi	202

BAB 1

PENGURAIAN GAYA

Fathan Mubina Dewadi

1.1 Pendahuluan

Pendahuluan tentang penguraian gaya melibatkan pemahaman tentang gaya, gaya resultan, dan konsep penguraian gaya menjadi komponen horizontal dan vertikal (Dewadi, 2021a). Gaya adalah pengaruh yang dapat menyebabkan perubahan dalam kecepatan, arah, atau bentuk suatu objek (Nanda, Supriyono, Ma'arof, & Dewadi, 2022). Gaya dapat diterapkan pada suatu objek dengan mendorong, menarik, atau menyebabkan tekanan pada objek tersebut (Suhara, Dewadi, & Febrian, 2023).

Gaya resultan adalah gaya keseluruhan yang bekerja pada suatu objek, yang merupakan hasil dari penjumlahan atau penguraian gaya-gaya individu yang diterapkan pada objek tersebut (Khoirudin *et al.*, 2021). Dalam beberapa situasi, gaya dapat dipecah menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana untuk mempermudah analisis (Mulyadi & Dewadi, 2021). Penguraian gaya adalah proses memecah gaya resultan menjadi komponen-komponen gaya yang bekerja dalam arah tertentu, seperti komponen horizontal dan vertikal (Farahdiansari *et al.*, 2021). Penguraian gaya digunakan ketika objek atau benda tersebut terkena gaya yang tidak sejajar dengan sumbu koordinat yang digunakan dalam analisis (Murtalim *et al.*, 2020).

Misalnya, jika suatu benda ditarik dengan sudut terhadap sumbu horizontal, maka gaya tarikan tersebut dapat diurai menjadi dua komponen yaitu komponen horizontal dan komponen vertikal (Nanda, Karyadi, Dewadi, *et al.*, 2022). Komponen horizontal adalah gaya tarikan yang bekerja sepanjang sumbu horizontal, sedangkan

komponen vertikal adalah gaya tarikan yang bekerja sepanjang sumbu vertikal (Dewadi, 2023b).

Dengan menguraikan gaya menjadi komponen-komponen, kita dapat menganalisis dan menghitung efek gaya dalam arah yang spesifik (C. Wibowo & Dewadi, 2022). Penguraian gaya memungkinkan kita untuk memahami bagaimana gaya dapat berkontribusi terhadap gerakan atau keadaan kesetimbangan suatu objek dalam berbagai arah (Dewadi, 2021b).

Penguraian gaya juga terkait erat dengan trigonometri, karena melibatkan sudut dan perhitungan menggunakan fungsi trigonometri seperti $\sin$, $\cos$, dan $\tan$ untuk menentukan nilai komponen-komponen gaya (Ma'arof *et al.*, n.d.).

Pemahaman tentang penguraian gaya memainkan peran penting dalam fisika, rekayasa, dan berbagai bidang ilmu pengetahuan alam lainnya (Dimiyati *et al.*, 2021). Dengan menguraikan gaya menjadi komponen-komponen, kita dapat menganalisis dan memodelkan interaksi gaya secara lebih akurat, sehingga memungkinkan perencanaan dan analisis yang lebih tepat (Nanda, Supriyanto, *et al.*, 2023a).

1.2 Gaya Resultan

Gaya resultan adalah hasil penjumlahan atau pengurangan dari dua atau lebih gaya yang bekerja pada suatu benda (Dewadi, Nanda, *et al.*, 2023). Gaya resultan menggambarkan total efek yang dihasilkan oleh semua gaya tersebut terhadap gerakan atau keadaan benda tersebut (Mubina & Amir, 2022).

Jika dua atau lebih gaya bekerja sejajar, maka gaya resultan dapat dihitung dengan menjumlahkan atau mengurangi besarnya gaya-gaya tersebut, tergantung pada arahnya (Nanda, Karyadi, *et al.*, 2023).

Misalnya, jika dua gaya sejajar dengan arah yang sama, maka gaya resultan adalah hasil penjumlahan kedua gaya tersebut (Dewadi, 2021c). Namun, jika gaya-gaya tersebut memiliki arah

yang berlawanan, maka gaya resultan diperoleh dengan mengurangkan gaya yang memiliki nilai lebih besar dengan gaya yang memiliki nilai lebih kecil (Kusmiwardhana *et al.*, 2023).

Jika dua atau lebih gaya bekerja pada suatu benda dengan arah yang tidak sejajar, maka gaya resultan dapat dihitung dengan menggunakan metode trigonometri (Dewadi, 2023e). Dalam hal ini, gaya-gaya tersebut harus diurai menjadi komponen-komponen horizontal dan vertikal, kemudian komponen-komponen tersebut dijumlahkan secara terpisah untuk mendapatkan komponen horizontal resultan dan komponen vertikal resultan (Nanda & Dewadi, 2023a).

Setelah itu, kedua komponen tersebut dapat digunakan untuk menghitung besar dan arah gaya resultan menggunakan rumus-rumus trigonometri (Dewadi, Kiswanto, *et al.*, 2022). Secara umum, gaya resultan dapat digunakan untuk menentukan kecepatan, percepatan, atau keseimbangan suatu benda berdasarkan gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut (C. Wibowo, Dewadi, *et al.*, 2021).

1.3 Interaksi Gaya

Interaksi gaya merujuk pada hubungan antara dua atau lebih objek yang saling mempengaruhi satu sama lain melalui gaya-gaya yang diberikan (Dewadi, 2023c). Dalam fisika, terdapat beberapa jenis interaksi gaya yang berbeda (Dewadi, 2023a). Berikut adalah beberapa contoh penting dari interaksi gaya yaitu gravitasi, elektromagnetisme, gaya nuklir, gaya tegangan permukaan dan gaya gesekan (Dewadi, n.d.).

Gravitasi adalah interaksi gaya yang terjadi antara dua objek yang memiliki massa (Dewadi, Ma'arof, *et al.*, 2021). Gaya gravitasi menarik objek-objek bersama-sama dan bergantung pada massa masing-masing objek serta jarak di antara mereka (C. Wibowo, Sukarno, *et al.*, 2022). Hukum gravitasi Newton menjelaskan hubungan antara gaya gravitasi, massa, dan jarak (Supriyati *et al.*,

2022). Elektromagnetisme adalah Interaksi elektromagnetik melibatkan gaya-gaya listrik dan magnetik (Abbas *et al.*, 2021). Gaya listrik terjadi antara partikel bermuatan listrik seperti elektron dan proton (Nanda, Supriyanto, *et al.*, 2023b). Gaya magnetik terjadi antara magnet atau benda yang memiliki medan magnet dan objek yang terpengaruh oleh medan tersebut (Asari *et al.*, 2016). Hukum Coulomb dan Hukum Ampere merupakan hukum-hukum yang menggambarkan interaksi elektromagnetik (Dewadi *et al.*, 2019a).

Gaya nuklir adalah interaksi gaya yang terjadi di dalam inti atom (Setiawan & Dewadi, 2022). Gaya nuklir kuat (*strong nuclear force*) bertanggung jawab untuk mempertahankan partikel-partikel subatomik di dalam inti atom bersama-sama (Mulyadi *et al.*, 2023). Gaya nuklir lemah (*weak nuclear force*) berperan dalam beberapa proses peluruhan radioaktif (Dewadi, Amir, *et al.*, 2022).

Gaya tegangan permukaan adalah interaksi yang terjadi di antara molekul-molekul cairan pada batas antara cairan dan udara atau cairan dan padatan (Dewadi, Maryadi, *et al.*, 2022). Ini adalah gaya yang bertanggung jawab untuk fenomena seperti menetes dan bentuk bulatnya tetesan air di permukaan (Dewadi & Ma'arof, 2022).

Gaya gesekan terjadi ketika dua benda bergerak satu sama lain dan mengalami hambatan akibat kontak antarpermukaan (C. Wibowo, Surbakti, *et al.*, 2022). Gaya gesekan ini menghalangi gerakan relatif antara dua permukaan dan dapat memperlambat atau menghentikan gerakan benda (Santosa *et al.*, 2022).

Ini hanya beberapa contoh interaksi gaya dalam fisika (S. H. Wibowo *et al.*, 2023). Terdapat banyak gaya lainnya yang terlibat dalam berbagai situasi dan skenario (Nanda & Dewadi, 2023b). Studi tentang interaksi gaya adalah bagian penting dari pemahaman kita tentang alam semesta dan bagaimana objek-objek berinteraksi satu sama lain (Dewadi, Lillahulhaq, *et al.*, 2023).

Ketika sebuah benda dilepaskan dari ketinggian, gaya gravitasi menarik benda ke bawah (C. Wibowo, Setiawan, *et al.*, 2021). Objek ini berinteraksi dengan gaya gravitasi bumi (Dewadi *et al.*, 2019b).

Ketika dua bola bertabrakan, gaya tumbukan terjadi antara mereka (Lulut Alfaris *et al.*, 2022). Gaya ini bergantung pada massa dan kecepatan bola serta lamanya waktu kontak antara bola-bola tersebut (Della *et al.*, 2022).

Ketika dua orang menarik tali dalam permainan tarik tambang, mereka mengalami interaksi gaya tarik yang berlawanan arah (Jakariya *et al.*, 2023). Gaya ini terjadi karena keduanya berusaha menarik tali ke arah yang berlawanan (Nanda & Dewadi, 2022). Benda yang terbuat dari bahan ferromagnetik, seperti besi, dapat berinteraksi dengan medan magnet (Dewadi & Sigalingging, 2021).

Ketika benda tersebut didekatkan ke magnet, gaya magnetik akan menarik atau menolak benda tersebut (Dewadi, Reynaldi, *et al.*, 2021). Ketika dua permukaan benda bersentuhan dan bergerak relatif satu sama lain, terjadi gaya gesekan antara mereka (Dewadi, 2016). Gaya gesekan ini dapat mencegah atau menghambat gerakan benda (Nanda, Supriyanto, Dewadi, Jati, *et al.*, 2022). Benda-benda yang bermuatan listrik dapat saling tarik atau tolak-menolak, tergantung pada polaritas muatannya (Nanda, Karyadi, & Dewadi, 2022). Misalnya, dua benda bermuatan yang berbeda akan saling tarik, sementara dua benda bermuatan yang sama akan saling tolak (Dewadi, Jati, *et al.*, 2023). Ketika suatu benda ditarik atau ditekan pada pegas, terjadi gaya restorasi yang disebabkan oleh elastisitas pegas (Fathan *et al.*, 2022). Gaya ini sebanding dengan perubahan posisi benda terhadap posisi keseimbangan pegas (Suhara, Dewadi, & Hamdani, 2023). Itulah beberapa contoh objek dan interaksi gaya yang dapat terjadi dalam berbagai situasi (Dewadi & Supriyanto, 2021). Terdapat beragam jenis interaksi gaya, dan setiap jenis

memiliki faktor-faktor yang mempengaruhi dan memicunya (Dewadi, 2023f).

1.4 Soal-Soal Latihan

1. Sebuah benda ditarik ke arah utara dengan gaya 50 N dan ke arah timur dengan gaya 30 N. Tentukan gaya total yang bekerja pada benda tersebut serta arahnya (Muhammad *et al.*, n.d.)!
2. Sebuah kotak ditarik ke arah timur dengan gaya 80 N dan ditarik ke arah utara dengan gaya 60 N. Tentukan hasil penguraian gaya tersebut menjadi komponen horizontal dan vertikalnya (Dewadi, Bachtiar, *et al.*, 2023)!
3. Sebuah benda diberikan dua gaya sejajar. Gaya pertama memiliki magnitudo 100 N dan arah 30° ke kanan sumbu x. Gaya kedua memiliki magnitudo 50 N dan arah 60° ke kiri sumbu x. Tentukan hasil penguraian gaya tersebut menjadi komponen x dan y (Lawi *et al.*, 2023).
4. Sebuah benda diberikan dua gaya dengan sudut 60° di antara keduanya. Gaya pertama memiliki magnitudo 80 N dan arah ke timur. Gaya kedua memiliki magnitudo 100 N. Tentukan hasil penguraian gaya tersebut menjadi komponen x dan y (Dewadi, 2023d).
5. Sebuah benda diberikan tiga gaya. Gaya pertama memiliki magnitudo 30 N dan arah 45° ke kanan sumbu x. Gaya kedua memiliki magnitudo 20 N dan arah 60° ke atas sumbu y. Gaya ketiga memiliki magnitudo 40 N dan arah 30° ke bawah sumbu y. Tentukan hasil penguraian gaya tersebut menjadi komponen x dan y (Dewadi, 2022).

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.
- Asari, A., Anam, A. C., Litamahuputty, J. V., Dewadi, F. M., Prihastuty, D. R., Syukrilla, W. A., Murni, N. S., & Sukwika, T. (2016). *Pengantar Statistika*. PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA.
- Della, R. H., Nugroho, B. S., Agustiawan, A., Simarmata, N., Fitriyani, E., Dewadi, F. M., Musfirah, M., & Sitorus, E. (2022). *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Society 5.0*.
- Dewadi, F. M. (n.d.). BAB 1 RUANG LINGKUP TEKNIK PENDINGIN DAN PENGKONDISIAN. *TEKNIK PENDINGIN TEKNIK PENDINGIN TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA DAN TATA UDARA DAN TATA UDARA*, 1.
- 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. (2021c). Pengaruh Analisis Manajemen Stres Kinerja Perusahaan terhadap Pencapaian Kinerja Karyawan Optimal berdasarkan Pengalaman Pemuda Kreatif Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Bukit Tinggi, IAIN Bukit Tinggi*.

- Dewadi, F. M. (2022). BAB III SAMPLING DALAM ANALISIS. *Konsep Dasar Kimia Analitik*, 40.
- Dewadi, F. M. (2023a). BAB 2 KARAKTERISTIK KENDARAAN. *Rekayasa Lalu Lintas*, 19.
- Dewadi, F. M. (2023b). BAB 3 GEJALA KERADIOAKTIFAN UNSUR-UNSUR TIDAK STABIL. *Kimia Dasar II*, 47.
- Dewadi, F. M. (2023c). BAB 3 KRITERIA PEMILIHAN BAHAN TEKNIK DALAM APLIKASINYA. *MEKANIKA TEKNIK II*, 36.
- Dewadi, F. M. (2023d). BAB VII RANDOM VARIABLE. *PENGANTAR STATISTIKA*, 87.
- Dewadi, F. M. (2023e). PELATIHAN MASYARAKAT DESA KEDUNG JERUK DALAM PEMILIHAN JENIS MATERIAL KAYU DAN PEMBUATAN MEDEL RUMAH TANGGA UNTUK MENINGKATKAN UMKM DESA. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 1429–1438.
- Dewadi, F. M. (2023f). PENGARUH PEMANASAN BBM CAMPURAN DENGAN PARAMETER PEMANASAN SUHU TERHADAP DENSITAS BAHAN BAKAR. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 105–113.
- Dewadi, F. M., Amir, A., Rahman, M. A., Ramdani, R. T., & Suciyaniti, Q. P. (2022). Upaya Meminimalisir Kadar Debu Pada Laboratorium Teknik Mesin dengan Vertical Garden. *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat Dan Jejaring*, 4(2), 128–135.
- Dewadi, F. M., 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. (2019a). Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *Journal Online Jaringan Pengajian Seni Bina (JOJAPS)*, 14, 129–138.

- Dewadi, F. M., Dahlan, D., & Maulana, E. (2019b). *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., Kiswanto, L. Y., & Ghifary, A. M. (2022). KKN dengan Mode Hybrid di Wilayah Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 1(1), 1–8.
- 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., Ma'arof, R. A. R., & Saputra, O. A. (2021). Coordinated Way to Deal With Schooling Educational Plan Based on Current Industry Needs in Indonesia. *On Advancing and Redesigning Education*.
- 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., Reynaldi, C., & Syah, M. R. P. (2021). Pembelajaran Online Berbasis Have Fun Learning Dengan Penilaian

- Modern Pada Era Pandemi Covid-19. *JECED: Journal of Early Childhood Education and Development*, 3(2), 121–128.
- Dewadi, F. M., & Sigalingging, W. S. (2021). PENGARUH PARAMETER TEMPERATUR QUENCHING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO REAR HUB SPINDLES. *Buana Ilmu*, 5(2), 101–118.
- Dewadi, F. M., & Supriyanto, A. (2021). PENGARUH PENAHANAN SUHU REAKTOR PADA PENGUJIAN LDPE DENGAN DEBIT AIR 46 L/MIN. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 19–27.
- Dimiyati, D., Ashiedieque, A. D., Sukarman, S., Dewadi, F. M., Rahdiana, N., Rahardja, I. B., Ramadhan, A. I., & 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.

- Kusmiwardhana, D., Dewadi, F. M., Soeprapto, A. C., Abdur, Y. A., & Bramantyo, R. (2023). Pemanfaatan membuat Civitas Akademika Politeknik Negeri Jakarta PSDKU Pekalongan Prodi Manufaktur di Museum Batik Pekalongan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Mandiri (JPMM)*, 1(02), 94–101.
- Lawi, A., Bora, M. A., Arifin, R., Andriani, M., Jumeno, D., Rasyid, A., Dewadi, F. M., Didin, F. S., Oktavera, R., & Santoso, H. (2023). *Ergonomi Industri*. Global Eksekutif Teknologi.
- 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.
- Ma'arof, R. A. R., Saputra, O. A., Dewadi, F. M., & Noor, A. (n.d.). *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*.
- Mubina, F., & Amir, A. (2022). Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur. *Jurnal Mekanik Terapan*, 3(1), 18–25.
- Muhammad, A. C., Santoso, H., Purnama, Y. A., Parenden, D., Dewadi, F. M., Dewi, R. P., Winardi, B., & Lillahulhaq, Z. (n.d.). *KONVERSI ENERGI*.
- 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. (2023a). PELATIHAN MASYARAKAT DESA KEDUNG JERUK DALAM PEMILIHAN JENIS MATERIAL KAYU DAN PEMBUATAN MEDEL RUMAH TANGGA UNTUK MENINGKATKAN UMKM DESA. *JURNAL BUANA PENGABDIAN*, 5(1), 55–64.
- Nanda, R. A., & Dewadi, F. M. (2023b). SIMULASI STRESS ANALYSIS PADA MATA PAHAT KAYU UNTUK MELIHAT PENGARUH ERGONOMI PADA TUKANG MEDEL 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. (2023a). Using the MPX5500DP Sensor for Monitoring Microcontroller-Based HVAC Systems and IOT. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 8(1), 1–8.
- Nanda, R. A., Supriyanto, A., & Dewadi, F. M. (2023b). Using the MPX5500DP Sensor for Monitoring Microcontroller-Based HVAC Systems and IOT. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 8(1), 1–8.
- Nanda, R. A., Supriyanto, A., Dewadi, F. M., Jati, R. R., & Kurniawan, L. A. (2022). PERANCANGAN DAN PERAKITAN ELEKTRONIKA MIKROKONTROLER BERBASIS IOT UNTUK STUDI PENGUKURAN SISTEM HVAC. *BUANA ILMU*, 7(1), 43–55.
- Nanda, R. A., Supriyono, T., Ma'arof, R. A. R., & Dewadi, F. M. (2022). Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(2), 1–8.
- Santosa, I., Firdaus, A., Hidayat, R., Rusnoto, R., Wibowo, A., & Dewadi, F. M. (2022). The Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 3(1), 1–8.
- Setiawan, M. D., & Dewadi, F. M. (2022). Perancangan Panel Surya di Wilayah Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan demi Penghematan Energi Masyarakat. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 1(1), 22–27.
- Suhara, A., Dewadi, F. M., & Febrian, R. (2023). ANALISAPENGARUHPELUMASTERHADAPGESEKAN MENGGUNAKANMETODETINKEN LOAD. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 14–24.

- Suhara, A., Dewadi, F. M., & Hamdani, M. H. (2023). PENGARUH TEMPERATUR SUHU PADA PENGASAPAN TELUR BEBEK DI DESA KARYA BAKTI KECAMATAN BATUJAYA KABUPATEN KARAWANG. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 2511–2519.
- Supriyati, S., Elpisah, E., Jumiati, E., Rahayu, Y. P., Abolladaka, J., Jumri, J., Nasution, F. Z., Nazipawati, N., Shiddiq, M. H. A., & Ristiyana, R. (2022). *Pengantar Ilmu Ekonomi*.
- Wibowo, C., & Dewadi, F. M. (2022). DESIGN PRESSURE REDUCTION SYSTEM (PRS) UNTUK COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) KAPASITAS 30 NM³/H DALAM SISI TEKNIS DAN EKONOMIS. *TEKINFO*, 2(2 Juni), 60–65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M., & Al-Afgani, A. (2021). Implementasi Material Titanium Pada Sepeda Listrik Sebagai Rangka Yang Efisien. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 13–18.
- Wibowo, C., Setiawan, D., & Dewadi, F. M. (2021). IMPROVEMENT OF DRAINAGE AS ONE OF THE SOLUTIONS FOR FLOOD CONTROL IN RT 12 RW 06 CAKUNG PENGKILINGAN EAST JAKARTA. *International Journal of Engagement and Empowerment*, 1(3), 174–183.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B., & Dewadi, F. M. (2022). Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER*, 4(1 JUNI), 20–27.
- Wibowo, C., Surbakti, D., & Dewadi, F. M. (2022). REPAIR OF GARBAGE CARTS AS PART OF UPSTREAM SIDE WASTE MANAGEMENT IN THE PERMATA MILLAN JAKARTA ENVIRONMENT: PERBAIKAN GEROBAK SAMPAH SEBAGAI BAGIAN DARI MANAJEMEN SAMPAH SISI HULU DI LINGKUNGAN PERMATA PENGKILINGAN JAKARTA. *Indonesian Journal of 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 2

PENJUMLAHAN VOLUM DAN MASSA

Oleh Karyadi

2.1 Pendahuluan

Volum dan massa adalah dua konsep penting dalam fisika dan ilmu pengetahuan alam secara umum (Nanda & Dewadi, 2023a). Keduanya merupakan ukuran yang digunakan untuk menggambarkan dan mengukur karakteristik fisik suatu benda atau objek (Dewadi, 2023e). Volum mengacu pada ukuran ruang tiga dimensi yang diisi oleh suatu objek (Kusmiwardhana *et al.*, 2023). Ini menggambarkan seberapa besar objek tersebut dalam hal panjang, lebar, dan tinggi (Dewadi, 2021c). Volum digunakan untuk mengukur seberapa banyak ruang yang dapat diisi atau diduduki oleh suatu objek (Nanda, Karyadi, *et al.*, 2023). Satuan umum untuk volum dalam sistem metrik adalah meter kubik (m^3), tetapi juga dapat menggunakan satuan seperti sentimeter kubik (cm^3) atau liter (L) (Dewadi, 2021a). Massa, di sisi lain, mengacu pada jumlah materi yang terkandung dalam suatu objek (Dewadi, Nanda, *et al.*, 2023). Massa mengukur seberapa banyak materi yang ada dalam objek tersebut (Mubina & Amir, 2022). Massa tidak dipengaruhi oleh perubahan bentuk atau ukuran objek, tetapi lebih berkaitan dengan jumlah partikel (atom atau molekul) yang ada di dalamnya. Satuan umum untuk massa dalam sistem metrik adalah kilogram (kg), tetapi gram (g) juga sering digunakan dalam skala yang lebih kecil (Nanda, Supriyono, Ma'arof, *et al.*, 2022).

Baik volum maupun massa memiliki peran penting dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan (Dewadi, Kiswanto, *et al.*, 2022). Dalam fisika, kedua konsep ini digunakan dalam hukum-hukum tentang kekekalan massa dan volum (Muhammad *et al.*, n.d.). Dalam

kimia, volum dan massa digunakan untuk menghitung konsentrasi larutan atau reaksi kimia (Lawi *et al.*, 2023). Dalam bidang teknik, volum dan massa penting dalam perancangan struktur dan perhitungan kekuatan material (Suhara, Dewadi, & Febrian, 2023).

Pemahaman yang baik tentang volum dan massa memungkinkan kita untuk mengukur, membandingkan, dan mempelajari karakteristik fisik suatu benda atau objek (Dewadi, 2023d). Dengan menggunakan konsep-konsep ini, kita dapat menggambarkan dan menganalisis sifat-sifat materi dengan lebih baik, memahami perubahan yang terjadi, dan merancang sistem yang lebih efisien dan efektif (Khoirudin *et al.*, 2021).

2.2 Pengertian Volum

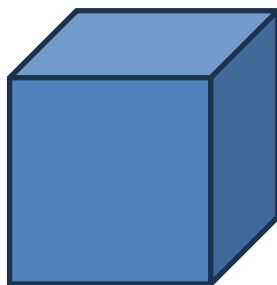
Volum adalah ukuran atau besaran yang digunakan untuk menggambarkan ruang tiga dimensi yang diisi oleh suatu objek atau benda (Dewadi, 2023c). Ini mengukur seberapa besar ruang yang dapat ditempati atau diduduki oleh suatu objek dalam tiga dimensi (Dewadi, 2022). Secara sederhana, volum dapat dianggap sebagai "ukuran berapa banyak ruang yang diisi oleh sebuah objek" (Mulyadi & Dewadi, 2021).

Misalnya, ketika kita mengisi sebuah gelas dengan air, volum adalah ukuran berapa banyak air yang dapat diisi ke dalam gelas tersebut (Dewadi, 2023a). Volum dapat dinyatakan dalam berbagai satuan, tergantung pada konteks pengukuran yang digunakan (Farahdiansari *et al.*, 2021).

Dalam sistem metrik, satuan umum untuk volum adalah meter kubik (m^3) (Dewadi, n.d.). Namun, untuk objek yang lebih kecil, satuan seperti sentimeter kubik (cm^3) atau milimeter kubik (mm^3) sering digunakan (Supriyati *et al.*, 2022). Satuan lain yang umum digunakan adalah liter (L), yang setara dengan 1.000 cm^3 atau 1 desimeter kubik (dm^3) (Murtalim *et al.*, 2020).

Pengukuran volum biasanya melibatkan pengukuran panjang, lebar, dan tinggi suatu objek atau benda (C. Wibowo, Sukarno, *et al.*, 2022). Rumus-rumus matematika dan geometri digunakan untuk menghitung volum berbagai bentuk geometris, seperti kubus, balok, tabung, kerucut, dan bola (Nanda, Karyadi, Dewadi, *et al.*, 2022).

Pemahaman yang baik tentang volum penting dalam berbagai bidang, termasuk fisika, kimia, rekayasa, arsitektur, dan ilmu pengetahuan alam secara umum (Dewadi *et al.*, 2021). Volum membantu kita dalam perencanaan, perhitungan, dan pemodelan objek atau benda dalam ruang tiga dimensi, serta dalam memahami dan menganalisis sifat-sifat fisiknya (Dewadi *et al.*, 2019a). Berikut akan dijelaskan mengenai visualisasi volum pada gambar 2.1 (Dewadi, 2023b).



Gambar 2.1. Visualisasi Volum (Nanda, Supriyanto, *et al.*, 2023a)

2.3 Pengertian Massa

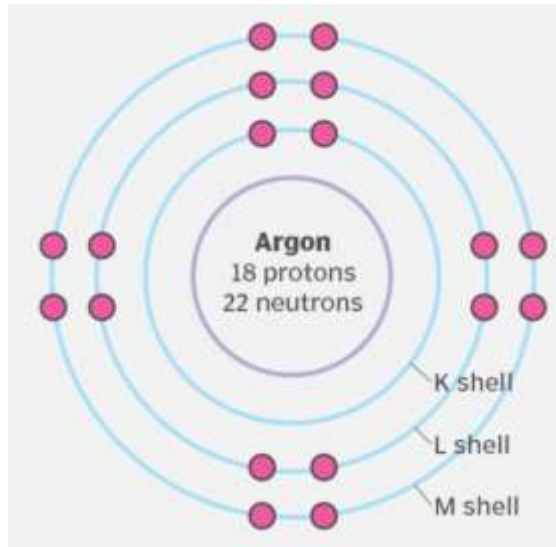
Massa tidak secara langsung bergantung pada suatu atom tunggal (Asari *et al.*, 2016). Massa atom tunggal sangat kecil dan diukur dalam satuan massa atom atau massa atom relatif (*atomic mass unit, amu*) (Nanda, Supriyanto, *et al.*, 2023b). Massa atom tunggal adalah jumlah massa proton dan neutron di inti atom, sedangkan massa elektron yang mengelilingi inti sangat kecil sehingga dapat diabaikan dalam perhitungan massa atom (C.

Wibowo & Dewadi, 2022). Namun, jika kita berbicara tentang massa total suatu objek yang terdiri dari banyak atom, maka massa objek tersebut tergantung pada jumlah atom dan massa relatif masing-masing atom yang ada di dalamnya (Dewadi, Amir, et al., 2022). Massa suatu benda terdiri dari total massa partikel-partikel yang membentuknya (Dewadi, 2021b).

Massa atom atau massa relatif atom, seperti yang tercantum dalam tabel periodik, adalah perbandingan massa atom suatu unsur terhadap satuan massa atom relatif yang ditentukan sebagai $1/12$ massa atom karbon-12 (Dewadi & Ma'arof, 2022). Dengan demikian, massa atom atau massa relatif atom menyediakan informasi tentang seberapa berat atom relatif terhadap atom karbon-12 (Ma'arof *et al.*, n.d.).

Jadi, ketika kita berbicara tentang massa suatu objek, terdapat hubungan antara jumlah atom yang ada di dalamnya dan massa relatif masing-masing atom (Santosa *et al.*, 2022). Namun, perlu dicatat bahwa massa total objek juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti komposisi isotopik (rasio isotop yang berbeda dalam suatu unsur) dan adanya bahan tambahan yang mungkin ada di dalam objek tersebut (Dimiyati *et al.*, 2021).

Dalam kesimpulannya, massa objek yang terdiri dari banyak atom tergantung pada jumlah atom dan massa relatif masing-masing atom yang ada di dalamnya, sedangkan massa atom tunggal dalam tabel periodik merupakan perbandingan massa atom terhadap satuan massa atom relatif yang ditentukan sebagai $1/12$ massa atom karbon-12 (C. Wibowo, Dewadi, *et al.*, 2021). Berikut akan dijelaskan gambar atom pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Visualisasi Atom (Lutkevich, 2023)

2.4 Perbedaan Volum dan Massa

Secara umum, volum mengukur ruang yang diisi oleh objek, sedangkan massa mengukur jumlah materi dalam objek tersebut (Dewadi, Lillahulhaq, *et al.*, 2023). Kedua konsep ini penting dalam memahami sifat-sifat fisik dan karakteristik benda (Abbas *et al.*, 2021). Volum adalah ukuran ruang yang diisi oleh sebuah objek (Nanda & Dewadi, 2023b). Ini menggambarkan seberapa besar objek tersebut dalam tiga dimensi (C. Wibowo, Setiawan, *et al.*, 2021).

Massa adalah jumlah materi dalam suatu objek (S. H. Wibowo *et al.*, 2023). Ini mengukur seberapa banyak materi yang terkandung dalam objek tersebut (C. Wibowo, Surbakti, *et al.*, 2022). Satuan umum untuk volum adalah meter kubik (m^3) dalam sistem metrik (Dewadi, Maryadi, *et al.*, 2022). Namun, satuan lain seperti sentimeter kubik (cm^3) dan liter (L) juga sering digunakan (Dewadi *et al.*, 2019b).

Satuan umum untuk massa adalah kilogram (kg) dalam sistem metrik. Satuan lain seperti gram (g) dan ton (t) juga digunakan secara luas (Mulyadi *et al.*, 2023). Volum dapat diukur dengan menggunakan rumus dan pengukuran geometri seperti panjang, lebar, dan tinggi, atau dengan menggunakan alat pengukur khusus seperti tabung ukur atau gelas ukur (Lulut Alfaris *et al.*, 2022).

Massa dapat diukur menggunakan timbangan atau neraca. Ada berbagai jenis timbangan yang dapat digunakan untuk mengukur massa dengan presisi yang berbeda (Setiawan & Dewadi, 2022). Volum dapat direpresentasikan oleh dimensi tiga objek, seperti panjang, lebar, dan tinggi atau bentuk geometris lainnya seperti bola, tabung, atau kubus (Della *et al.*, 2022).

Massa tidak memiliki representasi fisik yang jelas, tetapi itu terkait dengan jumlah materi dalam objek (Dewadi, 2016). Semakin banyak materi yang terkandung, semakin besar massa objek tersebut (Nanda, Supriyanto, Dewadi, *et al.*, 2022). Volum dapat berubah jika ada perubahan dalam dimensi atau bentuk objek, seperti pemadatan atau perluasan (Nanda, Karyadi, & Dewadi, 2022). Massa tidak berubah kecuali ada penambahan atau pengurangan materi dalam objek (Jakariya *et al.*, 2023).

Secara umum, volum mengukur ruang yang diisi oleh objek, sedangkan massa mengukur jumlah materi dalam objek tersebut (Dewadi, Jati, *et al.*, 2023). Kedua konsep ini penting dalam memahami sifat-sifat fisik dan karakteristik benda (Nanda & Dewadi, 2022).

2.5 Soal-Soal Latihan

1. Sebuah tabung memiliki jari-jari sebesar 5 cm dan tinggi 10 cm. Jika sebuah bola logam dengan jari-jari 3 cm dimasukkan ke dalam tabung tersebut, berapa volum dan massa total tabung beserta bola logam tersebut? Diketahui

- densitas logam adalah $7,8 \text{ g/cm}^3$ (Dewadi & Sigalingging, 2021).
2. Sebuah silinder memiliki jari-jari 4 cm dan tinggi 10 cm. Jika ditambahkan dengan sebuah kerucut yang memiliki jari-jari dasar 3 cm dan tinggi 6 cm, berapa volum dan massa total silinder beserta kerucut tersebut? Diketahui densitas kedua objek tersebut adalah $2,5 \text{ g/cm}^3$ (Dewadi, 2023f).
 3. Sebuah kerucut memiliki jari-jari dasar 6 cm dan tinggi 10 cm. Jika sebuah silinder dengan jari-jari 4 cm dan tinggi 12 cm ditambahkan ke kerucut tersebut, berapa volum dan massa total kerucut beserta silinder tersebut? Diketahui densitas keduanya adalah 3 g/cm^3 (Dewadi & Supriyanto, 2021).
 4. Sebuah bola memiliki jari-jari 10 cm. Jika ditambahkan dengan sebuah kubus dengan panjang rusuk 6 cm, berapa volum dan massa total bola beserta kubus tersebut? Diketahui densitas bola adalah 2 g/cm^3 dan densitas kubus adalah $1,5 \text{ g/cm}^3$ (Suhara, Dewadi, & Hamdani, 2023).
 5. Sebuah tabung memiliki jari-jari 9 cm dan tinggi 20 cm. Jika sebuah kerucut dengan jari-jari dasar 5 cm dan tinggi 12 cm dimasukkan ke dalam tabung tersebut, berapa volum dan massa total tabung beserta kerucut tersebut? Diketahui densitas keduanya adalah $2,5 \text{ g/cm}^3$ (Fathan et al., 2022).

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.
- Asari, A., Anam, A. C., Litamahuputty, J. V., Dewadi, F. M., Prihastuty, D. R., Syukrilla, W. A., Murni, N. S., & Sukwika, T. (2016). *Pengantar Statistika*. PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA.
- Della, R. H., Nugroho, B. S., Agustiawan, A., Simarmata, N., Fitriyani, E., Dewadi, F. M., Musfirah, M., & Sitorus, E. (2022). *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Society 5.0*.
- Dewadi, F. M. (n.d.). BAB 1 RUANG LINGKUP TEKNIK PENDINGIN DAN PENGKONDISIAN. *TEKNIK PENDINGIN TEKNIK PENDINGIN TEKNIK PENDINGIN DAN TATA UDARA DAN TATA UDARA DAN TATA UDARA*, 1.
- 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. (2021c). Pengaruh Analisis Manajemen Stres Kinerja Perusahaan terhadap Pencapaian Kinerja Karyawan Optimal berdasarkan Pengalaman Pemuda Kreatif Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Bukit Tinggi, IAIN Bukit Tinggi*.

- Dewadi, F. M. (2022). BAB III SAMPLING DALAM ANALISIS. *Konsep Dasar Kimia Analitik*, 40.
- Dewadi, F. M. (2023a). BAB 2 KARAKTERISTIK KENDARAAN. *Rekayasa Lalu Lintas*, 19.
- Dewadi, F. M. (2023b). BAB 3 GEJALA KERADIOAKTIFAN UNSUR-UNSUR TIDAK STABIL. *Kimia Dasar II*, 47.
- Dewadi, F. M. (2023c). BAB 3 KRITERIA PEMILIHAN BAHAN TEKNIK DALAM APLIKASINYA. *MEKANIKA TEKNIK II*, 36.
- Dewadi, F. M. (2023d). BAB VII RANDOM VARIABLE. *PENGANTAR STATISTIKA*, 87.
- Dewadi, F. M. (2023e). PELATIHAN MASYARAKAT DESA KEDUNG JERUK DALAM PEMILIHAN JENIS MATERIAL KAYU DAN PEMBUATAN MEUBEL RUMAH TANGGA UNTUK MENINGKATKAN UMKM DESA. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 1429–1438.
- Dewadi, F. M. (2023f). PENGARUH PEMANASAN BBM CAMPURAN DENGAN PARAMETER PEMANASAN SUHU TERHADAP DENSITAS BAHAN BAKAR. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 105–113.
- Dewadi, F. M., Amir, A., Rahman, M. A., Ramdani, R. T., & Suciyantri, Q. P. (2022). Upaya Meminimalisir Kadar Debu Pada Laboratorium Teknik Mesin dengan Vertical Garden. *Praxis: Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat Dan Jejaring*, 4(2), 128–135.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D., & Maulana, E. (2019a). Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *Journal Online Jaringan Pengajian Seni Bina (JOJAPS)*, 14, 129–138.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D., & Maulana, E. (2019b). *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., Kiswanto, L. Y., & Ghifary, A. M. (2022). KKN dengan Mode Hybrid di Wilayah Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 1(1), 1–8.
- 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., Ma'arof, R. A. R., & Saputra, O. A. (2021). Coordinated Way to Deal With Schooling Educational Plan Based on Current Industry Needs in Indonesia. *On Advancing and Redesigning Education*.
- 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.
- Dimiyati, 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.
- Kusmiwardhana, D., Dewadi, F. M., Soeprapto, A. C., Abdur, Y. A., & Bramantyo, R. (2023). Pemanfaatan membuat Civitas Akademika Politeknik Negeri Jakarta PSDKU Pekalongan Prodi Manufaktur di Museum Batik Pekalongan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Mandiri (JPMM)*, 1(02), 94–101.
- Lawi, A., Bora, M. A., Arifin, R., Andriani, M., Jumeno, D., Rasyid, A., Dewadi, F. M., Didin, F. S., Oktavera, R., & Santoso, H. (2023). *Ergonomi Industri*. Global Eksekutif Teknologi.

- Lulut Alfaris, S. T., Dewadi, F. M., Abdul Munim, S. E., Taba, H. T., Khasanah, S. P., Kom, M., Maing, C. M. M., PFis, M., Susano, A., & Kom, S. (2022). *MATRIKS DAN RUANG VEKTOR*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Lutkevich, B. (2023, May 8). *Atom*. TechTarget.
- Ma'arof, R. A. R., Saputra, O. A., Dewadi, F. M., & Noor, A. (n.d.). *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*.
- Mubina, F., & Amir, A. (2022). Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur. *Jurnal Mekanik Terapan*, 3(1), 18–25.
- Muhammad, A. C., Santoso, H., Purnama, Y. A., Parenden, D., Dewadi, F. M., Dewi, R. P., Winardi, B., & Lillahulhaq, Z. (n.d.). *KONVERSI ENERGI*.
- 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. (2023a). PELATIHAN MASYARAKAT DESA KEDUNG JERUK DALAM PEMILIHAN JENIS MATERIAL KAYU DAN PEMBUATAN MEBEL RUMAH TANGGA UNTUK MENINGKATKAN UMKM DESA. *JURNAL BUANA PENGABDIAN*, 5(1), 55–64.
- Nanda, R. A., & Dewadi, F. M. (2023b). 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. (2023a). Using the MPX5500DP Sensor for Monitoring Microcontroller-Based HVAC Systems and IOT. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 8(1), 1–8.
- Nanda, R. A., Supriyanto, A., & Dewadi, F. M. (2023b). Using the MPX5500DP Sensor for Monitoring Microcontroller-Based HVAC Systems and IOT. *REM (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, 8(1), 1–8.

- Nanda, R. A., Supriyanto, A., Dewadi, F. M., Jati, R. R., & Kurniawan, L. A. (2022). PERANCANGAN DAN PERAKITAN ELEKTRONIKA MIKROKONTROLER BERBASIS IOT UNTUK STUDI PENGUKURAN SISTEM HVAC. *BUANA ILMU*, 7(1), 43–55.
- Nanda, R. A., Supriyono, T., Ma'arof, R. A. R., & Dewadi, F. M. (2022). Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(2), 1–8.
- Santosa, I., Firdaus, A., Hidayat, R., Rusnoto, R., Wibowo, A., & Dewadi, F. M. (2022). The Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 3(1), 1–8.
- Setiawan, M. D., & Dewadi, F. M. (2022). Perancangan Panel Surya di Wilayah Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan demi Penghematan Energi Masyarakat. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations (JECI)*, 1(1), 22–27.
- Suhara, A., Dewadi, F. M., & Febrian, R. (2023). ANALISAPENGARUHPELUMASTERHADAPGESEKAN MENGGUNAKANMETODETINKEN LOAD. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 14–24.
- Suhara, A., Dewadi, F. M., & Hamdani, M. H. (2023). PENGARUH TEMPERATUR SUHU PADA PENGASAPAN TELUR BEBEK DI DESA KARYA BAKTI KECAMATAN BATUJAYA KABUPATEN KARAWANG. *PROSIDING KONFERENSI NASIONAL PENELITIAN DAN PENGABDIAN UNIVERSITAS BUANA PERJUANGAN KARAWANG*, 3(1), 2511–2519.
- Supriyati, S., Elpisah, E., Jumiati, E., Rahayu, Y. P., Abolladaka, J., Jumri, J., Nasution, F. Z., Nazipawati, N., Shiddiq, M. H. A., & Ristiyana, R. (2022). *Pengantar Ilmu Ekonomi*.

- Wibowo, C., & Dewadi, F. M. (2022). DESIGN PRESSURE REDUCTION SYSTEM (PRS) UNTUK COMPRESSED NATURAL GAS (CNG) KAPASITAS 30 NM³/H DALAM SISI TEKNIS DAN EKONOMIS. *TEKINFO*, 2(2 Juni), 60–65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M., & Al-Afgani, A. (2021). Implementasi Material Titanium Pada Sepeda Listrik Sebagai Rangka Yang Efisien. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 2(1), 13–18.
- Wibowo, C., Setiawan, D., & Dewadi, F. M. (2021). IMPROVEMENT OF DRAINAGE AS ONE OF THE SOLUTIONS FOR FLOOD CONTROL IN RT 12 RW 06 CAKUNG PENGKILINGAN EAST JAKARTA. *International Journal of Engagement and Empowerment*, 1(3), 174–183.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B., & Dewadi, F. M. (2022). Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER*, 4(1 JUNI), 20–27.
- Wibowo, C., Surbakti, D., & Dewadi, F. M. (2022). REPAIR OF GARBAGE CARTS AS PART OF UPSTREAM SIDE WASTE MANAGEMENT IN THE PERMATA MILLAN JAKARTA ENVIRONMENT: PERBAIKAN GEROBAK SAMPAH SEBAGAI BAGIAN DARI MANAJEMEN SAMPAH SISI HULU DI LINGKUNGAN PERMATA PENGKILINGAN JAKARTA. *Indonesian Journal of 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

MOMEN GAYA DAN MOMEN KOPEL

Oleh Eka Sriwahyuni

3.1 Pendahuluan

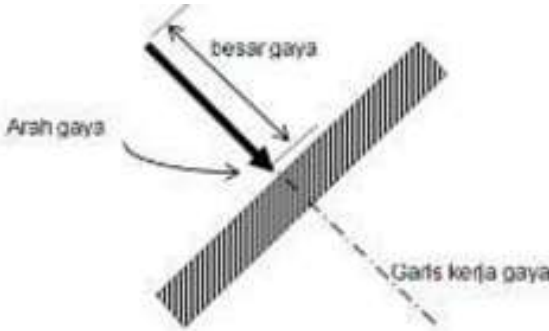
Salah satu konsep paling mendasar yang membantu kita menjelaskan bagaimana benda-benda di alam semesta berinteraksi satu sama lain adalah konsep gaya. Pemahaman tentang gaya memungkinkan kita untuk memahami dasar-dasar interaksi materi dan gerakan, dari gaya yang bekerja pada partikel subatomik hingga kekuatan gravitasi yang mengatur pergerakan planet. Konsep momen gaya dan momen kopel sangat penting untuk memahami bagaimana benda-benda bergerak dan berputar karena dunia penuh dengan gerakan dan interaksi fisik. Ini berlaku untuk gerakan sederhana seperti membuka pintu hingga fenomena kompleks seperti rotasi planet di alam semesta.

3.2 Gaya

Ikatan apa pun yang dapat menyebabkan sebuah benda dengan massa tertentu mengalami perubahan gerak, baik dalam bentuk arah maupun konstruksi geometris, disebut gaya dalam ilmu fisika. Dengan kata lain, gaya dapat membuat benda dengan massa tertentu bergerak. Perubahan kecepatan dapat terjadi dari posisi benda yang diam menjadi bergerak, dari posisi benda yang mengalami peningkatan kecepatan (berakselerasi), atau dari posisi benda yang mengalami perlambatan.

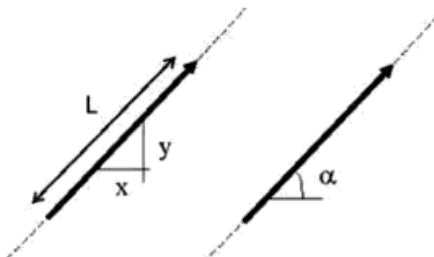
Gaya memiliki arah dan besaran, sehingga termasuk dalam besaran vektor. Gaya dilambangkan dengan symbol huruf **F** dengan satuan pengukur gaya adalah Newton (disimbolkan dengan **N**).

Disebutkan sebelumnya bahwa gaya adalah besaran vektor. Selain memiliki besaran, gaya juga bergantung pada arahnya. Oleh karena itu, gaya harus memiliki besar, arah, dan titik kerjanya. Gaya yang bekerja pada benda memiliki besar, yang ditunjukkan dengan panjang panah pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Analogi Gaya
(Sumber: Imani, Rafki 2021)

Misalkan kita menggambar gaya dengan besarnya adalah L Newton secara grafis. Dalam asumsi di mana $1\text{ N} = 1\text{ cm}$, panjang gaya adalah 4 cm untuk 4 N , dan arah gayanya adalah $\tan y/x$ atau besarnya sudut α derajat perhatikan pada gambar berikut:



Gambar 3.2. Besaran Gaya
(Sumber: Imani, Rafki 2021)

Alat yang disebut dinamometer atau neraca pegas digunakan untuk mengukur gaya. Tenaga diperlukan untuk melakukan gaya. Semakin banyak gaya yang harus dilakukan, semakin banyak tenaga yang harus dikeluarkan.

Hukum gerak Isaac Newton menjelaskan konsep gaya. Karyanya mencantumkan tiga istilah hukum. Sebuah benda yang tetap diam atau bergerak dengan laju seragam di dalam garis lurus akan tetap dalam keadaan seperti itu sampai ada gaya yang diterapkan padanya, menurut prinsip hukum Newton pertama (Halliday, 1984). Hukum Kelembaman atau hukum Newton I dituliskan:

$$\sum F = 0 \text{ atau Resultan Gaya (kg m/s}^2\text{)} \quad 3.1$$

Hukum Kedua menyatakan bahwa percepatan yang terjadi karena perubahan dari kecepatan pada suatu benda akan sebanding dengan resultan gaya atau jumlah gaya yang bekerja pada benda tersebut dan akan berbanding terbalik dengan massa benda atau gaya neto pada benda sebanding dengan hasil kali massa benda dan percepatannya (Halliday, 1984). Berikut ini rumus Hukum Newton II yaitu:

$$\sum F = m \cdot a \quad 3.2$$

Keterangan: F = gaya (N)

m = massa benda (kg)

a = percepatan (m/s^2)

Hukum ketiga Newton, jika sebuah benda diberi gaya oleh benda lain, gaya yang diberikan oleh kedua benda tersebut sama dengan gaya benda pertama, atau ketika dua benda berinteraksi gaya pada kedua benda yang berasal dari satu sama lain selalu sama magnitudonya dan berlawanan arah (Halliday, 1984). Teori aksi dan reaksi ini akan memberikan penjelasan. Menjelaskan mengapa gaya cenderung mengubah bentuk suatu benda, terlepas dari

apakah gaya tersebut akan menyebabkan benda tersebut bergerak atau tidak. Berikut ini rumus Hukum Newton III yaitu:

$$F_{aksi} = F_{reaksi} \qquad 3.3$$

Dua Benda dikatakan berinteraksi bila mereka mendorong atau menarik satu sama lain yaitu ketika gaya bekerja pada tiap benda karena benda lain.

3.3 Momen Gaya

Momen gaya memiliki dampak besar pada gerakan rotasi suatu benda. Semakin besar momen gaya yang diberikan pada benda, semakin besar rotasi yang dihasilkan. Momen gaya adalah hasil perkalian antara gaya yang bekerja pada suatu benda dan jaraknya dari sumbu rotasi (Dwi Putra, 2022). Gaya yang dikenakan pada sebuah benda tidak hanya dapat membuat benda bergerak translasi pada arah kerjanya, tetapi juga dapat membuat benda bergerak memutar (rotasi) terhadap sumbu putarnya. Sumbu putar benda dapat berupa titik atau garis sejajar dengan garis kerja gaya tersebut.

Perkalian gaya dan lengan gaya di suatu sumbu putar yang menyebabkan suatu benda berputar atau berotasi disebut momen gaya. Torsi adalah istilah lain untuk momen gaya. Karena besaran ini termasuk besaran vektor, arah sangat diperhitungkan. Oleh karena itu, perkalian silang antara gaya dan lengan gayanya berlaku karena besaran vektor (R. Soemono, 1978). Lambang momen gaya fisik adalah τ (dibaca tau). Newton meter (Nm) adalah satuan momen gaya. Beberapa definisi momen gaya atau torsi:

1. Torsi adalah gaya pada sumbu putar yang dapat menyebabkan benda bergerak melingkar atau berputar.
2. Torsi juga disebut momen gaya.

3. Gaya yang menyebabkan benda bergerak melingkar atau berputar dengan putaran jam dianggap positif, dan sebaliknya.
4. Setiap gaya yang arahnya tidak berpusat pada sumbu putar atau titik massa benda disebut memberikan momen gaya atau torsi.

Momen gaya adalah konsep yang sangat penting dalam fisika dan memiliki dampak luas dalam berbagai aspek kehidupan. Memahami konsep momen gaya membantu kita merancang dan mengoptimalkan sistem yang melibatkan gerakan rotasi.

3.3.1 Arah Momen Gaya

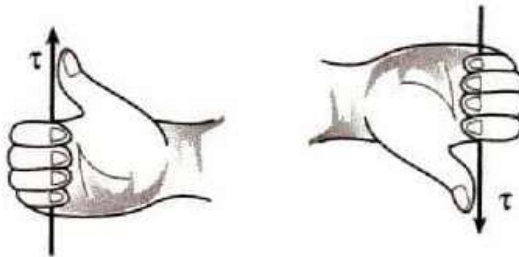
Arah momen gaya (*torque*) adalah hal penting dalam memahami bagaimana suatu gaya yang bekerja pada suatu benda akan mempengaruhi gerakan rotasinya. Arah momen gaya ditentukan oleh hukum tangan kanan (*right-hand rule*) dalam konteks rotasi. Berdasarkan arah putaran jarum jam, terdapat dua konvensi yang umum digunakan untuk menggambarkan arah momen gaya berdasarkan arah putaran jarum jam atau berlawanan arah putaran jarum jam Konvensi 1: Arah Putaran Jarum Jam (Positif) dan Berlawanan Arah Putaran Jarum Jam (Negatif).

Dalam konvensi ini, momen gaya yang menyebabkan rotasi berlawanan arah dengan jarum jam dianggap sebagai momen negatif, sedangkan momen gaya yang menyebabkan rotasi searah dengan jarum jam dianggap sebagai momen positif.

Misalnya, jika Anda membayangkan sumbu rotasi pada suatu benda dan Anda menerapkan gaya yang menghasilkan rotasi berlawanan arah dengan jarum jam, maka momen gayanya dianggap sebagai momen negatif. Sebaliknya, jika gaya yang diterapkan menghasilkan rotasi searah dengan jarum jam, maka momen gayanya dianggap sebagai momen positif.

Konvensi 2: Arah Putaran Jarum Jam (Negatif) dan Berlawanan Arah Putaran Jarum Jam (Positif). Dalam konvensi ini,

momen gaya yang menyebabkan rotasi searah dengan jarum jam dianggap sebagai momen negatif, sedangkan momen gaya yang menyebabkan rotasi berlawanan arah dengan jarum jam dianggap sebagai momen positif. Aturan tangan kanan, juga dapat menentukan arah momen gaya. Perhatikan gambar dibawah:



Gambar 3.3. Arah Momen Gaya
(Sumber: Imani, Rafki 2021)

Penting untuk memahami arah momen gaya karena ini mempengaruhi bagaimana suatu benda akan merespons gaya tersebut dan bergerak rotasi. Dengan mengamati orientasi tangan kanan dan arahnya, Anda dapat dengan mudah menentukan arah momen gaya yang dihasilkan oleh suatu gaya tertentu.

3.3.2 Rumus Momen Gaya

Moment gaya (τ), juga dikenal sebagai momen gaya yang mempengaruhi titik tersebut secara matematis. Torsi atau momen gaya dirumuskan dengan:

$$\tau = r \cdot F \qquad 3.4$$

Keterangan: τ = momen gaya (Nm)

r = jarak (m)

F = gaya (N)

Aturan perkalian silang antara vektor r dan vektor F yang akan menghasilkan besar momen gaya dirumuskan sebagai berikut:

$$\tau = r \cdot F \cdot \sin \theta \quad 3.5$$

Keterangan: θ = sudut antara r dan F ($^\circ$)

Momentum gaya juga dikenal sebagai hasil kali antara gaya dan lengan momen (l), karena $r \cdot \sin \theta$ adalah lengan momen (l):

$$\tau = F \cdot l \quad 3.6$$

Keterangan: l = lengan momen (m)

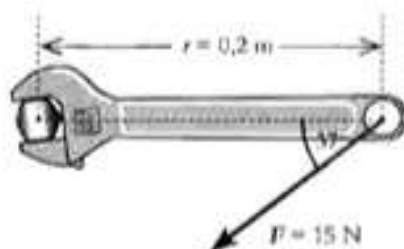
Jika garis kerja gaya (F) tegak lurus atau membentuk sudut 90° terhadap (r), rumus momen gaya dapat disingkat seperti berikut:

$$\tau = r \cdot F$$

(karena $\sin 90^\circ = 1$)

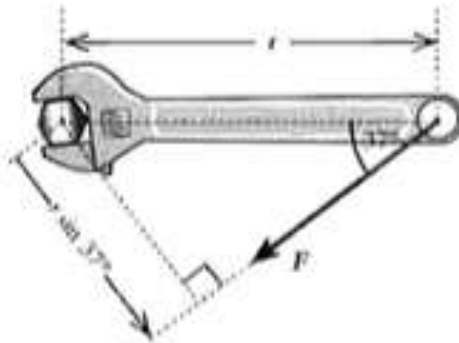
Contoh Soal :

1. Gaya yang dikerjakan oleh kunci inggris dengan panjang 0,2 m pada sebuah sekrup adalah 15 N seperti pada gambar berikut. Tentukanlah momen gaya atau torsi yang akan diakibatkan oleh gaya tersebut.



Gambar 3.4. Momen Gaya pada Kunci Inggris

Penyelesaian :



Gambar 3.5. Arah Momen Gaya pada Kunci Inggris

Dimana : $r = 0,2 \text{ m}$

$F = 15 \text{ N}$

$\theta = 37^\circ$

Maka,

$$\tau = r \cdot F \cdot \sin \theta$$

$$\tau = (0,2) \cdot (15) \cdot \sin (37^\circ)$$

$$\tau = 1,8 \text{ Nm}$$

Jadi momen gaya atau torsi yang akan diakibatkan oleh gaya tersebut adalah 1,8 Nm.

2. Hitunglah torsi yang dihasilkan oleh motor dengan spindel berputar pada 2000 RPM dan menghasilkan daya atau tenaga sebesar 3 kW.

Penyelesaian :

Dimana: Daya, $P = 3 \text{ kW} = 3000 \text{ W}$

Putaran, $n = 2000 \text{ Rev/min} = 2000/60 \text{ Rev/s}$

Maka,

$$\begin{aligned} \tau &= P / 2\pi n \\ &= 3000 / (2\pi \times (1000/60)) \end{aligned}$$

$$= 3000 \times 60 / (2\pi \times 2000)$$

$$\tau = 14,33 \text{ Nm}$$

Jadi momen gaya atau torsi yang dihasilkan oleh motor dengan spindel berputar adalah 14,33 Nm.

3.3.3 Contoh Momen Gaya dalam Kehidupan Sehari-hari

Di bawah ini adalah beberapa contoh situasi gaya yang sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari, antara lain:

1. Momen gaya (Torsi) pada gagang pintu

Saat membuka pintu, Anda menerapkan momen gaya pada pegangan pintu. Semakin jauh pegangan dari engsel, semakin kecil gaya yang dibutuhkan untuk membuka pintu.



Gambar 3.6. Momen gaya pada gagang pintu

Faktor yang mempengaruhi besar momen gaya yaitu gaya F dan panjang lengan gaya (d) terhadap titik poros.

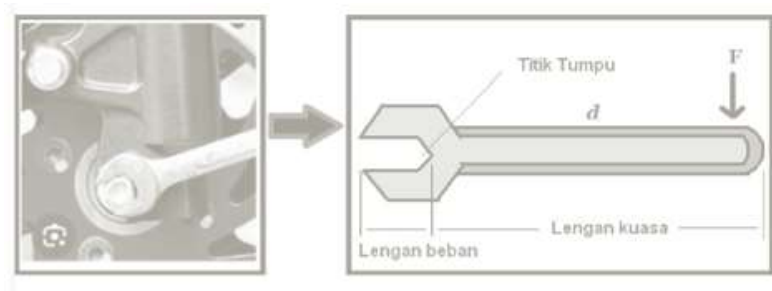
2. Momen gaya (Torsi) pada Engsel Pintu

Daun pintu dihubungkan ke kusen melalui engsel pintu. Ketika pintu terbuka atau tertutup, kusen berfungsi sebagai poros.

3. Momen gaya (Torsi) pada kunci inggris

Kunci Inggris digunakan untuk melonggarkan baut dan mur. Rahang kunci Inggris dijepitkan pada baut atau mur yang akan dibuka saat dibuka. Untuk memulai kegiatan,

montir akan menekan bagian handle kunci Inggris. Menggunakan kunci inggris untuk mengencangkan baut memanfaatkan momen gaya. Semakin panjang pegangan kunci, semakin besar momen gaya yang dapat dihasilkan.



Gambar 3.7. Momen gaya pada kunci inggris

4. Momen gaya (Torsi) pada Mekanika Otomotif

Dalam mesin kendaraan, momen gaya diterapkan pada poros engkol untuk mengubah gerakan naik-turun piston menjadi gerakan rotasi yang menggerakkan kendaraan. Dan pada industri, momen gaya digunakan untuk merancang mesin dan peralatan yang melibatkan gerakan rotasi, seperti mesin produksi dan alat pemotong industri.

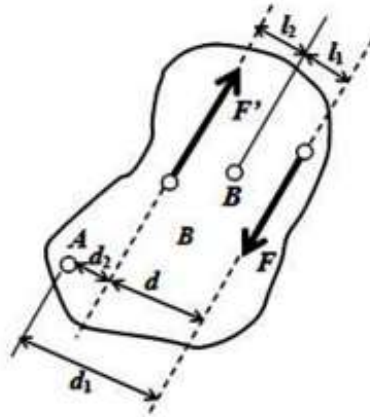
3.4 Momen Kopel

Momen kopel adalah konsep penting dalam fisika yang berkaitan dengan gerakan rotasi benda (Kastiawan, 2013). Konsep ini memiliki aplikasi luas dalam berbagai bidang, dari astronomi hingga ilmu material. Sebuah kopel terbentuk apabila dua gaya yang bekerja pada sebuah benda memiliki besar yang sama dengan arah yang berbeda pada garis kerja yang sejajar. Momen kopel pada mesin merujuk pada gaya yang menyebabkan gerakan rotasi pada komponen mesin tertentu. Ini terjadi ketika gaya yang diterapkan pada suatu komponen melebihi tahanan atau inersia rotasinya (R. Soemono, 1978).

Momen kopel adalah besaran fisika yang mengukur seberapa besar benda berputar atau bergerak rotasi. Ini bergantung pada kecepatan sudut objek dan distribusi massa dari objek tersebut.

3.4.1 Rumus Momen Kopel

Momen kopel (kopel M) dibentuk oleh jumlah gaya yang membentuk kopel dikalikan dengan jarak setiap gaya terhadap sumbu putar.



Gambar 3.8. Momen Kopel
(Sumber: Imani, 2021)

Dua buah gaya, F dan F' , saling berlawanan dan sama besar, bekerja pada sebuah benda (Gambar 3.8), akan bernilai nol apabila digabungkan menjadi gaya tunggal. Sehingga pengaruh kedua gaya ini hanya cenderung untuk berotasi. Momen gabungan yang terjadi akibat kedua gaya ini terhadap titik A disebut dengan kopel M atau momen kopel. Dari Gambar 3.8 dapat diketahui di mana, $F = F'$

$$d = d_1 - d_2 \quad 3.8$$

dan kopel M yang terjadi bila sumbu putarnya di titik A adalah $M_A = Fd_1 - Fd_2$

$$M_A = F(d_1 - d_2)$$

$$M_A = Fd \quad 3.9$$

Hasil yang sama juga akan didapatkan jika momen ditinjau di titik B, di mana:

$$M_B = Fl_1 + Fl_2$$

$$M_B = F(l_1 + l_2)$$

$$M_B = Fl \quad 3.10$$

Di mana F adalah gaya yang bekerja pada benda dan d adalah jarak antar gayanya. Sesuai dengan perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa, di titik manapun ditinjau, kopel M dari sebuah benda akan mempunyai nilai yang sama. Dengan kata lain, besarnya kopel M (momen kopel) tidak tergantung pada sumbu putarnya (pusat momen), artinya besarnya kopel M akan tetap sama untuk setiap sumbu putar atau pusat momennya.

Arah momen kopel (M) adalah besaran vektor yang arahnya tegak lurus dengan bidang yang dibentuk oleh F dan d sebagai hasil dari perkalian silang. Penentuan arah momen kopel sesuai dengan aturan sekrup yang dipelajari untuk momentum sudut.

$$M = F.d \quad 3.11$$

Keterangan:

M = momen kopel (Nm)

F = gaya (N)

d = panjang lengan gaya (m)

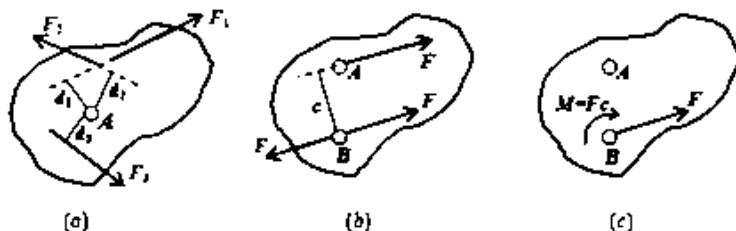
Arah M masuk ke dalam bidang gambar jika gaya F dan d berada dalam bidang gambar dan arah perputarannya searah dengan jarum jam; sebaliknya, jika arah perputaran berlawanan dengan jarum jam, maka arah M akan keluar dari bidang gambar.

Momen kopel termasuk dalam besaran vektor karena memiliki besaran dan arah. Perhitungan momen kopel harus didasarkan pada kecenderungan benda saat berputar. Sifat dasar

momen kopel adalah negatif jika benda berputar searah putaran jarum jam dan positif jika berputar berlawanan dengan arah putaran jarum jam.

3.4.2 Pemisahan Suatu Gaya menjadi Gaya dan Momen Kopel

Gaya biasanya mempengaruhi benda dengan dua cara: kecenderungan bergerak translasi (mendorong dan menarik) dan kecenderungan berotasi. Untuk menghindari perubahan momen yang disebabkan oleh perubahan posisi, gaya pengganti yang sama, sejajar, dan momen kopel dapat digunakan untuk menggantikan pengaruh ganda tersebut. Dengan kata lain, gaya yang bekerja pada sebuah benda di suatu titik aksi dapat dipindahkan ke titik aksi lain di luar garis kerjanya asalkan titik aksi yang baru tersebut ditambahkan dengan momen kopelnya (Imani, 2021).



Gambar 3.9. Pemindahan gaya menjadi gaya dan kopel
(Sumber: Imani, 2021)

Pemisahan suatu gaya menjadi gaya dan momen kopel adalah konsep yang relevan dalam analisis fisika dan teknik. Dalam analisis ini, suatu gaya yang bekerja pada suatu benda dapat dipecah menjadi dua komponen: gaya translasi dan momen kopel rotasi. Gaya translasi adalah gaya yang bekerja pada suatu benda dan menyebabkannya mengalami perpindahan atau translasi, yaitu perubahan posisi secara langsung. Gaya translasi tidak menyebabkan benda berputar terhadap sumbu tertentu. Gaya ini diukur dalam satuan Newton (N). Misalnya, ketika Anda

mendorong sebuah kotak di lantai, gaya translasi yang Anda terapkan menyebabkan kotak tersebut bergerak secara lurus. Momen kopel adalah gaya yang bekerja pada suatu benda dan menyebabkannya berputar terhadap sumbu rotasi. Momen kopel diukur dalam satuan Newton-meter (Nm). Saat momen kopel diterapkan pada suatu benda, benda tersebut akan mengalami gerakan rotasi, seperti membuka pintu atau menggerakkan roda kendaraan. Momen kopel tergantung pada jarak dari sumbu rotasi, kekuatan gaya, dan sudut di antara vektor gaya dan vektor jarak.

3.4.3 Peran Momen Kopel dalam Mesin

Pemahaman tentang momen kopel membantu insinyur merancang mesin dengan performa dan efisiensi yang lebih baik. Dengan mengoptimalkan distribusi momen kopel, mesin dapat diatur agar memberikan daya maksimal pada kecepatan tertentu

Penggerak Rotasi: Momen kopel digunakan untuk menggerakkan bagian-bagian berputar dalam mesin, seperti poros engkol pada mesin pembakaran dalam atau roda gigi pada mesin industri.

Konversi Energi: Dalam mesin pembakaran dalam, momen kopel yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar menggerakkan poros engkol, mengubah energi kimia menjadi energi mekanik.

Transmisi Daya: Momen kopel memainkan peran penting dalam mengalirkan daya dari satu komponen mesin ke komponen lainnya, seperti transmisi yang memindahkan momen kopel dari mesin ke roda kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- Dwi Putra, A.P.A.Saepuddin. 2022. *Mekanika Teknik 1 (Statika Struktur)*. Kabupaten Bantul: CV. Jejaka Pustaka.
- Halliday, D.R.R. 1984. *Fisika Universitas I*. Jakarta: Erlangga.
- Imani, Rafki. 2021. *Pengetahuan Dasar Statika dan Analisis Gaya-Gaya dalam Lainnya*. Kota Malang: Ahlimedia Press.
- Kastiawan, I.Made. 2013. *Statika Struktur*. Yogyakarta: Andi Press.
- R. Soemono. 1978. *Statika I*. Bandung: ITB.

BAB 4

KESETIMBANGAN PADA BENDA KAKU

Oleh Luluk Edahwati

4.1 Pendahuluan

Benda KAKU yang kemudian disebut dengan Benda TEGAR adalah benda yang bentuknya tetap ketika mengalami gaya (F) tertentu karena benda tegar memiliki banyak partikel yang saling berhubungan dan membentuk suatu dimensi khusus. Jadi dalam hal ini benda kaku merupakan sekumpulan titik yang membentuk sistem partikel, sehingga benda tidak hanya mengalami gerakan perpindahan tetapi memiliki potensi untuk berputar. Benda tegar akan melakukan gerak translasi apabila tepat mengenai titik fokus gravitasi dari gaya yang diberikan ($\Sigma F = 0$).

Titik berat merupakan titik dimana benda akan berada dalam kesetimbangan (tidak berputar) dimana kecepatan sudut (ω) = 0 dan hanya bergerak dengan kecepatan konstan (V). Ketika gerak translasi dan rotasi bergerak bersamaan pada objek maka titik berat akan berfungsi sebagai pusat perputaran serta lintasan translasinya. Dari uraian diatas maka benda tegar tersebut telah mengalami kesetimbangan.

4.2 Kesetimbangan Benda Tegar

Pengertian

Merupakan kondisi di mana momentum suatu benda bernilai nol. Artinya, mula-mula tidak bergerak sampai pada waktu yang ditentukan atau diberikan suatu gaya tertentu. Dengan kata

lain sebuah benda dalam keadaan berkesetimbangan ketika jumlah gaya dan momen sama dengan nol.

Biasanya, kesetimbangan terjadi ketika :

1. objek tetap (statis), misalnya : struktur bangunan, jembatan, pelabuhan, dan sebagainya.
2. Pergerakan benda secara linier (dinamik), misalnya : gerak meteor dalam ruang hampa, pergerakan kereta api, elektron mengorbit di sekitar inti, dan lain-lain.

4.2.1 Rumus Kesetimbangan Benda Tegar

Rumus keseimbangan benda tegar harus memenuhi syarat dimana resultan momen gaya sama dengan 0 sedangkan besarnya momen gaya (torsi) sebagai berikut:

$$\tau = F r \sin \theta$$

dimana τ = momen gaya (torsi) (Nm)

F = gaya yang bekerja pada benda (N)

r = jarak dari titik tangkap terhadap poros (m)

θ = sudut yang dibentuk oleh gaya F dengan jarak r

4.2.2 Syarat Kesetimbangan Benda Tegar

Kesetimbangan translasi dan rotasi yang terjadi pada benda secara bersamaan setelah diberi gaya, maka syarat yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut.

1. Jumlah gaya yang bekerja pada benda pada sumbu x ($\sum F_x = 0$) dan y ($\sum F_y = 0$) atau ($\sum F = 0$)
2. Total torsi (τ) yang diberikan terhadap benda ($\sum \tau = 0$)

Contoh :

Akrobatik menggunakan tongkat panjang sambil berdiri di atas tali. Karena pemain ini memegang tongkat tepat di tengah maka gravitasi tongkat di kedua sisinya sama. Kekuatan ini tentu

saja membuat gambaran kekuatan pada poros putaran (badan pemain senam) yang sama besar dengan arah berlawanan, menghasilkan kesetimbangan rotasi. Oleh karena itu membuat pemain senam lebih mudah berjalan di atas tali.



Gambar 4.1. Keseimbangan benda tegar
Sumber: Modul Pembelajaran Fisika

4.2.3 Konsep Dasar Kesetimbangan

Apabila partikel didalam benda berada dalam keadaan berkesetimbangan maka jumlah gaya yang bekerja pada partikel tersebut akan sama dengan nol. Akan tetapi jika dalam partikel tersebut terdapat 2 gaya yang sama besar, garis gayanya sama akan tetapi arahnya berlawanan, maka total gaya akan sama dengan NOL. Hal demikian menggambarkan bahwa partikel berada dalam berkesetimbangan.

Dari uraian diatas dapat dikatakan benda tegar dikatakan dalam keseimbangan apabila jumlah gaya yang bereaksi pada benda membentuk gaya / sistem gaya yang sama besar atau sama dengan nol.

4.3 Macam Keseimbangan Benda Tegar

Sebuah benda dikatakan dalam keadaan tidak bergerak jika tidak terdapat gaya maupun torsi yang diberikan. Dengan kata lain, jika jumlah gaya dan torsi $= 0$, maka benda dalam keadaan statis (diam). Akan tetapi tidak semua benda yang kita temui dalam kehidupan sehari-hari selalu berada dalam keadaan diam. Mungkin pada awalnya tidak bergerak, akan tetapi jika diberi gangguan (misalnya ditiup angin) benda pasti bergerak. Persoalannya, apakah setelah benda bergerak, benda tersebut akan kembali lagi ke posisinya semula atau bahkan tidak kembali. Hal ini sangat bergantung pada jenis keseimbangan yang diterima benda tersebut.

Jika sebuah benda statis diberi gaya tentu benda akan bergerak (berpindah tempat). Kemungkinan yang terjadi setelah benda bergerak yaitu :

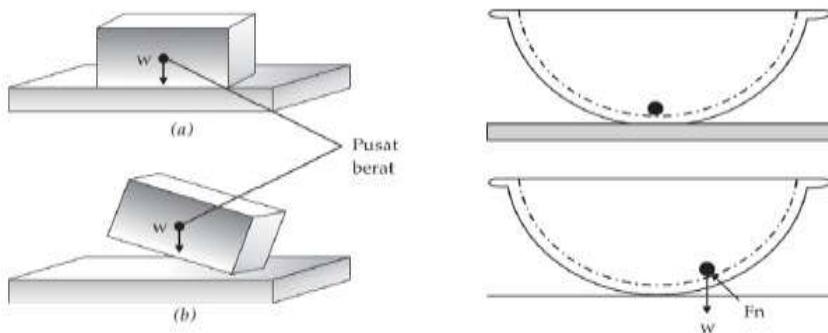
1. Benda tetap kembali ke tempat asalnya,
2. Jarak objek dari tempat semula lebih jauh lagi,
3. Objek tetap berada di tempat yang baru.

Kembalinya benda ke tempat semula setelah bergerak benda dapat dikatakan berada dalam **keseimbangan stabil (mantap)** (peluang ke 1). Jika setelah bergerak benda berada lebih jauh lagi dikatakan benda dalam **keseimbangan labil** atau **tidak stabil (goyah)** (kemungkinan ke 2). Demikian seterusnya apabila selesai bergerak, ternyata tetap berada pada kedudukannya yang baru, maka dapat dikatakan bahwa benda tersebut berada dalam **keseimbangan netral (indefereen)** (kemungkinan no 3).

4.3.1 Keseimbangan Stabil

Benda dikatakan berada dalam keseimbangan stabil apabila benda akan kembali ketempat semula setelah bergerak, akibat dari efek torsi yang muncul setelah benda bergerak. Secara umum apabila titik berat benda berada di bawah titik tumpu, maka benda selalu berada dalam keseimbangan stabil. Akan tetapi apabila titik

berat benda berada di atas titik tumpu, kesetimbangan benda menjadi relatif. Dalam proses ini benda dapat berada dalam kesetimbangan stabil atau labil. Keseimbangan stabil (benda masih bisa bergerak kembali ke posisi semula) dikatakan maksimum apabila titik berat tepat berada di atas titik tumpu. Hal ini dikarenakan gaya normal pengganti gravitasi masih terdapat pada bidang kontak, sehingga torsi yang diberikan gravitasi dapat mendorong benda kembali ke posisi semula. Ketika pusat gravitasi melewati titik tumpu, dengandemikian besarnya torsi menyebabkan pergerakan benda menjadi lebih jauh lagi.

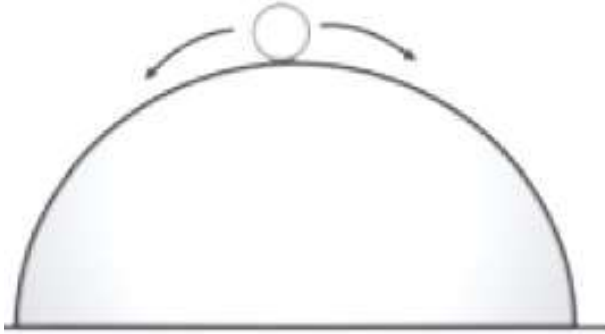


Gambar 4.2. Kesetimbangan Stabil
Sumber : Dwi. S. Palupi, dkk. 2009

4.3.2 Keseimbangan labil (goyah)

Keseimbangan labil terjadi jika benda tidak bias kembali ke posisi semula saat gangguan pada benda dihilangkan bahkan gangguan tersebut makin meningkat.

Contohnya pada bagian atas mangkok yang terbalik diletakkan kelereng. Pada saat kelereng diberi sedikit gangguan, tentu kelereng akan jatuh serta jauh dari tempat asal.



Gambar 4.3. Keseimbangan Labil
 Sumber : Dwi. S. Palupi, dkk. 2009

4.3.3 Keseimbangan Netral (Indeferen)

Keseimbangan netral suatu Objek apabila benda digerakkan maka benda akan tetap tidak bergerak di tempat yang baru (benda tidak kembali ke tempat semula namun benda juga tidak bergerak lebih jauh dari tempat asal mulanya).

Contoh keseimbangan netral: meletakkan kelereng di atas lantai. Ketika kelereng diberi gangguan / gaya, maka letaknya akan bergeser. Namun titik pusat gravitasi tidak akan berpindah ke arah sumbu y.

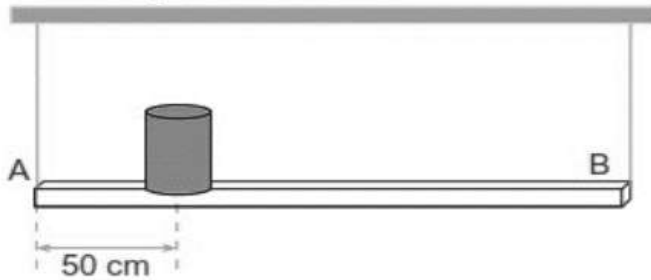


Gambar 4.4. Keseimbangan Netral
 Sumber : Bambang Haryadi 2009

Contoh soal:

Berapakah besarnya tegangan tali pada kawat B jika menggunakan 2 kawat baja untuk menyangga batang horizontal

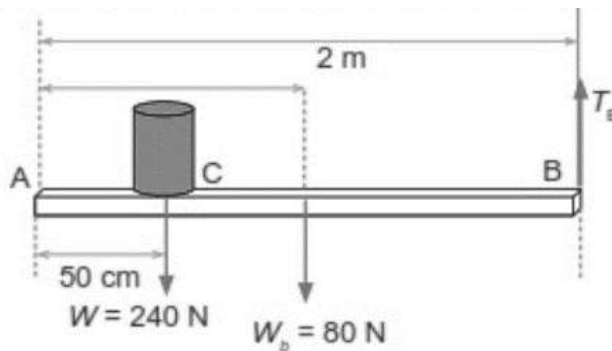
seberat 80 Newton dengan panjang 2 m. silinder seberat 240 N diletakkan sejauh 50 cm dari ujung kawat A (lihat gambar 4.5).



Gambar 4.5. Ilustrasi soal
Sumber : modul pembelajaran fisika

Penyelesaian :

Dari gambar 4.5 terlebih dahulu digambarkan gaya-gayanya dengan menggunakan analisis vektor, dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.6. Uraian gaya
Sumber : modul pembelajaran fisika

Sebagai benda yang mengalami gaya adalah batang AB dimana terdapat gaya berat silinder, berat batang, berikut tegangan tali dalam arah vertikal.

Titik A bertindak sebagai poros dengan demikian $\sum F = 0$

$$-W(AC) - W_b \left(\frac{1}{2} AB \right) + T_b(AB) = 0$$

$$[-240(0.5)] - 80(1) + T_b(2) = 0$$

$$(-120 - 80) + T_b(2) = 0$$

$$2(T_b) = 200$$

$$T_b = 100 \text{ N}$$

Besarnya tegangan tali pada kawat B = 100 N

Dari contoh soal diatas dapat digunakan sebagai dasar dalam menghitung gaya-gaya yang bekerja pada benda, baik yang diketahui besarnya maupun tidak. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut perlu :

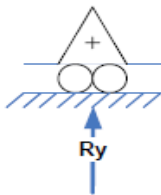
1. Menggambarkan diagram benda bebas
2. Menggambarkan sketsa bentuk garis-garis pada benda yang sedang terisolasi dari sekelilingnya

Namun sebelum menggambarkan diagram benda bebas, maka perlu diketahui gaya-gaya yang bekerja pada benda tegar / kaku, yaitu gaya penumpu, gaya eksternal, dan gaya berat.

4.4 Tumpuan

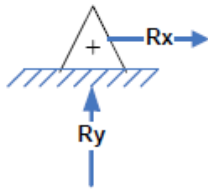
Untuk menjaga kesetimbangan suatu benda maka benda tersebut perlu diberikan tumpuan. Beberapa jenis pembejana yang umum digunakan dalam suatu konstruksi.

1. Tumpuan Jenis Roll



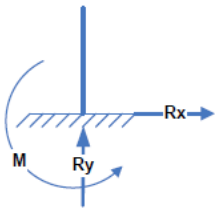
- Reaksi yang diberikan ke arah vertikal ($R_y = F_y$)
- Gaya horisontal (F_x) = 0.
- Besarnya momen = 0
- Jika diberi gaya horisontal, akan bergerak/menggeling karena sifat roll

2. Tumpuan Sendi (Engsel)



- Dapat menerima 2 reaksi gaya :
a) arah vertikal (F_y) b) arah horizontal (F_x)
- Momen (M) = 0
- Jika diberi momen, akan berputar karena sifat dari sendi

3. Tumpuan Jepit



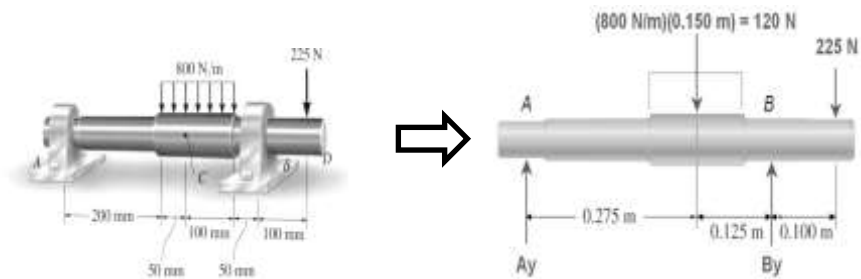
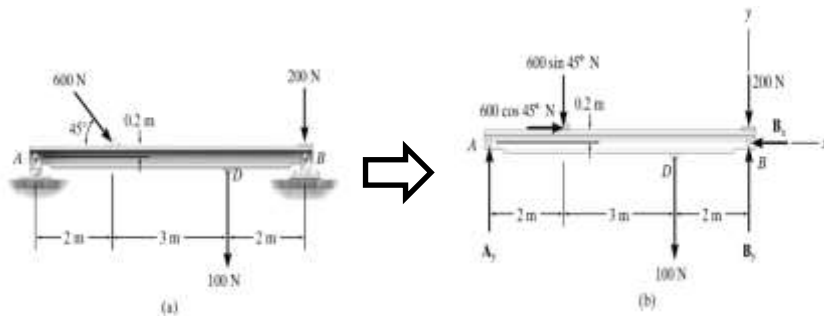
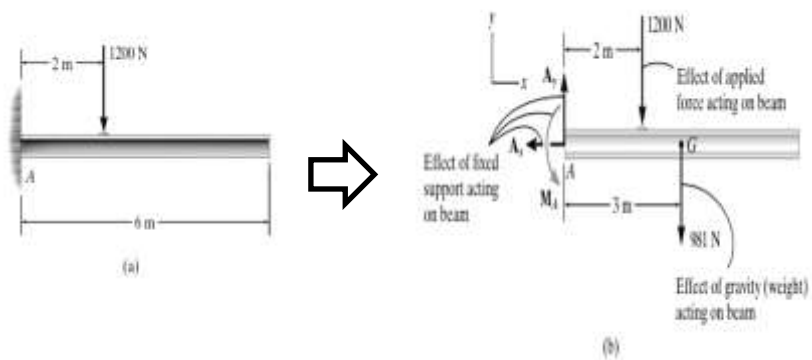
- Dapat menerima semua reaksi: a) secara vertikal (F_y) b) gaya horizontal (F_x) c) momen (M)
- Diperkirakan tidak ada gerakan sama sekali

Sebelum melakukan analisa kesetimbangan, pembuatan diagram benda bebas dari benda tegar / kaku yang akan kita analisa tentu diperlukan. Diagram benda bebas adalah grafik yang menggambarkan gaya yang bekerja pada struktur partikel dalam keadaan bebas. Dalam perhitungan perlu menggambarkan grafik dari benda bebas guna membantu memahami keseimbangan gaya yang ditimbulkan. Lebih sederhananya penggambaran diagram benda bebas bertujuan untuk mengidentifikasi total *gaya yang bekerja pada setiap titik sambungan* berikut *gaya yang bekerja pada titik-titik tertentu*.

Tata cara menggambar diagram benda bebas :

1. Menggambar bentuk garis-garis gayanya
2. Jumlah gaya dan momen yang bekerja juga digambarkan
3. Mengidentifikasi masing-masing beban kemudian diberi satuan

Contoh ilustrasi diagram benda bebas :





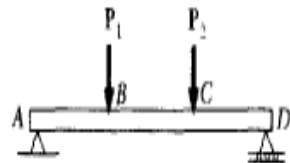
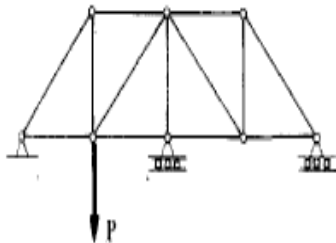
Gambar 4.7. Uraian diagram benda bebas
Sumber : Engineering Mechanics

4.5 Beban (Muatan)

Beban merupakan gaya yang diberikan pada benda serta dapat digolongkan menjadi jenis-jenisnya berdasarkan prinsip kerjanya;

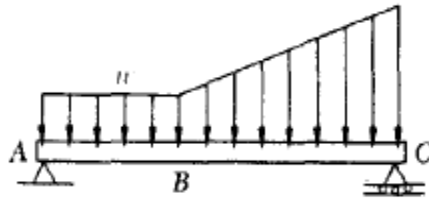
1. Beban titik / beban terpusat

Beban yang diberikan terhadap benda pada satu titik tertentu atau terpusat.



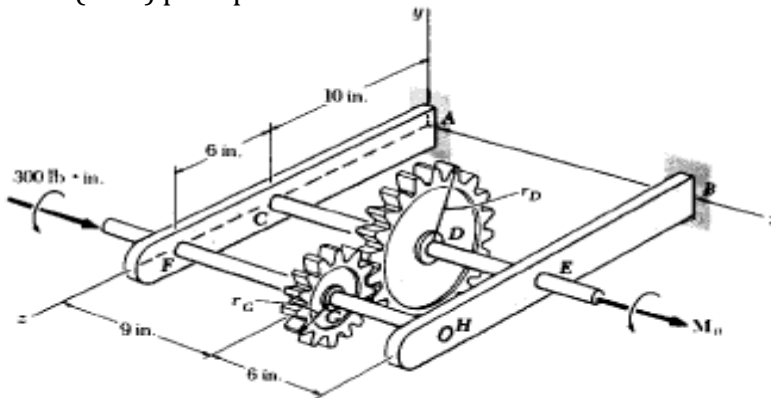
2. Beban terdistribusi merata.

Muatan yang diberikan tidak terfokus tetapi menyebar secara merata maupun tidak, misalnya beban angin, air dan tekanan.



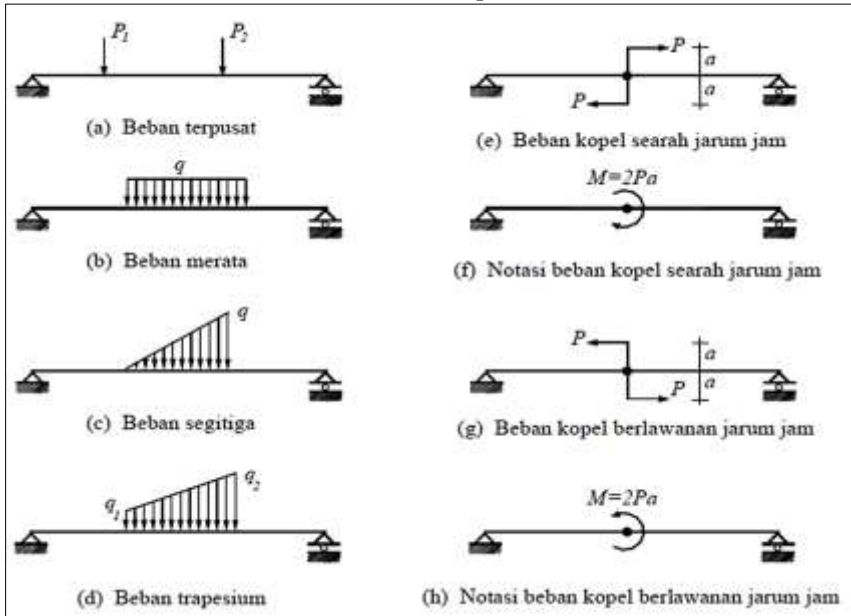
3. Beban momen.

Gaya momen bisa juga beban titik yang diberikan pada sebuah struktur yang dapat menimbulkan gaya momen seperti momen puntir (torsi) pada poros transmisi.



Beberapa contoh pembebanan ditunjukkan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1. Contoh pembebanan



Sumber : Engineering Mechanics

Sesungguhnya dalam suatu konstruksi, beban yang diterima merupakan gabungan dari beban. Misalnya jembatan dapat mengalami beban titik, beban bergerak, beban merata, beban angin dll. Dengan demikian seluruh beban yang mengenai struktur dihitung sebagai susunan **AKSI**, yang akan diteruskan ke tumpuan/peletakan sehingga **REAKSI** sama besar dengan aksi yang diterima, dengan demikian **AKSI** akan sama dengan **REAKSI**.

Dalam menganalisis suatu permasalahan dalam struktur dapat menggunakan beberapa diagram yang dapat membantu dalam menganalisis, diantaranya :

1. Diagram Ruang

Merupakan susunan yang menggambarkan keadaan yang sesungguhnya, contohnya skema, sketsa, ilustrasi.

2. Free Body Diagram

Diagram ini merupakan ilustrasi semua gaya yang bekerja pada partikel dalam keadaan bebas. Penggunaan diagram benda bebas sangat diperlukan untuk memahami dan menggambarkan keseimbangan gaya suatu partikel.

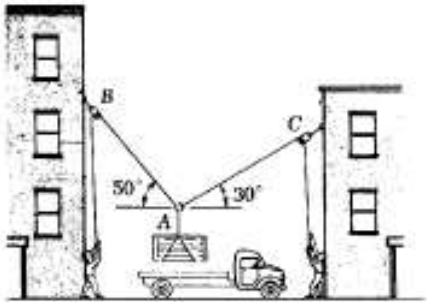


diagram ruang

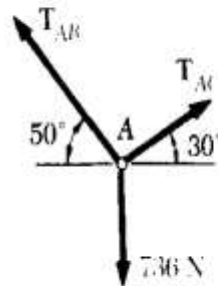


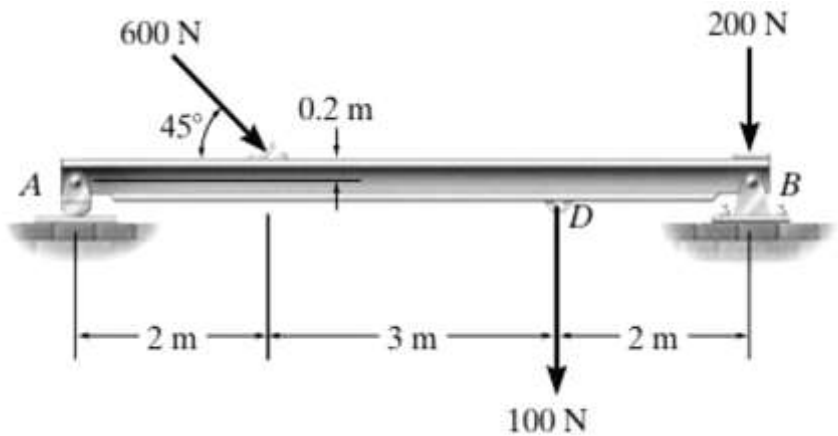
diagram benda bebas

Gambar 4.8. Diagram pendukung

Sumber : diktat kuliah

Contoh :

1. Sebuah balok diberi pin dan rocker dengan komposisi seperti pada gambar. Tentukan komponen reaksi horizontal dan vertikal pada balok yang disebabkan oleh pin pada titik B dan rocker dititik A. Berat balok di abaikan.



Gambar 4.9. Penggambaran dari contoh soal
Sumber : Engineering Mechanics

Penyelesaian :

Langkah pertama adalah menguraikan gaya yang diberikan pada balok, dari ilustrasi 8 dapat diuraikan gaya yang terjadi pada balok.

Menjumlahkan gaya vertikal,

$$\Sigma F_x = 0$$

$$600 \cos 45^\circ \text{N} - B_x = 0$$

$$B_x = 424 \text{ N}$$

Untuk menghitung A_y dapat menggunakan jumlah momen pada titik B;

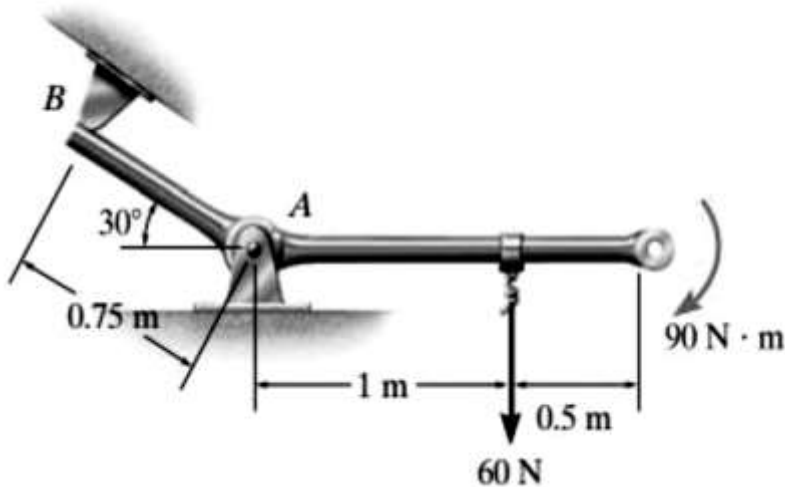
$$\Sigma M_B = 0 \quad 100 \text{ N} (2\text{m}) + (600 \sin 45^\circ \text{N})(5\text{m}) - (600 \cos 45^\circ \text{N})(0.2\text{m}) - A_y(7\text{m}) = 0$$

Jumlah y yang bekerja pada balok = $\Sigma F_y = 0$

$$319 \text{ N} - 600 \sin 45^\circ \text{N} - 100 \text{ N} - 200 \text{ N} + B_y = 0$$

$$B_y = 405 \text{ N}$$

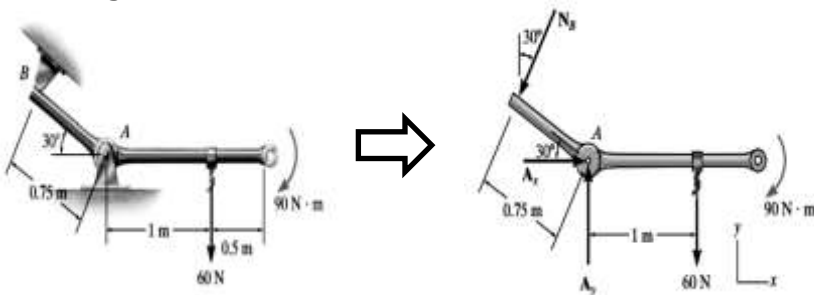
2. Sebuah batang memiliki tumpuan pin yang terhubung di A dan bertumpu pada tumpuan di B. Tentukan komponen reaksi horizontal dan vertikal di pin A.



Gambar 4.10. Penggambaran dari contoh soal
Sumber : Engineering Mechanics

Penyelesaian:

Pertama-tama menggambarkan gaya-gaya yang bekerja pada batang.



Gambar 4.11. Uraian gaya dari contoh soal
Sumber : Engineering Mechanics

Dengan menjumlahkan momen gaya dari A dapat dicari besarnya tumpuan B.

$$\Sigma M_A = 0; -90 \text{ N.m} - 60 \text{ N} (1\text{m}) + N_B (0,75\text{m})$$

$$\Sigma F_x = 0; A_x - 200 \sin 30^\circ \text{N} = 0$$

$$A_x = 100 \text{N}$$

$$\Sigma F_y = 0; A_y - 200 \cos 30^\circ \text{N} - 60 \text{N} = 0$$

$$A_y = 233 \text{ N}$$

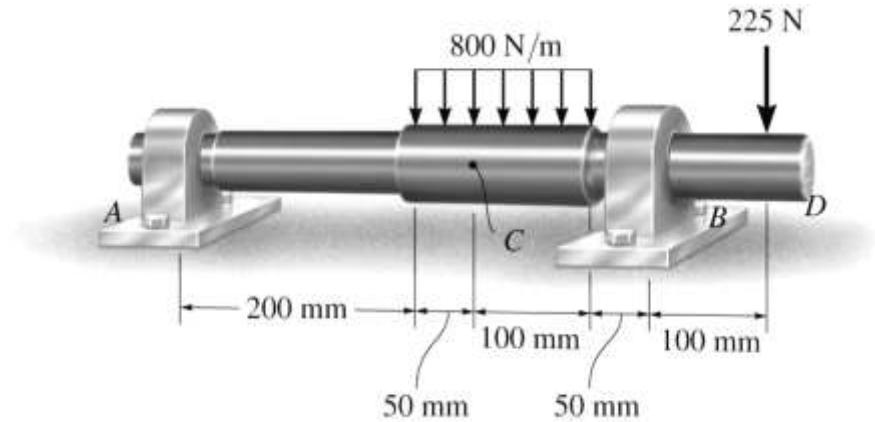
Cara menggambarkan total gaya yang ditimbulkan pada beban terdistribusi:

1. Menemukan titik fokus gravitasi dari beban yang disesuaikan
2. Jumlah gaya sama dengan daerah luasan yang disesuaikan
3. Gaya resultan terletak pada tanda gravitasi yang disebarluaskan

Dari ke tiga cara tersebut dapat di buat juga prosedur dalam menyelesaikan persoalan terhadap struktur yang dikenakan beban terdistribusi sebagai berikut :

- a. Selalu membuat *Free Body Diagram* nya serta perjanjian tandanya
- b. Menentukan jenis tumpuan
- c. Menggambar gaya-gaya reaksi yang terjadi
- d. Kalau terdapat beban terdistribusi, dicari terlebih dahulu besarnya gaya resultan berikut posisinya
- e. Menghitung besarnya gaya reaksi yang terdapat di tumpuan dengan menggunakan $\Sigma F_x = 0$; $\Sigma F_y = 0$ dan $\Sigma M_o = 0$ sebagai persamaan keseimbangan.

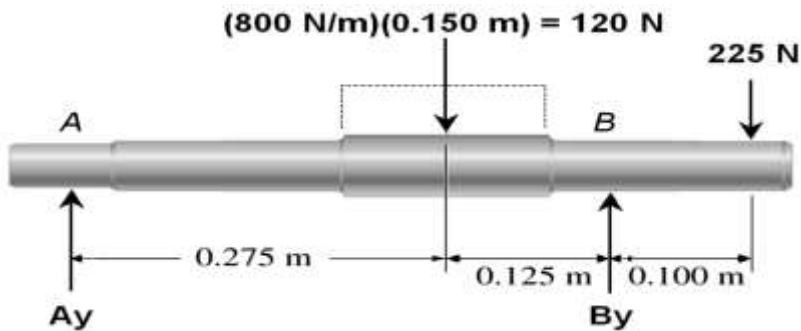
Contoh :



Dari gambar diatas tentukan besarnya reaksi tumpuannya.

Penyelesaian:

Dibuat dahulu Free Body Diagramnya



$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow 0,4\text{m}(B_y) - 120 \text{ N}(0,275\text{m}) - 225\text{N}(0,5\text{m})$$

$$B_y = \frac{120\text{N}(0,275\text{m}) + 225\text{N}(0,5\text{m})}{0,4\text{m}}$$

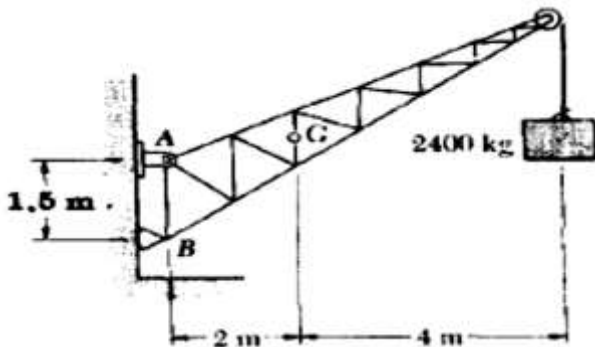
$$= 363,75\text{ N}$$

$A_y = -18,75\text{N}$ karena arahnya ke bawah maka

$$A_y = 18,75\text{N}$$

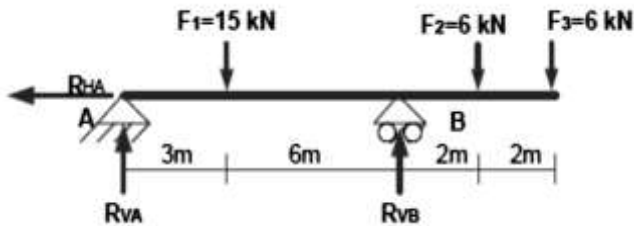
Latihan soal

1. Diketahui konstruksi dari crane digambarkan seperti gambar 4.12. A merupakan tumpuan sendi sedangkan titik B merupakan tumpuan roll. Beban crane 1000kg, pusat gravitasi G. Crane akan digunakan untuk memindahkan barang seberat 2400 kg. Berapakah besarnya reaksi di A dan B pada arah sejajar sumbu x dan horizontal.

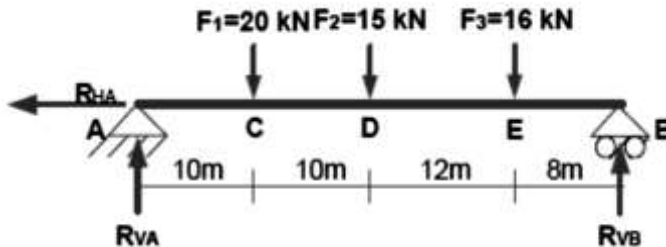


Gambar 4.12. Penggambaran crane

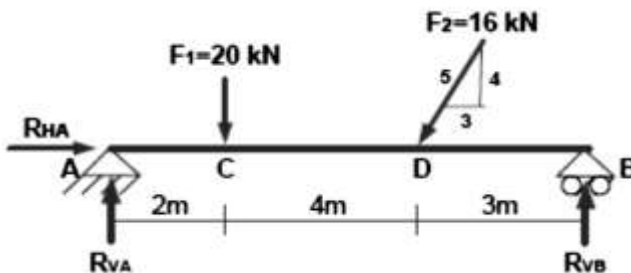
2. Berapakah besarnya reaksi dari A dan B pada struktur balok berikut. Diasumsikan bahwa R_{VA} dan R_{VB} mengarah keatas.



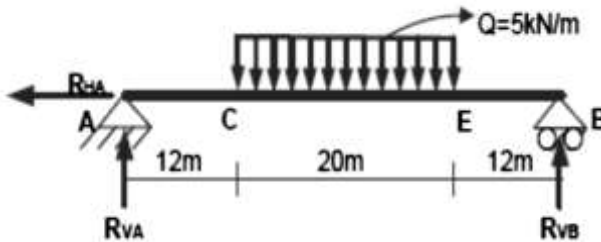
3. Jika dalam soal no.2 tumpuan yang digunakan sendi dan roll, balok menerima beban terpusat F_1 , F_2 dan F_3 vertikal ke bawah. Berapakah reaksi dari tumpuan A serta B.



4. Diketahui balok sederhana menggunakan tumpuan roll dan sendil. Beban yang diterima terpusat pada F_1 dan F_2 vertikal ke bawah. Posisi F_2 dibuat miring dengan perbandingan 3,4,dan 5. Tentukan reaksi dari tumpuan A juga tumpuan B.



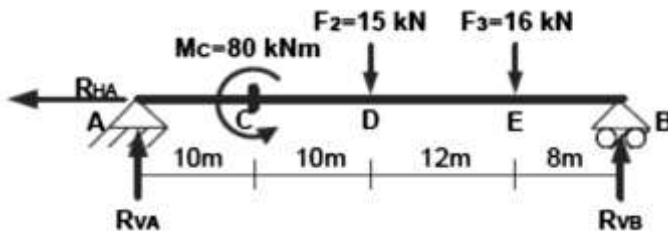
5. Konstruksi balok seperti berikut menggunakan tumpuan roll dan sendi.



Dalam konstruksi balok tersebut menerima beban vertikal kebawah sebesar $Q = 5 \text{ kN/m}$.

Ditanyakan berapa besarnya reaksi dari tumpuan A serta tumpuan B.

6. Apabila konstruksi balok dirubah sebagai berikut;



Diketahui jenis tumpuan yang digunakan adalah roll dan sendi, balok mendapat beban terpusat ke F_2 serta F_3 dan mempunyai momen beban (M_c) = 20 kNm (berlawanan arah jarum jam). Berapakah besarnya reaksi dari tumpuan A serta tumpuan B.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustinus Purna Irawan. 2007. 'Diktat Kuliah Mekanika Teknik (Statika Struktur) Disusun', (March).
- Hadi, S. 2016. *Statika Struktur*.
- Haryadi, B. 2009. *Fisika untuk SMA kelas XI*. Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
- HERRY SETYAWAN, S.Pd M. S. 2019. 'Dinamika Rotasi dan Keseimbangan Benda Tegar', *Direktorat Pembinaan SMA - Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan*, p. 46.
- Hibbeler, R. C. 2011. *mechanics of materials 8th edition*.
- Hibbeler, R. C. 2013. *Engineering Mechanics: Static, 13th edition*,. Pearson Prentice Hall.
- Palupi, D. S. 2009. *Fisika untuk SMA*.

BAB 5

HUBUNGAN GAYA DAN BEBAN

Oleh Indra Komara

5.1 Gaya dan Beban

Gaya dan beban adalah konsep yang saling terkait dalam konteks statika dan mekanika.

1. **Gaya:** Gaya adalah vektor yang menggambarkan interaksi fisik antara dua objek. Gaya dapat mendorong, menarik, atau merubah gerakan objek. Gaya dinyatakan dalam besaran dan arah tertentu. Contohnya, saat Anda mendorong pintu, Anda menerapkan gaya pada pintu.
2. **Beban:** Beban merujuk pada tumpuan fisik yang diterapkan pada suatu objek atau struktur. Beban dapat berupa gaya, massa, atau tekanan yang bekerja pada objek. Beban dapat menyebabkan perubahan bentuk, gerakan, atau respons struktur.

Hubungan antara gaya dan beban dapat dijelaskan sebagai berikut:

Gaya Sebagai Penyebab Beban: Gaya adalah apa yang menyebabkan terjadinya beban pada suatu objek. Ketika suatu gaya diterapkan pada objek, gaya tersebut menciptakan beban pada objek tersebut. **Beban Sebagai Akibat Gaya:** Beban adalah hasil dari gaya yang diterapkan pada suatu objek. Gaya-gaya yang bekerja pada objek menghasilkan beban-beban tertentu pada struktur atau bagian-bagian objek tersebut. Dalam analisis struktur, gaya dan beban seringkali dihubungkan melalui hukum-hukum fisika dan prinsip-prinsip mekanika. Untuk merancang dan menghitung kekuatan suatu struktur, Anda perlu mempertimbangkan gaya-gaya

yang bekerja pada struktur tersebut dan bagaimana beban-beban ini akan mempengaruhi keadaan fisik serta respons struktur terhadap beban tersebut.

Penting untuk memahami hubungan antara gaya dan beban agar dapat merancang struktur yang aman, efisien, dan dapat mengatasi beban-beban yang mungkin terjadi dalam kondisi penggunaan yang berbeda.

5.2 Gaya dan Keseimbangan

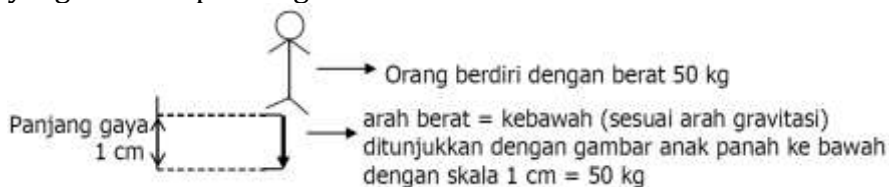
Gaya dan keseimbangan adalah konsep penting dalam fisika yang berkaitan dengan gerakan dan keadaan diam benda-benda. Gaya adalah pengaruh fisik yang dapat mengubah gerakan atau bentuk suatu benda. Gaya dapat mendorong benda agar bergerak, mengubah arah gerakan, atau merubah bentuk fisiknya. Gaya dinyatakan dalam satuan Newton (N). Contoh gaya meliputi dorongan, tarikan, gesekan, gravitasi, dan gaya listrik. Selanjutnya, keseimbangan merujuk pada kondisi di mana kekuatan atau gaya yang bekerja pada suatu benda saling mengimbangi satu sama lain sehingga benda tersebut tetap diam atau bergerak dengan kecepatan konstan. Keseimbangan dapat dibagi menjadi dua jenis:

1. Keseimbangan Statis (*Statis Equilibrium*): Keseimbangan statis terjadi ketika suatu benda dalam keadaan diam. Dalam keseimbangan statis, gaya-gaya yang bekerja pada benda saling mengimbangi sehingga benda tidak mengalami perubahan posisi atau gerakan.
2. Keseimbangan Dinamis (*Dynamic Equilibrium*): Keseimbangan dinamis terjadi ketika suatu benda bergerak dengan kecepatan konstan. Dalam keseimbangan dinamis, kekuatan yang bekerja pada benda menyebabkan gerakan tetap konstan, tanpa percepatan atau perlambatan.

Keseimbangan dan konsep gaya saling terkait erat dalam analisis fisika. Dalam konteks keseimbangan, penting bahwa total

gaya yang bekerja pada suatu objek harus berjumlah nol. Prinsip ini diperkuat oleh Hukum Newton Pertama, yang lebih dikenal sebagai Hukum Inersia. Hukum ini menyatakan bahwa suatu objek akan tetap dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan kecuali jika ada gaya eksternal yang mempengaruhi objek tersebut. Jika total gaya yang diterapkan pada objek bukan nol, maka objek tersebut akan mengalami percepatan, sesuai dengan Hukum Newton Kedua ($F = ma$). Dalam rumus ini, F adalah total gaya yang mempengaruhi objek, m adalah massa objek, dan a adalah percepatan yang dihasilkan.

Perlu diingat bahwa konsep gaya dan keseimbangan berlaku pada skala yang beragam, mulai dari benda-benda sehari-hari hingga pergerakan planet dan bintang di tata surya. Gambar 5.1 dalam konteks ini memberikan ilustrasi tentang konsep gaya pada seorang individu dengan massa 50 kg. Dalam gambar ini, 50 kg merujuk pada berat orang tersebut. Representasi visual menggambarkan gaya yang dihasilkan oleh berat orang tersebut, dengan arah ke bawah. Anak panah dalam gambar memiliki panjang 1 cm, dan ini merujuk pada berat 50 kg. Melalui gambar tersebut, konsep bahwa gaya yang dihasilkan oleh berat objek ini adalah sebuah vektor yang memiliki besar dan arah tertentu dapat diilustrasikan dengan jelas. Secara keseluruhan, pengertian gaya dan prinsip keseimbangan ini menjadi dasar dalam analisis fisika yang mencakup berbagai skala dan fenomena di dunia ini.

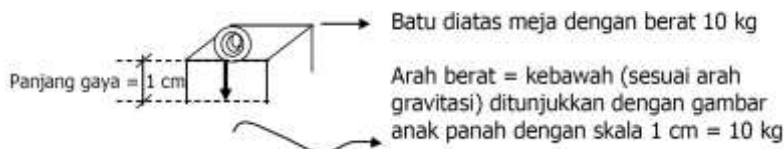


Gambar 5.1. Ilustrasi beban vertical orang

Pada Gambar 5.2, fokus berpindah pada beban yang dihasilkan oleh suatu benda, dalam hal ini adalah batu. Gaya yang

dihasilkan oleh batu yang menumpu di atas meja adalah 10 kg. Gaya ini bergerak ke arah bawah, dan representasi visualnya terlihat dalam bentuk anak panah dengan panjang 1 cm. Dalam konteks ini, panjang 1 cm pada anak panah tersebut merepresentasikan gaya sebesar 10 kg. Gambar 5.2 mengilustrasikan konsep ini secara visual, memberikan gambaran tentang bagaimana gaya yang dihasilkan oleh batu mempengaruhi meja di bawahnya.

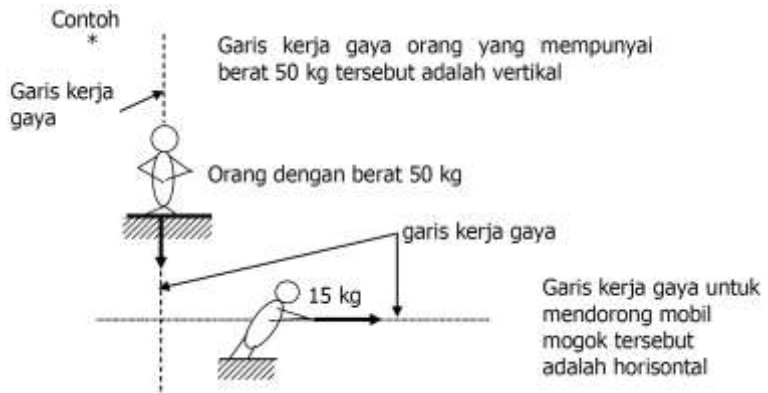
Selanjutnya, Gambar 5.3 memberikan gambaran lain mengenai konsep gaya, kali ini dalam konteks dorongan yang dilakukan oleh seorang individu. Dalam ilustrasi ini, gaya yang dihasilkan oleh orang tersebut memiliki besaran 15 kg. Gaya ini diterapkan untuk mendorong mobil yang mengalami masalah, dan arah dorongannya menuju ke sisi kanan. Representasi visual dari gaya ini juga menggunakan anak panah dengan panjang 1 cm, yang mana 1 cm dalam ilustrasi ini setara dengan gaya sebesar 15 kg. Gambar 5.3 memberikan pemahaman visual mengenai bagaimana seorang individu memberikan dorongan pada mobil yang mogok, serta implikasi dari gaya yang diterapkan pada mobil tersebut.



Gambar 5.2. Ilustrasi beban vertical batu



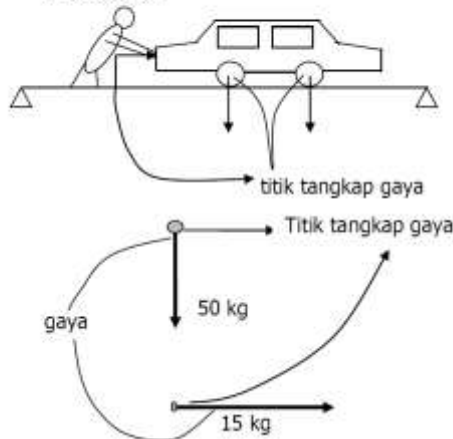
Gambar 5.3. Ilustrasi beban horizontal dari dorongan



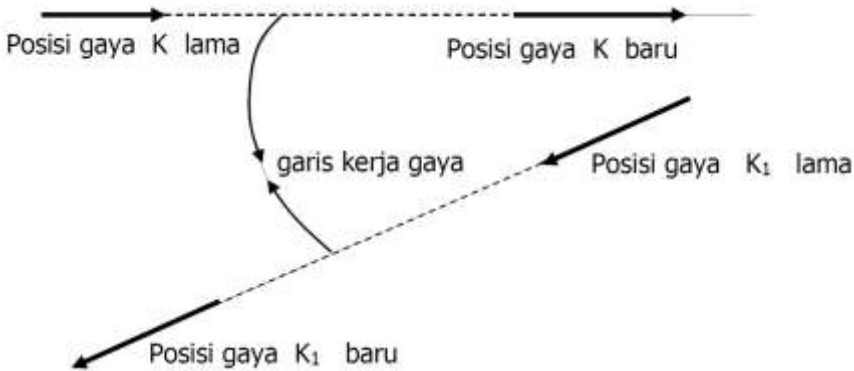
Gambar 5.4. Garis kerja gaya

Dengan menggunakan representasi visual dan konversi panjang anak panah ke dalam satuan gaya, ilustrasi pada Gambar 5.2 dan 5.3 membantu memvisualisasikan konsep gaya yang dihasilkan oleh berbagai benda atau aksi dalam situasi yang berbeda.

Contoh: mobil mogok diatas jembatan, roda mobil serta tumpuan tangan orang yang mendorong adalah merupakan titik tangkap gaya.



Gambar 5.5. Titik bermulanya gaya



Gambar 5.6. Garis kerja gaya dan beban yang dapat berpindah

Garis kerja gaya adalah garis lurus yang melewati gaya, yang mana diilustrasikan sesuai Gambar 5.4 konsep dan garis kerja gaya. Sedangkan titik tangkap gaya dari titik awal bermulanya di sampaikan sesuai Gambar 5.5.

Seperti yang diketahui gaya bisa dipindahkan asalkan berada pada daerah garis kerjanya, yang mana gaya tersebut tetap memiliki nilai yang sama. Begitu halnya dengan beban yang bekerja pada suatu bidang. Contoh titik tangkap gaya yang bisa dipindah-pindahkan dapat dilihat sesuai Gambar 5.6. Sebagai tambahan apabila terdiri dari beberapa gaya atau beban, penjumlahan gaya dapat dilakukan, dengan catatan titik tangkap memiliki nilai yang sama atau gaya-gaya tersebut sebidang.

5.3 Beban

Didalam suatu bidang, elemen atau struktur pasti ada distribusi beban. Distribusi beban tersebut secara teknis akan menimbulkan gaya serta perilaku yang berbeda. Beban yang bisa bergerak umumnya disebut beban hidup. Dalam hal ini beban tersebut berupa beban orang/manusia, kendaraan dan mesin. Sedangkan beban yang tidak dapat bergerak atau statis

dikategorikan sebagai beban mati, seperti peralatan, alat yang diam berupa meja, kursi dan lainnya.

Sedangkan dalam konteks statika struktur, "beban" merujuk pada gaya atau tumpuan fisik yang diterapkan pada suatu struktur. Beban dapat berasal dari berbagai sumber dan dapat mempengaruhi respons, stabilitas, dan kekuatan struktur. Berikut adalah beberapa jenis beban yang umum dalam statika struktur:

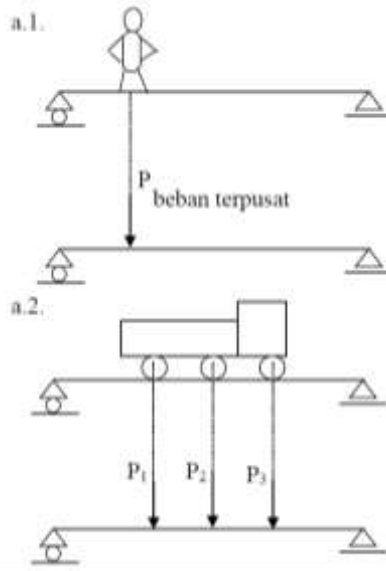
1. Beban Mati (*Dead Load*): Ini adalah berat sendiri dari struktur dan elemen bangunan permanen lainnya seperti dinding, lantai, dan atap. Beban mati tidak berubah seiring waktu kecuali ada perubahan dalam struktur atau komponen.
2. Beban Hidup (*Live Load*): Ini adalah beban yang berasal dari manusia, peralatan, atau barang-barang yang bergerak di atas atau di dalam struktur. Contohnya adalah orang yang berjalan di atas jembatan, kendaraan yang melintasi jalan, atau perabot di dalam gedung.
3. Beban Angin (*Wind Load*): Beban ini muncul akibat tekanan angin yang bekerja pada permukaan struktur. Intensitasnya tergantung pada kecepatan dan arah angin serta profil geometris struktur.
4. Beban Gempa (*Seismic Load*): Ini adalah gaya yang dihasilkan oleh getaran bumi akibat gempa bumi. Gaya gempa dapat menyebabkan perpindahan lateral dan momen torsi pada struktur.
5. Beban Sisa (*Imposed Load*): Ini termasuk beban yang diterapkan pada struktur oleh elemen lain yang dihubungkan, seperti pipa atau peralatan tambahan.
6. Beban Thermal (*Thermal Load*): Perubahan suhu dapat menyebabkan perluasan atau kontraksi struktur, yang menghasilkan beban termal.
7. Beban Khusus (*Special Load*): Ini adalah beban yang tidak termasuk dalam kategori-kategori di atas dan mungkin

terkait dengan kondisi khusus seperti pergeseran tanah, beban ledakan, atau beban lain yang spesifik untuk jenis struktur tertentu.

8. Beban Dinamis (*Dynamic Load*): Beban yang bervariasi seiring waktu, seperti getaran atau guncangan akibat kendaraan bergerak atau mesin beroperasi.
9. Beban Lentur (*Bending Load*): Beban yang menyebabkan struktur melengkung atau bengkok, menghasilkan momen lentur di dalamnya.
10. Beban Geser (*Shear Load*): Beban yang menghasilkan gaya geser pada bagian struktur, sering kali terjadi pada balok atau plat.

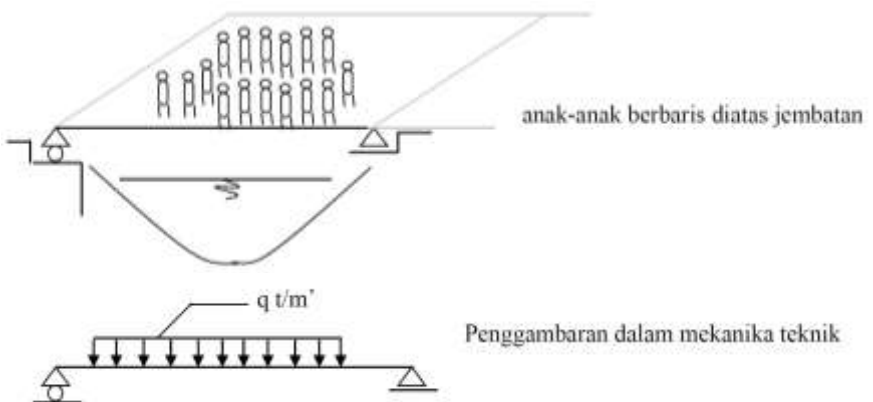
Penting untuk mempertimbangkan semua jenis beban ini saat merancang struktur agar dapat menghitung kekuatan dan stabilitasnya dengan akurat. Analisis beban yang cermat membantu memastikan bahwa struktur dapat berfungsi dengan aman dan efisien sesuai dengan tujuan dan kondisi lingkungan yang dihadapi.

Berikut ilustrasi distribusi beban yang didistribusikan secara terpusat dan terbagi merata, sesuai Gambar 5.7 dan Gambar 5.8. dimana beban terpusat beban lebih diposisikan pada titik tertentu di suatu tempat. Sedangkan beban terbagi merata beban didistribusikan secara merata baik kearah memanjang atau searah luasnya. Gambar 5.7.a.1 mengilustrasikan ada beban orang diatas jembatan yang di ilustasikan dalam mekanika Teknik. Kemudian Gambar 5.7.a.2 mengilustrasikan kendaraan berhenti diatas jembatan di ikuti ilustrasi secara sederhana dalam mekanika Teknik.



Gambar 5.7. Distribusi beban terpusat

Dimana P adalah notasi beban terpusat dengan satuan beban tersebut adalah dalam berat, ton, kg, Newton dan lain sebagainya.

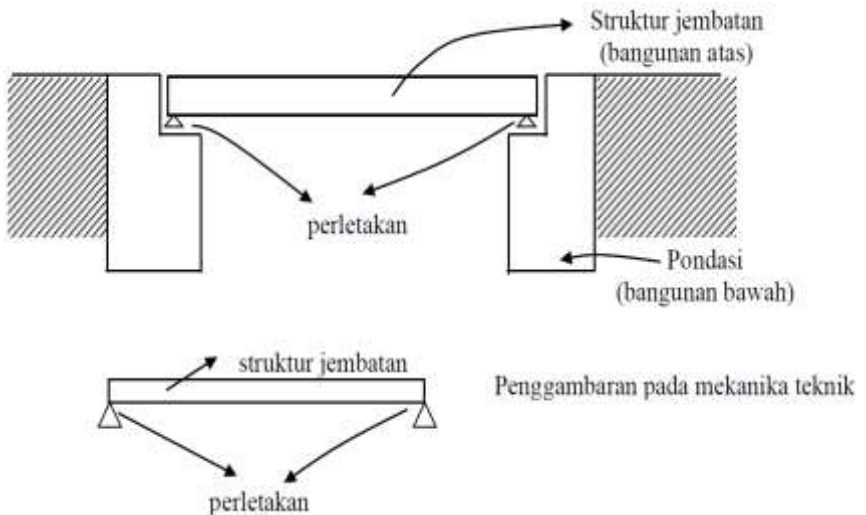


Gambar 5.8. Distribusi beban terbagi merata

Sesuai ilustrasi pada Gambar 5.8, memberikan penggambaran posisi beban dari orang yang berbaris di atas jembatan mengikuti luasannya yang kemudian digambarkan secara sederhana dalam mekanika Teknik.

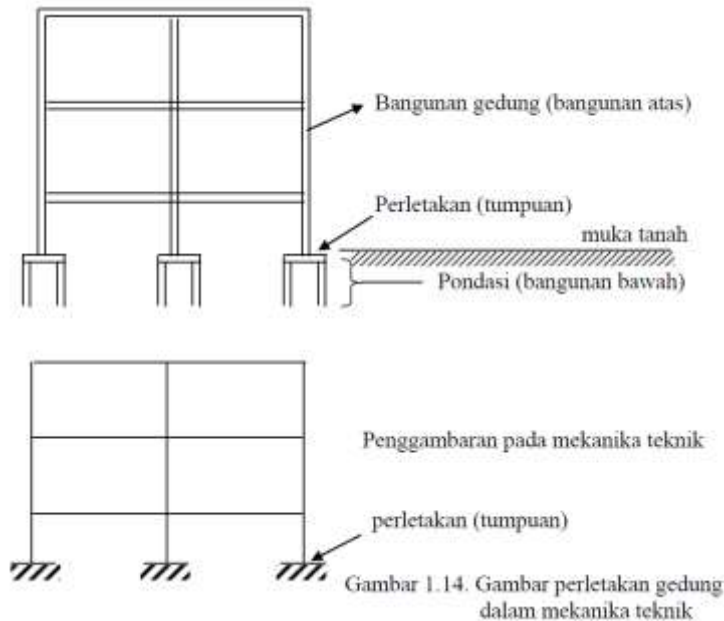
Dalam ranah teknik, fokus sering tertuju pada konstruksi berbagai jenis bangunan, termasuk gedung-gedung tinggi, jembatan-jembatan, dan struktur lainnya. Bangunan-bangunan ini harus ditempatkan di atas permukaan bumi, dan cara bagaimana mereka terhubung dengan lapisan bumi dikenal sebagai sistem pondasi. Bangunan yang berada di atas permukaan bumi disebut sebagai bangunan atas, sedangkan yang berada di dalam atau mendekati lapisan permukaan bumi disebut sebagai bangunan bawah. Untuk memastikan koneksi yang tepat antara bangunan atas dan bawah, digunakan suatu elemen yang disebut "perletakan".

Contoh yang menggambarkan hubungan antara bagian atas jembatan dengan bagian bawahnya, yang melibatkan sistem pondasi, dapat dilihat dalam Gambar 5.9. Ilustrasi lainnya mengenai perletakan pada bangunan sebelum beban diterapkan dapat ditemukan dalam Gambar 5.10. Fungsi dari perletakan ini adalah untuk memahami distribusi gaya di berbagai titik dalam struktur. Dengan demikian, nilai gaya di setiap titik dapat dianalisis sejalan dengan beban yang tersebar pada struktur tersebut.



Gambar 5.9. Ilustrasi perletakan jembatan sebelum diberikan beban

Konsep perletakan ini membantu membangun fondasi yang kokoh bagi bangunan atas dan menjaga integritas struktur secara keseluruhan. Melalui pemahaman distribusi gaya, para insinyur dapat merancang dan mengimplementasikan perletakan yang sesuai untuk memastikan bahwa beban dan gaya yang bekerja pada struktur diatur dengan efisien dan aman.



Gambar 1.14. Gambar perletakan gedung dalam mekanika teknik

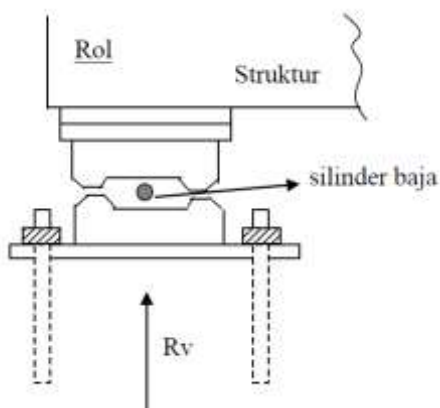
Gambar 5.10. Ilustrasi perletakan bangunan Gedung dan pondasi

5.4 Jenis Perletakan

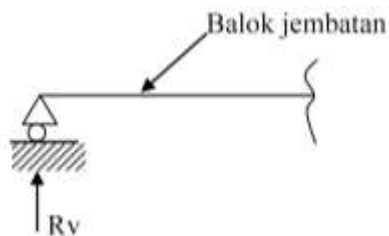
Berikut ada beberapa fungsi perletakan untuk menjaga struktur atau elemen struktur agar kondisinya stabil. Jenis perletakan ini yang menentukan kestabilan yaitu berupa rol, sendi dan jepit.

Dalam konteks struktur jembatan, perletakan rol memegang peran penting sebagai elemen penyangga yang bertugas untuk menopang sebagian dari jembatan itu sendiri. Stabilitas struktur adalah hal yang krusial dalam perancangan ini. Oleh karena itu, dalam konfigurasi perletakan rol, penting bahwa rol tersebut tidak mengalami penurunan saat diberikan beban dari atas. Ini mengindikasikan bahwa perletakan rol harus menghasilkan reaksi vertikal (R_v) yang memungkinkan rol tetap berada pada posisi yang stabil.

Namun, dalam konteks pengaturan struktur, perletakan rol memiliki sifat yang unik. Dari ilustrasi gambar struktur, dapat diamati bahwa rol cenderung memiliki kemampuan untuk bergeser dalam arah horizontal. Karena alasan ini, reaksi horizontal tidak bisa muncul pada rol tersebut, karena mungkin akan memicu pergeseran yang tidak diinginkan.



Gambar 5.11. Ilustrasi perletakan rol

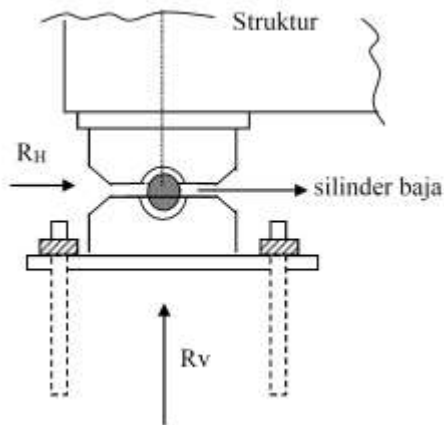


Gambar 5.12. Penyederhanaan perletakan rol

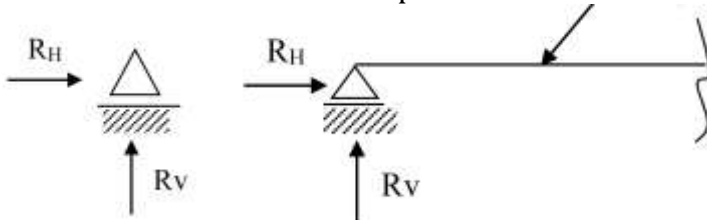
Penggambaran sederhana dari perletakan rol ini tercermin dalam Gambar 5.12. Di sisi lain, kita juga dapat mempertimbangkan jenis perletakan sendi yang diilustrasikan dalam Gambar 5.13. Seperti pada perletakan rol, perletakan sendi memiliki fungsi untuk

menyangga bagian tertentu dari struktur jembatan. Seiring dengan stabilitas yang harus dijaga, reaksi vertikal (R_v) harus hadir agar sendi tidak mengalami penurunan saat terdapat beban dari atas.

Lebih jauh lagi, perletakan sendi tidak boleh mengalami pergeseran horizontal yang tidak terkontrol. Karena itu, sendi ini perlu memiliki reaksi horizontal (R_H) yang memastikan bahwa sendi tetap pada posisi yang stabil dan tidak mengalami pergeseran tidak diinginkan. Tidak seperti reaksi momen, yang tidak terjadi pada sendi ini, sendi memiliki kemampuan untuk berputar jika ada momen beban yang diterapkan. Oleh karena itu, dalam perletakan sendi ini, reaksi momen tidak muncul. Semua karakteristik ini membentuk komponen penting dalam struktur jembatan yang stabil dan andal.



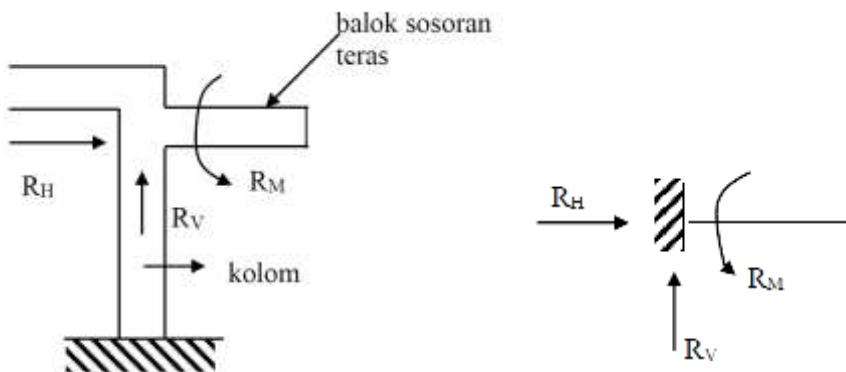
Gambor 5.13. Ilustrasi perletakan sendi



Gambor 5.14. Penyederhanaan perletakan sendi

Langkah selanjutnya dalam urutan ini adalah menyusun elemen jepit. Bentuk perletakan elemen jepit pada struktur ini memiliki tugas yang sangat spesifik, yaitu untuk menjaga agar balok sosoran teras tetap berada di tempatnya dan tidak mengalami keruntuhan, seperti yang dijelaskan dalam Gambar 5.15. Keberhasilan struktur sosoran dalam menjaga stabilitasnya adalah suatu keharusan, dan dalam konteks ini, perletakan jepit haruslah dirancang agar tidak mengalami pergeseran saat diberi beban dari atas. Oleh karena itu, elemen jepit ini perlu memiliki reaksi vertikal (R_v) yang memastikan elemen tersebut tidak mengalami penurunan saat terdapat beban.

Namun, hal tersebut tidaklah cukup. Selain reaksi vertikal, elemen jepit ini juga harus mampu menahan rotasi pada titik sambungan ketika ada momen beban yang diterapkan. Ini berarti bahwa elemen jepit juga harus memiliki reaksi momen yang sesuai agar tetap dapat menjaga keseimbangan dan kestabilan struktur. Selain itu, dalam rangka menjaga struktur agar tidak mengalami pergeseran horizontal yang tidak diinginkan, elemen jepit juga harus mampu menghasilkan reaksi horizontal.



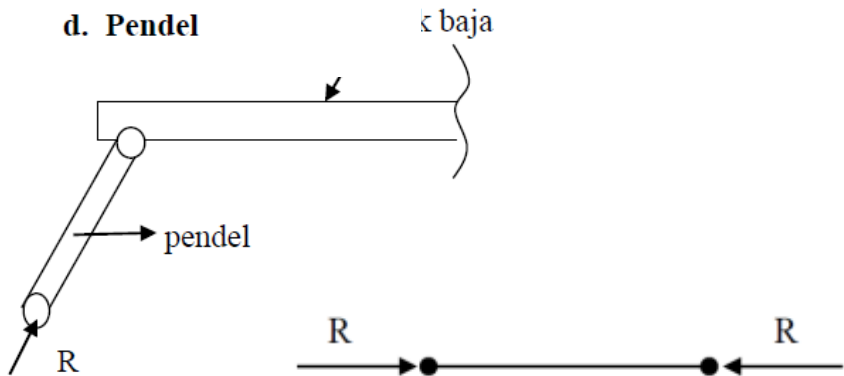
Gambar 5.15. Penyederhanaan perletakan jepit

Ketika melihat secara lebih sederhana dalam konteks mekanika teknik, perletakan elemen jepit ini melibatkan reaksi

vertikal, horizontal, dan momen. Ketiga reaksi ini berperan penting dalam memastikan bahwa elemen jepit tidak hanya menjaga balok sororan teras tetap berada pada posisi yang benar, tetapi juga menjaga keseluruhan struktur tetap dalam keseimbangan yang aman dan stabil. Dengan demikian, elemen jepit ini merupakan komponen penting dalam merancang dan memastikan integritas struktur.

Dalam rangka analisis dan desain struktural, penting untuk mengakui peran yang dimainkan oleh elemen-elemen tambahan dalam konfigurasi pemasangan. Salah satu elemen tersebut adalah elemen jepit, yang secara khusus ditempatkan di sepanjang struktur dengan maksud memberikan dukungan yang disesuaikan untuk sebagian dari rangkaian baja yang ada, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5.17. Pendekatan ini memberikan kebebasan bagi pendel untuk memberikan dukungan yang diarahkan secara spesifik pada area tertentu di jembatan.

Salah satu aspek yang perlu dicatat adalah bahwa pendekatan ini hanya berlaku secara efektif sepanjang sumbu pendel. Artinya, elemen pendukung ini memiliki kemampuan yang terbatas untuk memberikan dukungan yang signifikan hanya dalam arah tertentu yang sesuai dengan sumbu pendelnya. Hasilnya, elemen jepit ini memberikan reaksi yang unik dan khusus, dengan satu reaksi yang timbul dan bergerak sejalan dengan arah sumbu pendel tersebut.



Gambar 5.17. Ilustrasi perletakan pendel

Kehadiran elemen jepit dalam pengaturan ini membawa dampak signifikan, karena memungkinkan struktur untuk diberikan dukungan yang diarahkan dan efisien pada bagian-bagian yang membutuhkan. Penggunaan elemen ini juga menyiratkan bahwa pendekatan desain yang digunakan bersifat target dan terukur, karena elemen jepit hanya beroperasi dalam satu arah yang telah ditentukan sebelumnya. Dalam keseluruhan konteks, elemen jepit berfungsi sebagai solusi yang cermat dan strategis dalam memenuhi kebutuhan dukungan pada struktur baja, dengan memungkinkan penyesuaian yang presisi terhadap area tertentu yang perlu diberikan dukungan lebih.

5.5 Keseimbangan Benda

Keseimbangan benda terjadi ketika gaya-gaya yang bekerja pada benda saling mengimbangi sehingga benda tersebut tetap dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan. Ada dua jenis keseimbangan yang perlu dipahami: keseimbangan statis dan keseimbangan dinamis.

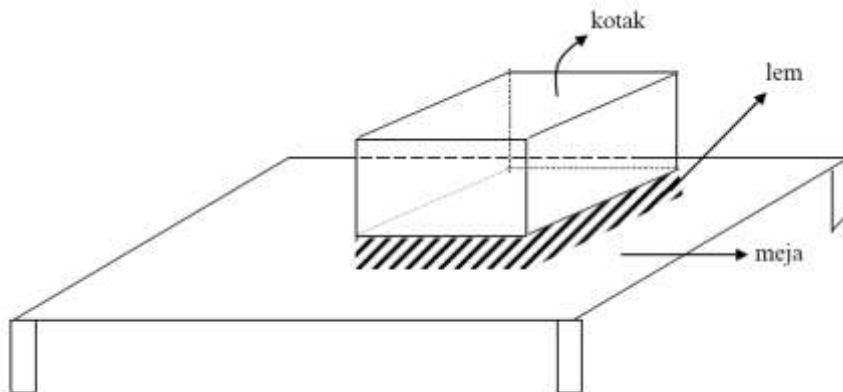
3. Keseimbangan Statis (*Static Equilibrium*): Keseimbangan statis terjadi ketika benda dalam keadaan diam. Dalam keseimbangan statis, dua kondisi penting harus terpenuhi:
4. Kekuatan Netto Nol: Total gaya yang bekerja pada benda harus nol. Artinya, gaya-gaya yang menarik atau mendorong benda dalam arah yang berlawanan saling mengimbangi sehingga tidak ada perubahan dalam posisi atau gerakan benda. *Moment Netto Nol* (Pada Rotasi): Jika benda dapat berputar (seperti balok atau lingkaran), maka moment gaya (torsi) juga harus memiliki hasil nol sehingga benda tidak cenderung berputar pada satu sisi.
5. Keseimbangan Dinamis (*Dynamic Equilibrium*): Keseimbangan dinamis terjadi ketika benda bergerak dengan kecepatan konstan. Dalam keseimbangan dinamis, ada keseimbangan antara gaya-gaya yang bekerja pada benda, menghasilkan gerakan tetap dengan kecepatan yang tidak berubah. Ini sering terjadi dalam situasi di mana ada gaya gesekan yang mengimbangi gaya dorongan.

Contoh Keseimbangan:

1. Keseimbangan Statis: Sebuah buku diletakkan di atas meja. Gravitasi menarik buku ke bawah, tetapi meja memberikan gaya normal ke atas yang mengimbangi gaya gravitasi. Jika gaya normal ini sebanding dengan gaya gravitasi, buku tetap diam (lihat Gambar 5.18)
2. Keseimbangan Dinamis: Seorang anak mendorong ayunan di taman. Ayunan bergerak maju-mundur dengan kecepatan konstan karena gaya dorongan anak mengimbangi gaya gesekan dan hambatan udara.

Dalam analisis keseimbangan, hukum-hukum Newton dan konsep-konsep fisika lainnya digunakan untuk memahami bagaimana gaya-gaya berinteraksi pada suatu benda. Pemahaman

tentang keseimbangan memainkan peran penting dalam berbagai aspek ilmu fisika, teknik, dan rekayasa, serta dalam pemecahan masalah praktis sehari-hari.



Gambar 5.18. Ilustrasi kotak yang dilem diatas meja

Sebuah kotak yang ditempatkan di atas permukaan meja menghasilkan suatu kondisi keseimbangan, di mana kotak tersebut tidak mampu mengalami pergerakan vertikal, pergeseran horisontal, atau gerakan berguling. Apabila kotak ini dikenai beban vertikal (P_v), maka kotak tersebut tidak akan mengalami pergerakan ke bawah, menandakan bahwa meja memberikan respons vertikal (R_v) yang menyeimbangkan. Respons vertikal ini secara teknis dikenal sebagai reaksi vertikal. Kontras dengan skenario tersebut, jika kotak ditempatkan di atas lapisan lumpur, beban vertikal (P_v) akan menyebabkan kotak segera tenggelam. Dalam hal ini, lumpur tidak mampu menawarkan respons vertikal (R_v) yang mencukupi.

Saat kotak dikenai beban horisontal (P_H), pada kasus kotak yang diletakkan di atas meja yang dilapisi lem, kotak tersebut akan tetap dalam posisi karena adanya hambatan horisontal (R_H) yang dihasilkan oleh daya rekat antara kotak dan meja. Hambatan horisontal ini, juga dikenal sebagai reaksi horisontal, berfungsi

untuk menghentikan pergerakan kotak secara horizontal. Sebagai perbandingan, ketika kotak diletakkan di atas meja tanpa adanya lapisan lem, dikenai beban horizontal (PH) akan segera mendorong kotak bergeser. Situasi ini terjadi karena meja tidak dapat menyediakan respons horizontal (RH) yang memadai untuk menahan gerakan horizontal.

DAFTAR PUSTAKA

- Frick, H. 1979. Mekanika Teknik Statika dan Aplikasinya. Kanisius, Yogyakarta.
- Gere, J. 1996. Mekanika Bahan. Erlangga, Jakarta.
- Khurmi, R.S, & Gupta. (Judul buku tidak disebutkan). A Text Book of Machine Design. Eurasia Publishing House LTD, New Delhi.
- Marsyahyo, E. 2002. Mesin Perkakas. Bayumedia Publishing, Malang.
- Martin, G. H. 1994. Kinematika dan Dinamika Teknik. Erlangga, Jakarta.
- Sularso. 1991. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sardia, T. 2000. Pengetahuan Bahan Teknik. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Smith, J. K. 2010. Load Analysis and Design of Structures. Wiley.
- Brown, T. R. 2005. Introduction to Structural Load Testing and Monitoring. CRC Press.
- Williams, D. E. 2018. Wind Loads on Structures. ASCE Press.
- Johnson, R. M. 2012. Earthquake Engineering for Structures. Pearson.
- Peterson, A. P. 2008. Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Structural Timber. American Wood Council.

BAB 6

BIDANG GAYA

Oleh Enni Sulfiana

6.1 Konsep Dasar

Dalam mempelajari statika struktur, terdapat sejumlah prinsip mendasar yang dihasilkan dari dalil atau hukum tertentu, dan kemudian dianalisis secara matematis atau melalui eksperimen. Gaya memiliki besaran dan arah yang dapat diindikasikan oleh ujung anak panah yang menunjukkan arah kerja gaya (Kun Suharno dkk, 2021). Dalam proses analisis gaya dapat melalui langkah-langkah berikut ini :

1. Hukum I Newton

Hukum Newton I menyatakan, jika gaya bekerja pada suatu partikel adalah nol (tidak ada gaya), maka partikel yang diam akan tetap diam dan atau partikel bergerak akan tetap bergerak dengan kecepatan konstan.

2. Hukum Newton ke II menyatakan, bahwa Percepatan sebuah partikel sebanding dengan gaya resultan yang bekerja padanya dan bergerak searah dengan gaya tersebut., di mana

$$\sum F = m \cdot a$$

Dengan,

ΣF : jumlah gaya dalam Newton

m : massa dalam (kg)

a : percepatan (m/det)

3. Hukum Newton III Ketika benda berinteraksi dengan benda lain, maka benda tersebut akan mengalami reaksi yang memiliki besaran yang sama, namun berlawanan arah.

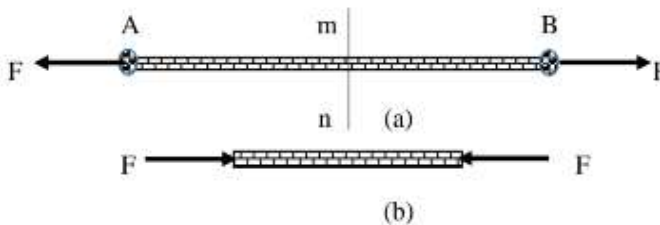
4. Hukum Aksi dan Reaksi

Suatu gaya tekan pada suatu tumpuan akan menyebabkan saat gaya tekan lawan yang arahnya berlawanan dari tumpuan tersebut sehingga aksi dan reaksi merupakan dua buah gaya yang sama besarnya arah berlawanan.

Hukum Newton I membahas konsep keseimbangan gaya, yang menjadi topik sentral dalam situasi statika. Persamaan dari Hukum Newton II yang telah disebutkan di atas, menjadi dasar bagi banyak situasi dalam dinamika. Sementara itu, Hukum Newton III membahas segala aspek yang terkait dengan gaya dan sistem gaya.

5. Hukum keseimbangan

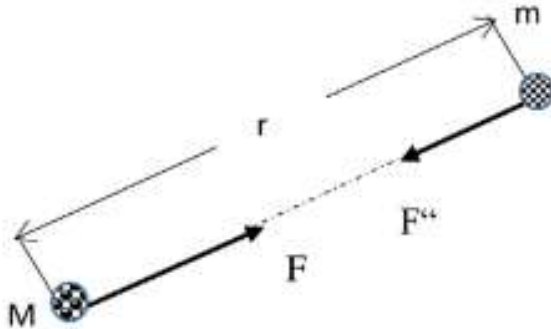
Dua gaya hanya dapat mencapai keseimbangan jika keduanya memiliki besaran yang sama, arah yang berlawanan, dan bekerja dalam garis kerja yang sama., lihat Gambar 6.1.a. Dengan memperhatikan keseimbangan di sebelah kiri m - n pada batang A-B, bahwa untuk menyeimbangkan gaya luar F di A. bagian batang sebelah kanan harus memberikan sebuah gaya yang sama, berlawanan arah dan kolinier dengan F (Gambar 6.1b).



Gambar 6.1. Hukum keseimbangan

6. Prinsip Gravitasi Newton

Partikel tarik menarik satu sama lain dengan massa M dan gaya F dan F'' seperti pada gambar 6.2.



Gambar 6.2. Partikel dengan Dua massa
(Kun Suharno dkk, 2021)

Gaya tarik yang besarnya dinyatakan $F = \frac{G.M.m}{r^2}$

Dengan :

r = Jarak partikel

G = Konstanta gravitasi = $6,67 \times 10^{-11} \text{ KgNm}^2/\text{kg-det}^2$

Hal ini sesuai dengan gaya tarik bumi pada suatu partikel yang terletak pada permukaan bumi" adalah "berat" atau "gravitasi bumi"..

$$F = \frac{G.M.m}{R^2}$$

Dengan :

F = Gaya tarik bumi yang selanjutnya dikenal dengan W

M = Massa Bumi ($1 M_o = 5,9742 \times 10^{24} \text{ kg}$)

m = Massa partikel

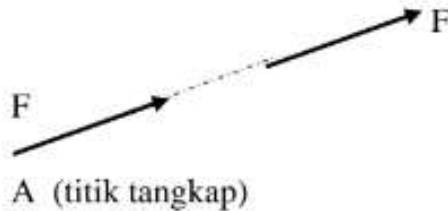
R = Radius (jari-jari) bumi (6.400 km)

Bila $g = \frac{G.M}{R^2}$, dengan g : percepatan gravitasi bumi $9,81 \text{ m/s}^2$

Maka $F = W = m.g$

7. Prinsip Pemindahan Gaya

Keadaan benda dalam keseimbangan atau gerakan suatu benda tidak akan berubah jika titik kerja dari gaya yang bekerja pada benda tersebut dipindahkan ke tempat lain, selama posisi titik tersebut tetap berada dalam garis kerja gaya tersebut, lihat Gambar 6.3.



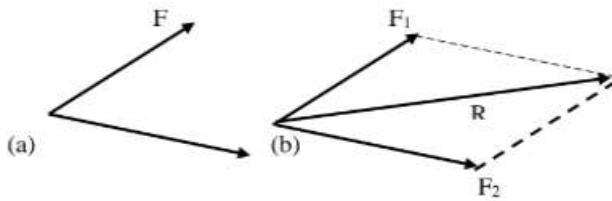
Gambar 6.3. Pemindahan Gaya
(Kun Suharno dkk, 2021)

Titik tangkap dari sebuah gaya yang beroperasi pada suatu benda adalah titik di mana gaya tersebut dapat diasumsikan berkumpul atau terpusat atau bekerja secara efektif. Dalam kasus gaya gravitasi yang terdistribusi merata di seluruh volume benda, titik tangkap di mana berat total dapat dianggap terpusat disebut sebagai titik berat benda.

6.2 Penjumlahan Gaya

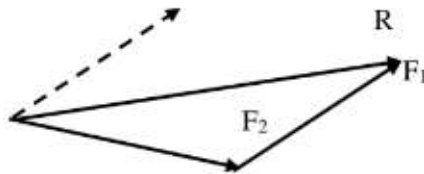
1. Dasar penjumlahan gaya

Dua gaya yang bekerja pada suatu partikel dapat digantikan dengan satu gaya tunggal tanpa menyebabkan perubahan apa pun pada partikel tersebut. Gaya pengganti ini disebut Gaya Hasil (Resultant, R). seperti Gambar 6.4.



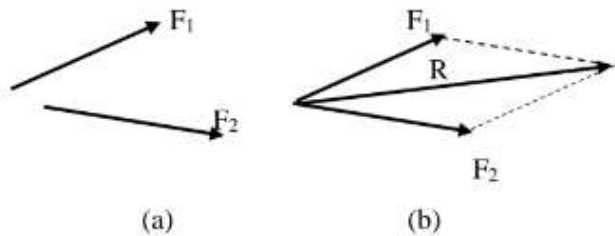
Gambar 6.4. Resultan Gaya
(Kun Suharno dkk, 2021)

2. Penjumlahan bentuk segitiga



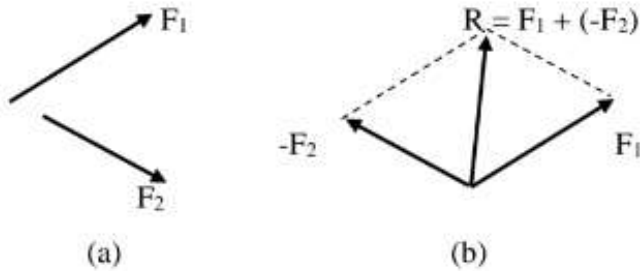
Gambar 6.5. Resultan segitiga
(Kun Suharno dkk, 2021)

3. Penjumlahan pada titik yang berbeda



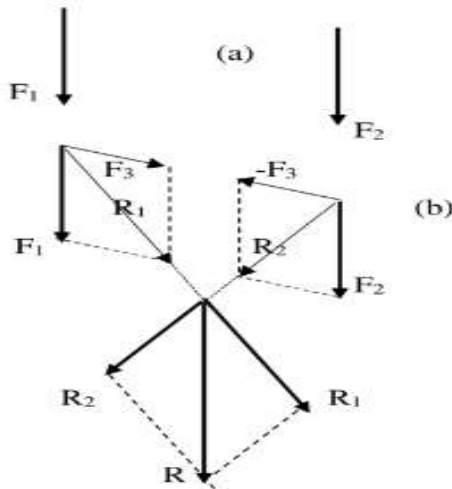
Gambar 6.6. Resultan dengan berbagai titik yang berbeda
(Kun Suharno dkk, 2021)

4. Pengurangan pada Gaya



Gambar 6.7. Pengurangan Gaya
(Kun Suharno dkk, 2021)

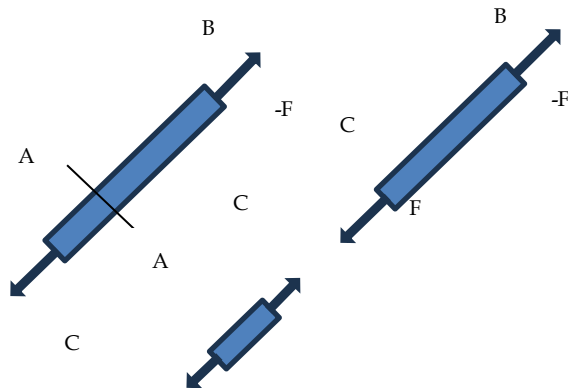
5. Resultan Gaya yang Sejajar



Gambar 6.8. Resultan Gaya Sejajar
(Kun Suharno dkk, 2021)

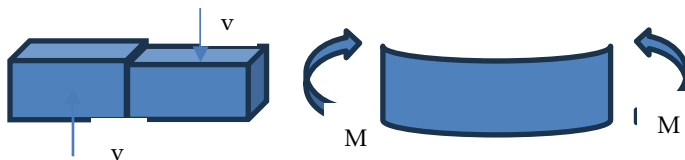
6.3 Internal Forces, Gaya Gesek dan Momen Lentur pada Balok

Gaya internal (internal forces) adalah gaya yang terikat satu sama lain pada berbagai bagian struktur sehingga struktur tersebut menjadi kokoh atau stabil (Kun Suharno dkk, 2021). Gambar 2.1, menunjukkan bagaimana terjadinya gaya dalam akibat gaya F dan $-F$ pada batang AB.



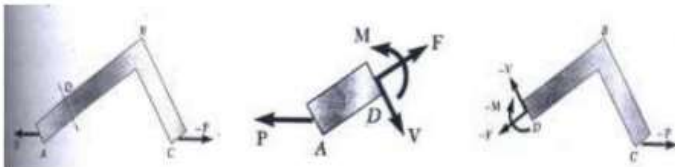
Gambar 6.9. Batang dengan internal force
(Kun Suharno dkk, 2021)

Selain gaya tarik (*tension*) dan tekanan (*compression*), balok juga harus mampu menahan beban geser (*shear force*) dan momen lentur (*bending moment*). Ini terlihat pada Gambar 6.2, di mana gaya V mewakili gaya gesek, dan M mewakili Torsi



Gambar 6.10. Momen Lentur dan Gaya Gesek
(Kun Suharno dkk, 2021)

Jika pada sebuah balok dalam satu bidang diberlakukan gaya tarik sejajar dengan balok tersebut, maka ketika balok tersebut dipotong akan menghasilkan gaya geser (*shear force*) yang kami sebutkan sebagai V dan momen lentur (*bending moment*) yang kami sebutkan sebagai M . Dengan Hukum III Newton, prinsip aksi dan reaksi, maka arah V dan M sisi kiri dan sisi kanan saling berlawanan (Gambar 6.11).



Gambar 6.11. Internal force berupa gaya gesek dan momen lentur pada batang yang dipotong
(Kun Suharno dkk, 2021)

6.4 Kestimbangan Partikel

6.4.1 Syarat Kestimbangan Partikel

Partikel dapat dianggap dalam keadaan setimbang jika mereka awalnya diam atau bergerak dengan kecepatan konstan pada suatu titik waktu. Dalam konteks fisika, istilah "kestimbangan" sering kali merujuk pada kestimbangan statis, yang berarti objek berada dalam posisi diam tanpa perubahan kecepatan. Untuk menilai apakah partikel memenuhi syarat untuk dianggap dalam keadaan setimbang, kita harus mempertimbangkan Hukum Gerak Newton I. Hukum tersebut menyebutkan bahwa "jika gaya resultan yang bekerja pada suatu partikel adalah nol, maka partikel tersebut berada dalam kestimbangan" (R. C. Hibbeler. 2017). Hukum tersebut dinotasikan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Sigma F = 0$$

ΣF menandakan bahwa penjumlahan vector semua gaya bekerja pada partikel.

Hukum gerak kedua Newton dapat ditulis dalam persamaan $\Sigma F = ma$, yang mana $a = 0$, sehingga kecepatan partikel dianggap tetap.

6.4.2 Diagram Benda Bebas

Dalam menerapkan teori kesetimbangan partikel kita harus memperhitungkan gaya-gaya yang terjadi di setiap partikel baik yang diketahui maupun tidak diketahui (Rafki Imani. 2021). Untuk mencari solusi dalam problema tersebut yaitu dengan menerapkan teori diagram benda bebas. Diagram benda bebas merupakan bagan dalam suatu partikel yang terisolasi atau bebas disekelilingnya.

Prosedur dalam Menggambar Diagram Benda Bebas sebagai berikut :

1. Tahap 1

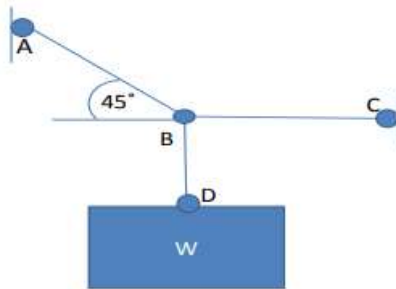
Bayangkan sebuah partikel yang sedang dilepaskan dari ikatannya dengan lingkungannya. Istilah yang digunakan untuk menggambarkan situasi ini adalah "diagram benda bebas."Langkah 2

Tunjukkan pada sketsa bahwa gaya tersebut bekerja aktif, yang dapat dikatakan partikel dapat bergerak akibat gaya tersebut. Contoh gaya-gaya tersebut seperti gaya yang bekerja pada kawat yang dikaitkan, pembebanan. interaksi magnetic dan electromagnetic static.

2. Tahap 3

Gaya-gaya yang diuraikan harus diberi label yang jelas dan arah gaya yang sesuai. Arah yang benar untuk gaya tersebut akan dapat ditentukan setelah besaran yang tidak diketahui dihitung.

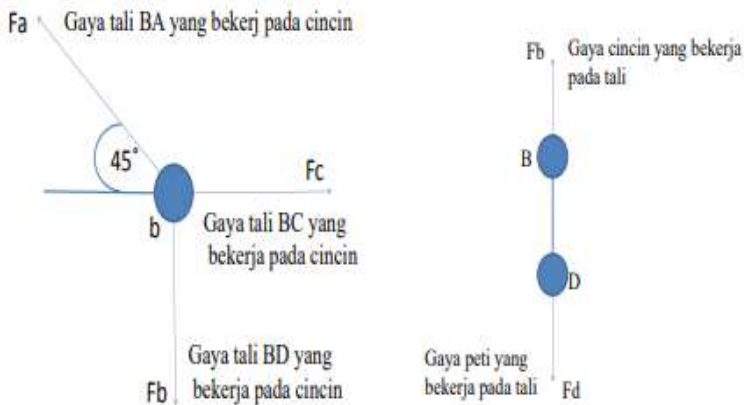
Contoh diagram benda bebas :

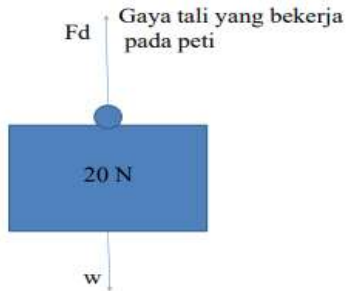


Gambar 6.12. Balok
(Ma'ruf . 2016)

Sebuah balok pada gambar diatas mempunyai berat 20N. gambarkan diagram benda bebas peti tersebut, tali B, dan cincin pada B.

Penyelesaian :



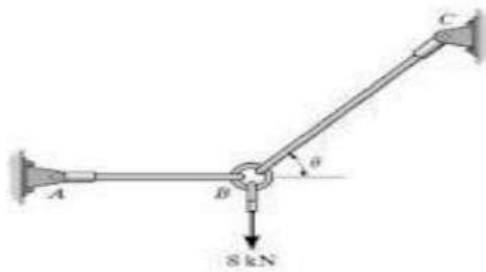


Gambar 6.13. Gambar diagram benda bebas. (Ma'ruf. 2016)

6.4.3 Sistem Gaya dalam Satu Bidang

Banyak masalah mengenai kesetimbangan partikel melibatkan sistem gaya yang terletak dalam satu bidang (koplanar). Untuk memastikan persamaan vektor terpenuhi dalam situasi ini, kedua komponen vektor, baik dalam sumbu x maupun y , harus sama dengan nol, lain dari pada itu $\sum \vec{F} = 0$. jadi kita mensyaratkan ;

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0$$



Gambar 6.14. Kesetimbangan Partikel
(Rafki Imani. 2021)

Notasi skalar akan digunakan untuk menggambarkan bagian ini saat kita menerapkan persamaan-persamaan keseimbangan. Hal ini diperlukan karena setiap dari dua persamaan keseimbangan

memerlukan dekomposisi komponen-komponen vektor sepanjang suatu sumbu tertentu, baik itu sumbu x maupun y. (Andi Ibrahim Yunus dkk. 2022).

Langkah analisis.

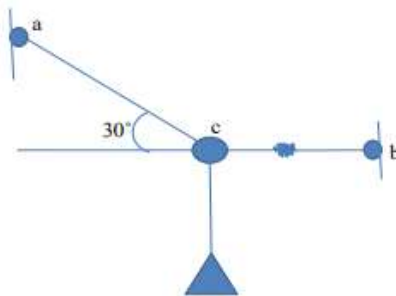
Diagram benda bebas adalah representasi visual dari partikel. Dalam pembuatan diagram benda bebas partikel, penting untuk memasukkan semua gaya yang diketahui dan yang tidak diketahui, serta memberikan label pada sudut-sudut yang relevan pada diagram tersebut. Arah gaya yang memiliki besar yang belum diketahui dapat diasumsikan.

Kemudian, untuk menghitung kesetimbangan partikel, kita harus menetapkan sumbu x dan y dalam arah yang sesuai, lalu menerapkan dua persamaan kesetimbangan. ;

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0$$

Contoh soal :

Tentukan panjang tali yang diperlukan pada gambar agar lampu dengan massa 8 kg menggantung seperti yang terlihat dalam posisi tersebut. Jarak pegas rentang ab adalah $l'_{ab} = 0.4 \text{ m}$, dan Kekuatan pegas sebesar $k_{ab} = 300 \text{ N/m}$.



Gambar 6.15. Gambar lampu
(Ma'ruf. 2016)

Diagram benda bebas, lampu mempunyai berat $w = 78,5$ m. diagram benda bebas cincin di A di tunjukkan dalam gambar.

Maka Persamaan kesetimbangan menjadi

$$\sum f_x = 0; T_{ab} - T_{ac} \cos 30^\circ = 0$$

$$\sum f_y = 0; T_{ac} \sin 30^\circ - 78,5N = 0$$

Sehingga, kita memperoleh:

$$T_{ac} = 157 \text{ n}$$

$$T_{ab} = 136 \text{ n}$$

Jarak pegas ab menjadi ,

$$T_{ab} = k_{ab} \times s_{ab}; 136 = 300 \cdot s_{ab}$$

$$s_{ab} = 0,453 \text{ m}$$

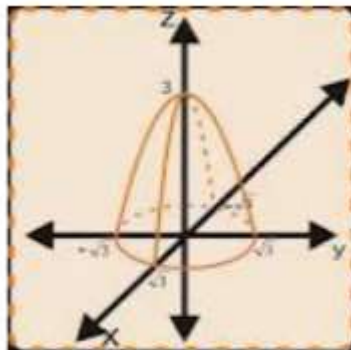
Didapatkan panjang regangan adalah $l_{ab} = l'_{ab} + s_{ab} = 0,4 + 0,453 = 0,853 \text{ m}$

Jarak horizontal dari c ke b. Gambar mensyaratkan

$$2m = l_{ac} \cos 30^\circ + 0,085$$

$$l_{ac} = 1,32 \text{ m}$$

6.4.4 Rangkaian Tiga Dimensi



Gambar 6.16. Kesetimbangan Partikel
(Ma'ruf . 2016)

Syarat kesetimbangan partikel adalah $\sum F=0$, dan untuk sistem tiga dimensi syarat kesetimbangannya adalah $\sum F_x=0$, $\sum F_y=0$, $\sum F_z=0$ Persamaan ini menyatakan penjumlahan aljabar komponen komponen gaya x,y,z yang bekerja pada partikel.

6.5 Resultan Gaya

Telah ditunjukkan bahwa syarat bagi kesetimbangan partikel atau suatu sistem gaya yang hanya memerlukan resultan system gayaharus sama dengan nol, yaitu $\sum F=0$.

Pembatasan semacam itu memang perlu, namun tidaklah cukup untuk mencapai keseimbangan pada benda tegar. Ini disebabkan oleh kenyataan bahwa benda memiliki dimensi fisik yang perlu diperhitungkan. Oleh karena itu, diperlukan pembatasan tambahan terhadap ketidaksetaraan gaya yang diberikan pada sistem ini. Untuk mengatasi masalah ini, kita memperkenalkan konsep momen. Momen adalah kecenderungan suatu gaya untuk memutar benda, sementara keseimbangan mengharuskan benda agar tidak mengalami rotasi. Dalam bab ini, kami akan memberikan definisi formal tentang momen dan menjelaskan cara menghitung momen dari semua gaya yang bekerja pada suatu titik atau sumber. Selain itu, kami akan memperkenalkan metode untuk menghitung resultan dari sistem gaya yang tidak sejajar. Hal ini sangat penting karena penerapan persamaan ini akan serupa dengan penggunaan persamaan keseimbangan untuk benda tegar. Lebih lanjut, resultan dari sistem gaya akan memengaruhi keadaan keseimbangan atau gerakan benda tegar dengan cara yang serupa seperti gaya-gaya individu dalam sistem tersebut. Oleh karena itu, kita dapat memahami perilaku benda tegar dengan lebih sederhana dengan menggunakan resultan ini. (Yulianti Malik dkk. 2022) .

6.5.1 Perkalian Silang (Cross)

Momen suatu gaya akan dirumuskan dengan menggunakan vektor Kartesian dalam bagian selanjutnya. Sebelum kita melangkah lebih jauh, pertama-tama kita perlu memperluas

pemahaman tentang aljabar vektor dan memperkenalkan metode perkalian silang dalam operasi perkalian vektor. Perkalian silang dua vektor A dan B menghasilkan vektor C yang ditulis sebagai:

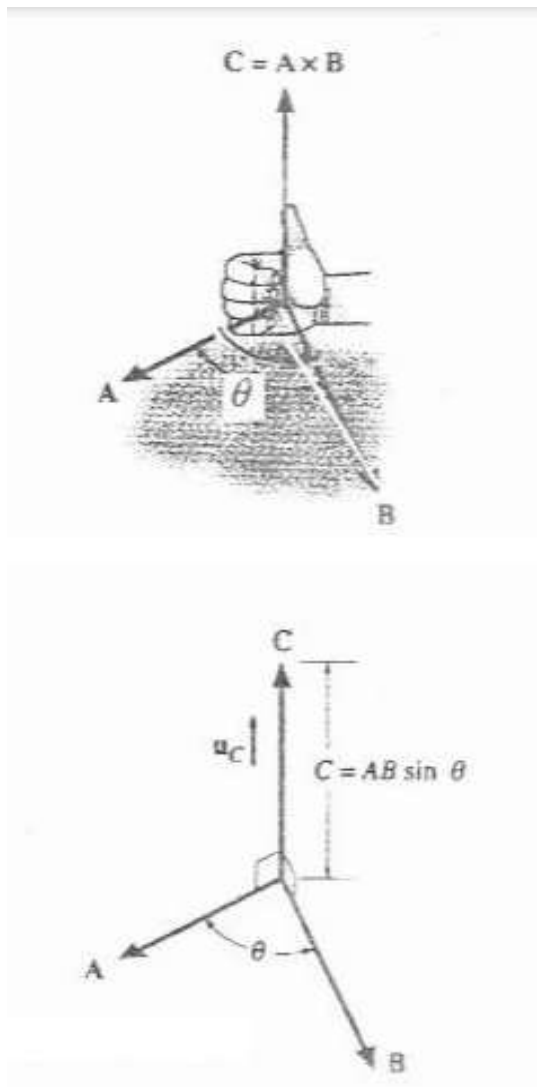
$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B}$$

dan dibaca "C sama dengan A cross (kali silang) B."

Magnitudo (besar). magnitudo (besar) C didefinisikan sebagai perkalian magnitudo (besar) A dan B dan sinus sudut θ antara pangkal vektor (0) jadi $C = AB \sin \theta$.

Arah vektor C ditentukan dengan aturan tangan kanan, di mana vektor C berada tegak lurus terhadap bidang yang mengandung vektor A dan vektor B. Untuk menentukan arah C, Anda dapat melakukannya dengan cara meletakkan jari-jari tangan kanan Anda sepanjang vektor A, lalu melipat jari-jari tersebut ke arah vektor B. Ibu jari Anda kemudian akan menunjuk ke arah vektor C. seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.16.

Diketahuinya kedua besar dan arah C, kita dapat menulis $\mathbf{C} = AB \sin \theta \hat{\mathbf{u}}_C$ dengan skalar $AB \sin \theta$ menyatakan besar (magnitudo) C dan vektor satuan. menyatakan arah C.



Gambar 6.17. Arah vektor gaya

DAFTAR PUSTAKA

- Kun Suharno dkk. 2021. *Analisis Statika Struktur*. Jawa Tengah: Penerbit Pustaka Rumah Cinta.
- Ma'ruf. 2016. *Diktat Kuliah Statika Struktur*. Mangkurat: Universitas Lambng Mangkurat Jurusan Teknik Mesin.
- R. C. Hibbeler. 1997. *Mekanika Teknik*. Yogyakarta: Dinas Perpustakaan dan Kearsipan Kota Yogyakarta.
- Agus Dwi Putra dkk. 2022. *Mekanika Teknik 1*. Yogyakarta. Jejak Pustaka Sekretariat Jejak Imaji Banguntapan Bantul Yogyakarta.
- Rafki Imani. 2021. *Pengetahuan Dasar Statika dan Analisis Gaya – Gaya dalam lainnya*. Malang. Ahlimedia Press Kota Malang.
- Andi Ibrahim Yunus dkk. 2022. *Mekanika Teknik II*. Sumatera Barat. PT Global Eksekutif Teknologi Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022 Kota Tangah Padang Sumatera Barat.
- Yulianti Malik dkk. 2022. *Mekanika Teknik*. Sumatera Barat. PT Global Eksekutif Teknologi Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022 Kota Tangah Padang Sumatera Barat.

BAB 7

BESAR GAYA YANG BEKERJA PADA SUATU SISTEM

Oleh Dodi Mulyadi

7.1 Pendahuluan

Gaya adalah aksi yang diberikan oleh suatu objek terhadap objek lainnya. Dalam dinamika teknik, gaya didefinisikan sebagai tindakan yang cenderung menyebabkan percepatan suatu benda. Gaya merupakan besaran vektor, karena efeknya tergantung pada arah serta pada besarnya tindakan. Gaya dapat dijumlahkan sesuai dengan hukum jajaran genjang penambahan vektor. Spesifikasi lengkap aksi suatu gaya harus mencakup **besar**, **arah**, dan **titik penerapan**, dan oleh karena itu kita memperlakukannya sebagai vektor tetap.

Satuan gaya dalam SI adalah *newton* (N), dimana 1 *newton* adalah gaya yang diperlukan untuk memberikan percepatan sebesar 1 m/s^2 pada benda yang mempunyai massa 1 kg.

$$\mathbf{F} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{a} \quad (7.1)$$

Dimana **F** adalah gaya dalam satuan *newton* (N), **m** adalah massa dalam satuan kilogram (kg), dan **a** adalah percepatan dalam satuan m/s^2 .

7.2 Sistem Gaya Dua Dimensi

7.2.1 Komponen Persegi Panjang

Resolusi dua dimensi yang paling umum dari vektor gaya adalah dengan menjadikannya sebagai komponen persegi panjang.

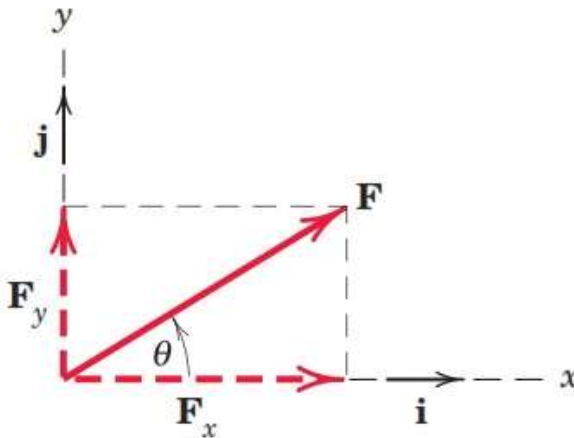
Pada **gambar 7.1** dibawah ini, dengan mengikuti aturan jajaran genjang, maka vektor **F** dapat ditulis sebagai:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_x + \mathbf{F}_y \quad (7.2)$$

Dimana $\mathbf{F}_x$ dan $\mathbf{F}_y$ adalah **komponen vektor F** pada arah **x** dan **y**. Masing-masing dari dua komponen vektor tersebut dapat ditulis sebagai **komponen skalar** yang dikali dengan vektor satuan yang sesuai. Sehingga persamaan 7.2 dapat ditulis sebagai:

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} \quad (7.3)$$

dimana (pada persamaan 7.3) F_x dan F_y adalah **komponen skalar** x dan y dari vektor **F**. (Cetak tebal **F** dan cetak miring tipis F_x dan F_y , menunjukkan adanya perbedaan antara vektor dan skalar).



Gambar 7.1. Komponen Gaya Persegi Panjang.
Sumber: (Meriam & Kraige, 2012)

Dari **gambar 7.1**, kita bisa menentukan besaran komponen skalar x dan y , yaitu dengan menggunakan persamaan dasar:

$$F_x = F \cos \theta \quad (7.4a)$$

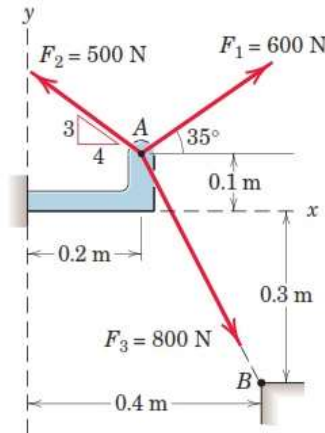
$$F_y = F \sin \theta \quad (7.4b)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (7.4c)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_y}{F_x} \quad (7.4d)$$

Harap diperhatikan bahwa untuk dapat menggunakan persamaan 7.4 di atas dengan benar, maka kita harus betul-betul memahami geometri vektor gaya-gaya yang sedang dianalisis. Sketsa gambar yang rapi akan dapat membantu memperjelas geometri dan dapat menghindari kesalahan analisis.

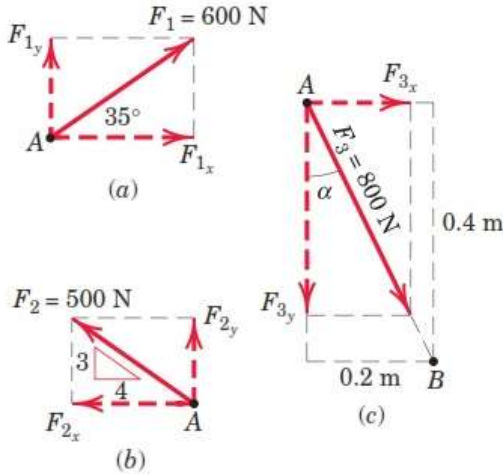
Contoh soal 1. Tentukan komponen skalar x dan y dari gaya-gaya F_1 , F_2 , dan F_3 pada **gambar 7.2** di bawah ini.



Gambar 7.2. Gambar Soal no 1.

Penyelesaian:

Uraikan vektor gaya-gaya menjadi seperti gambar 7.3.



Gambar 7.3 Penguraian Gaya untuk Soal no 1.

Komponen skalar F_1 dapat dihitung:

$$F_{1x} = 600 \cos 35^\circ = 491 \text{ N}$$

$$F_{1y} = 600 \sin 35^\circ = 344 \text{ N}$$

Nilai sinus dan kosinus pada komponen skalar F_2 dapat digantikan oleh aturan sudut siku-siku 3-4-5, sehingga komponen skalar F_2 dihitung:

$$F_{2x} = -500 \left(\frac{4}{5} \right) = -400 \text{ N}$$

$$F_{2y} = 500 \left(\frac{3}{5} \right) = 300 \text{ N}$$

Komponen skalar F_3 dapat dihitung dengan menghitung sudut α terlebih dahulu:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{0,2}{0,4} \right) = 26,6^\circ$$

$$F_{3x} = 800 \sin 26,6^\circ = 358 \text{ N}$$

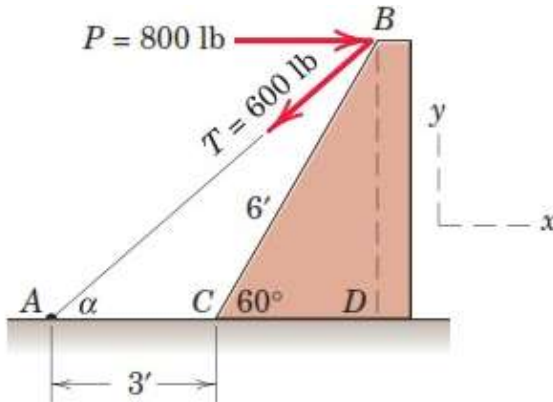
$$F_{3y} = -800 \cos 26,6^\circ = -716 \text{ N}$$

Cara alternatif, komponen skalar $F_3 = F_3 \cdot n_{AB}$ dimana n_{AB} adalah vektor satuan garis AB. Sehingga,

$$\begin{aligned} F_3 &= \frac{\overrightarrow{AB}}{AB} = \frac{800 (0,2\mathbf{i} - 0,4\mathbf{j})}{\sqrt{(0,2)^2 + (-0,4)^2}} \\ &= 800 (0,447\mathbf{i} - 0,894\mathbf{j}) \\ &= 358\mathbf{i} - 716\mathbf{j} \text{ N} \end{aligned}$$

Maka $F_{3x} = 358 \text{ N}$ dan $F_{3y} = -716 \text{ N}$, yang hasilnya sama dengan perhitungan sebelumnya.

Contoh soal 2. Tentukan penjumlahan vektor gaya $\mathbf{P}$ dan $\mathbf{T}$ yang bekerja pada titik $\mathbf{B}$ pada **gambar 7.4**, menjadi gaya ekuivalen tunggal $\mathbf{R}$.

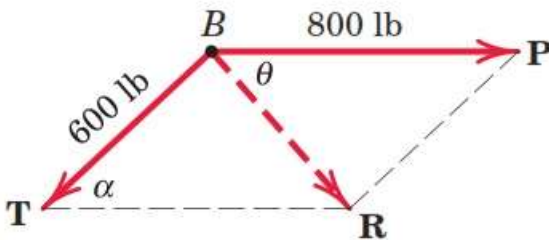


Gambar 7.4. Gambar Soal no 2.

Penyelesaian cara 1 menggunakan analisis grafik. Buat gambar jajaran genjang penjumlahan vektor **P** dan **T**, dengan menggunakan skala yang sesuai, misalnya gunakan skala 1 cm = 100 lb. Tentukan sudut α dengan cara dihitung dan gunakan sudut tersebut pada saat membuat jajaran genjang. Dari **gambar 7.4**, sudut α dapat dihitung sebagai berikut:

$$\tan \alpha = \frac{\overline{BD}}{\overline{AD}} = \frac{6 \sin 60^\circ}{3 + 6 \cos 60^\circ} = 0,866$$

$$\alpha = 40,9^\circ$$

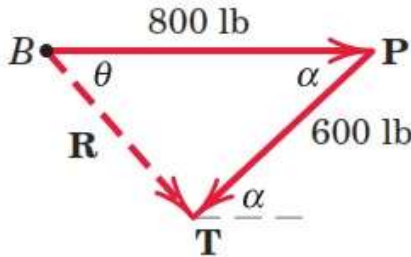


Gambar 7.5. Penyelesaian Soal no 2 dengan Cara 1.

Dari sketsa gambar yang telah dibuat, ukur panjang vektor R dan sudut θ . Diperoleh hasil:

$$R = 525 \text{ lb dan } \theta = 49^\circ.$$

Penyelesaian cara 2 dengan solusi geometrik. Buat segitiga penjumlahan vektor P dan T , sebagaimana **gambar 7.6**.



Gambar 7.6. Penyelesaian Soal no 2 dengan Cara 2.

Sudut α dihitung dengan cara yang sama dengan di atas. Hukum cosinus memberikan:

$$R^2 = (600)^2 + (800)^2 - 2(600)(800) \cos 40,9^\circ = 274.300$$

$$R = 524 \text{ lb}$$

Dengan hukum sinus, sudut θ bisa ditentukan:

$$\frac{600}{\sin \theta} = \frac{524}{\sin 40,9^\circ}$$

$$\sin \theta = 0.750$$

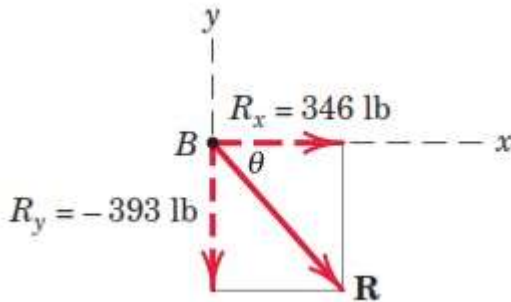
$$\theta = 48,6^\circ$$

Penyelesaian cara 3 dengan solusi aljabar. Dengan menggunakan sistem koordinat x dan y dari **gambar 7.4**, maka akan diperoleh:

$$R_x = \sum F_x = 800 - 600 \cos 40,9^\circ = 346 \text{ lb}$$

$$R_y = \sum F_y = -600 \sin 40,9^\circ = -393 \text{ lb}$$

Maka besar dan arah resultan gayanya, sebagaimana pada **gambar 7.7** adalah:



Gambar 7.7. Penyelesaian Soal no 2 dengan Cara 3.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{(346)^2 + (-393)^2} = 524 \text{ lb}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{|R_y|}{|R_x|} = \tan^{-1} \frac{393}{346} = 48,6^\circ$$

Resultan **R** juga dapat ditulis dalam notasi vektor:

$$\mathbf{R} = R_x \mathbf{i} + R_y \mathbf{j} = 346 \mathbf{i} - 393 \mathbf{j} \text{ lb}$$

7.2.2 Momen

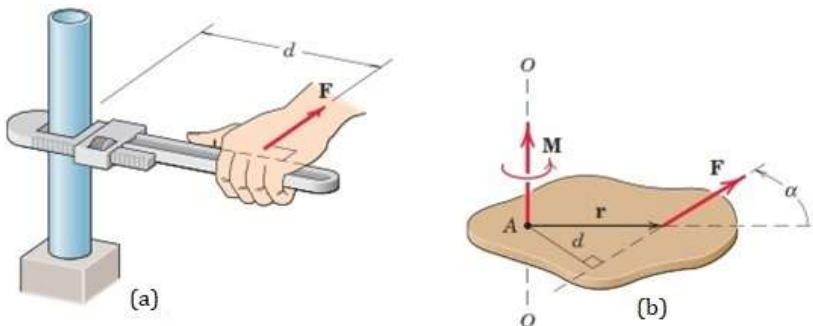
Selain menggerakkan benda ke arah penerapannya, sebuah gaya juga dapat cenderung memutar benda pada suatu sumbu. Kecenderungan memutar ini dikenal sebagai momen gaya (biasa dilambangkan dengan **M**). Momen disebut juga sebagai torsi.

Contoh momen yang paling mudah dipahami diperlihatkan pada **gambar 7.8a**. Salah satu efek dari gaya yang diterapkan tegak lurus terhadap gagang kunci adalah kecenderungan untuk memutar pipa pada sumbu vertikal. Besarnya kecenderungan ini bergantung pada besarnya gaya **F** dan panjang efektif dari gagang kunci. Pengalaman secara umum menunjukkan bahwa tarikan yang tidak tegak lurus terhadap gagang kunci kurang efektif daripada tarikan yang tegak lurus terhadap gagang kunci. Sehingga besarnya momen didefinisikan sebagai:

$$M = Fd \quad (7.5)$$

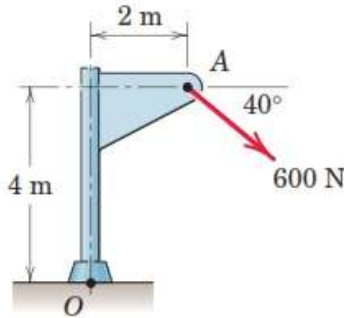
Atau jika gaya yang diterapkan tidak tegak lurus terhadap lengan gayanya (seperti pada **gambar 7.8b**), maka momen adalah:

$$M = F r \sin \alpha \quad (7.6)$$



Gambar 7.8. Konsep Momen Gaya.
Sumber: (Meriam & Kraige, 2012)

Contoh soal 3. Hitung besar momen terhadap titik tumpu O dari gaya 600 N sebagaimana pada **gambar 7.9**.



Gambar 7.9. Gambar Soal no 3.

Penyelesaian cara 1 dengan menentukan lengan momen d (sebagaimana persamaan 7.5) terlebih dahulu (lihat **gambar 7.10a** untuk ilustrasi penentuan panjang lengan momen d)

$$d = 4 \cos 40^\circ + 2 \sin 40^\circ = 4,35 \text{ m}$$

Sehingga momen menjadi:

$$M_O = Fd = 600 \times 4,35 = 2610 \text{ N-m.}$$

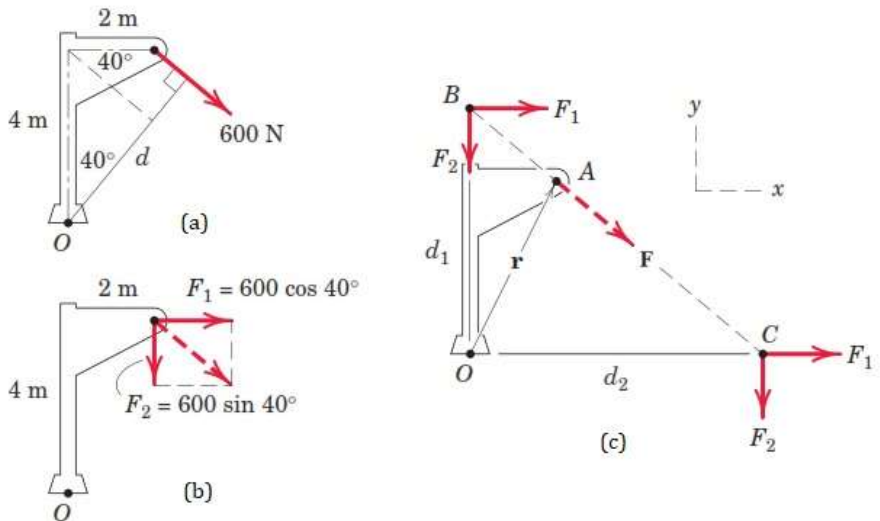
Penyelesaian cara 2 dengan cara menguraikan gaya F pada titik A menjadi komponen gaya vertikal dan horizontal (lihat **gambar 7.10b**). Cara ini dikenal dengan teorema Varignon.

$$F_1 = 600 \cos 40^\circ = 460 \text{ N}$$

$$F_2 = 600 \sin 40^\circ = 386 \text{ N}$$

Sehingga momen menjadi:

$$M_O = 460 \times 4 + 386 \times 2 = 2610 \text{ N-m.}$$



Gambar 7.10. Gambar Uraian Penyelesaian Soal no 3.

Penyelesaian cara 3 menggunakan prinsip *transmissibility*, dengan cara memindahkan gaya 600 N sepanjang garis aksinya ke titik B (lihat **gambar 7.10c**). Ini akan menghilangkan komponen gaya F_2 , dan lengan momen F_1 menjadi:

$$d_1 = 4 + 2 \tan 40^\circ = 5,68 \text{ m}$$

dan momen menjadi:

$$M_O = 460 \times 5,68 = 2610 \text{ N-m.}$$

Penyelesaian cara 4 menggunakan prinsip *transmissibility*, dengan cara memindahkan gaya 600 N sepanjang garis aksinya ke titik C (lihat **gambar 7.10c**). Ini akan menghilangkan komponen gaya F_1 , dan lengan momen F_2 menjadi:

$$d_2 = 2 + 4 \cot 40^\circ = 6,77 \text{ m}$$

dan momen menjadi:

$$M_O = 386 \times 6,77 = 2610 \text{ N-m.}$$

Penyelesaian cara 5 menggunakan analisis vektor.

$$M_O = \mathbf{r} \times \mathbf{F} = (2\mathbf{i} + 4\mathbf{j}) \times 600(\mathbf{i} \cos 40^\circ - \mathbf{j} \sin 40^\circ)$$

$$M_O = -2610\mathbf{k} \text{ N-m.}$$

Tanda minus menunjukkan bahwa vektor berada pada arah z negatif. Besarnya vektor adalah $M_O = 2610 \text{ N-m}$.

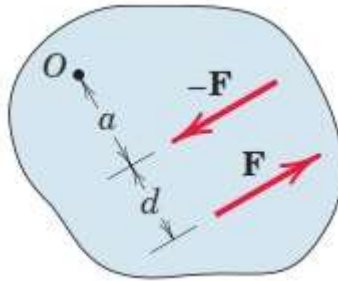
7.2.3 Couple (Kopel)

Couple adalah momen yang dihasilkan oleh dua gaya yang sama besar, arahnya berlawanan, dan *noncollinear*. *Couple* memiliki sifat keunikan tertentu dan memiliki aplikasi penting dalam mekanika.

Perhatikan **gambar 7.11**, dua gaya yang sama besar tetapi berbeda arah. Kedua gaya tersebut tidak bisa digabungkan mejadi satu gaya karena jumlah mereka nol di segala arah. Hanya saja efek dari gaya-gaya tersebut menghasilkan kecenderungan rotasi, dengan arah berlawanan dengan arah jarum jam. Nilai besaran *couple* M tersebut adalah:

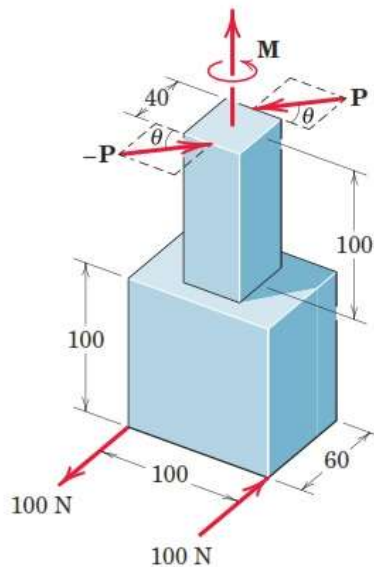
$$M = F(a + d) - Fa \quad (7.7)$$

$$M = Fd \quad (7.8)$$



Gambar 7.11. Ilustrasi *Couple*.
Sumber: (Meriam & Kraige, 2012)

Contoh soal 4. Struktur pejal dikenai *couple* yang masing-masing gayanya sebesar 100 N. Jika kedua gaya tersebut diganti dengan gaya $\mathbf{P}$ dan gaya $-\mathbf{P}$ yang besarnya masing-masing 400 N, tentukan sudut θ yang tepat.



Gambar 7.12. Gambar Soal no 4 (dimensi dalam millimeter).

Penyelesaian. Perhatikan **gambar 7.12**, *couple* yang original memiliki arah putar berlawanan arah jarum jam, yang besarnya:

$$[M = Fd]$$

$$M = 100(0,1) = 10 \text{ N-m.}$$

Gaya-gaya P dan $-P$ juga menghasilkan arah putar berlawanan arah jarum jam, yang besarnya:

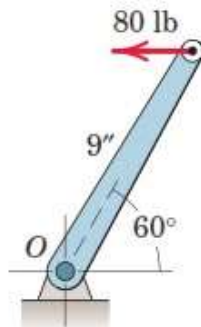
$$M = 400(0,04)(\cos \theta)$$

Dengan substitusi besaran M , maka

$$10 = 16 \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{10}{16} = 51,3^\circ$$

Contoh soal 5. Ganti gaya horizontal 80-lb yang bekerja pada tuas dengan sistem yang ekuivalen yang terdiri dari gaya di titik O dan sebuah *couple*.

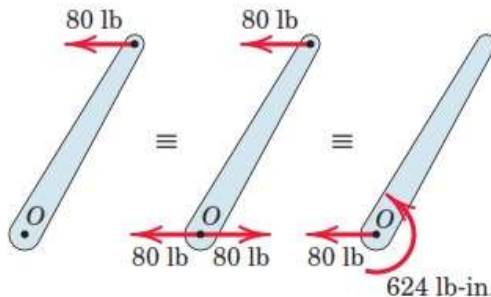


Gambar 7.13. Gambar Soal no 5.

Penyelesaian. Terapkan dua buah gaya yang berlawanan arah pada titik O sebesar 80-lb. Identifikasi *couple* sebagai berlawanan arah jarum jam (perhatikan **gambar 7.14**).

$$[M = Fd]$$

$$M = 80(9 \sin 60^\circ) = 624 \text{ lb-in.}$$



Gambar 7.14. Gambar Penyelesaian Soal no 5.

Sehingga, gaya awal setara dengan gaya 80-lb di titik O dan couple sebesar 624 lb-in.

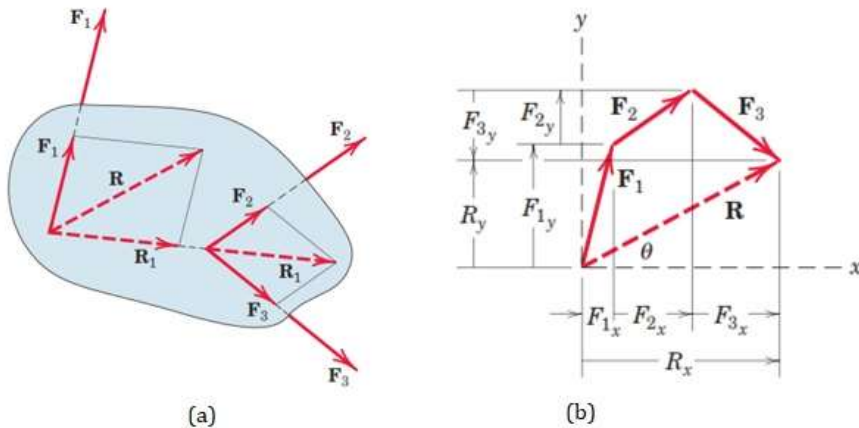
7.2.4 Resultant

Sebagian besar masalah dalam mekanika berurusan dengan sistem gaya, dan biasanya diperlukan untuk mereduksi sistem gaya tersebut menjadi bentuk yang paling sederhana. Resultan dari sistem gaya adalah kombinasi gaya yang paling sederhana yang dapat menggantikan gaya asli tanpa mengubah efek eksternal pada benda tegar dimana gaya diterapkan.

Keseimbangan suatu benda adalah kondisi dimana resultan dari semua gaya yang bekerja pada benda tersebut adalah nol. Kondisi ini dipelajari dalam statika. Sedangkan ketika resultan semua gaya pada benda tidak sama dengan nol, maka percepatan benda diperoleh dengan menyamakan resultan gaya dengan perkalian massa dan percepatan benda. Kondisi ini dipelajari dalam

dinamika. Dengan demikian, penentuan resultan adalah dasar untuk statika dan dinamika.

Sistem gaya yang paling umum terjadi ketika semua gaya bertindak dalam satu bidang x-y, seperti ilustrasikan pada **gambar 7.15a**. Kita bisa mendapatkan besar dan arah resultan gaya **R** dengan membentuk poligon gaya yang ditunjukkan pada **gambar 7.15b**, dimana gaya-gaya ditambahkan dengan bagian kepala vektor bertemu dengan ekor vektor.



Gambar 7.15. Penjumlahan Gaya-gaya menjadi Resultan Gaya.

Sumber: (Meriam & Kraige, 2012)

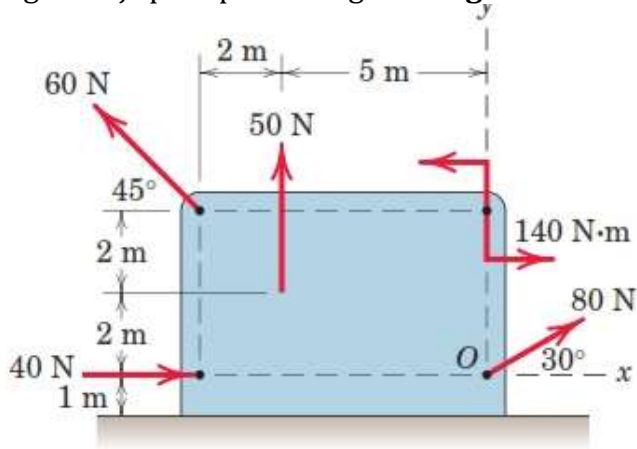
Sehingga untuk setiap sistem gaya koplanar, resultan adalah

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \cdots = \sum \mathbf{F} \quad (7.9a)$$

$$R_x = \sum F_x ; R_y = \sum F_y ; R = \sqrt{(\sum F_x)^2 + (\sum F_y)^2} \quad (7.9b)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x} = \tan^{-1} \frac{\sum F_y}{\sum F_x} \quad (7.9c)$$

Contoh soal 6. Tentukan resultan dari 4 gaya dan satu *couple* yang bekerja pada pelat sebagaimana **gambar 7.16**.



Gambar 7.16. Gambar Soal no 6.

Penyelesaian. Titik O dipilih sebagai titik referensi.

$$[R_x = \sum F_x] \quad R_x = 40 + 80 \cos 30^\circ - 60 \cos 45^\circ = 66,9 \quad \text{N}$$

$$[R_y = \sum F_y] \quad R_y = 50 + 80 \sin 30^\circ + 60 \cos 45^\circ = 132,4 \quad \text{N}$$

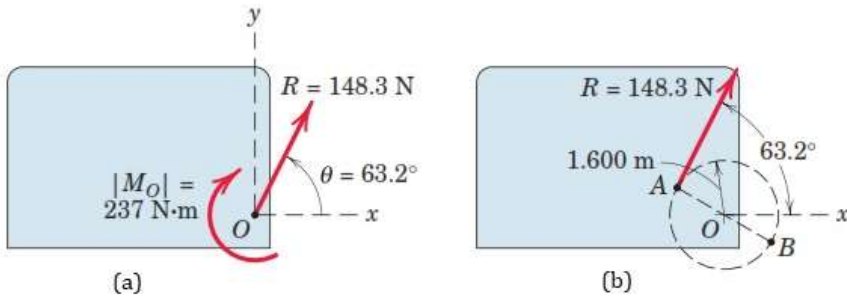
$$\left[R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \right] \quad R = \sqrt{66,9^2 + 132,4^2} = 148,3 \quad \text{N}$$

$$\left[\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x} \right] \quad \theta = \tan^{-1} \frac{132,4}{66,9} = 63,2^\circ$$

$$[M_O = \sum (Fd)]$$

$$M_O = 140 - 50(5) + 60 \cos 45^\circ(4) - 60 \sin 45^\circ(7) = -237 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Gambar 7.17a menunjukkan sistem gaya dan *couple* yang terdiri dari **R** dan M_O



Gambar 7.17. Resultan Gaya dan *Couple*.

Sekarang kita tentukan garis aksi dari **R** sehingga hanya **R** yang mewakili sistem asli.

$$[Rd = |M_O|] \rightarrow 148,3d = 237 \rightarrow d = 1,6 \text{ m}$$

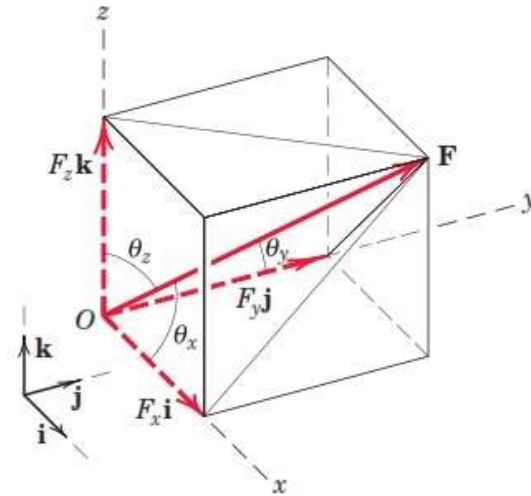
Sehingga resultan **R** dapat diterapkan pada sembarang titik pada garis yang membentuk sudut $63,2^\circ$ terhadap sumbu x dan bersinggungan di titik A pada lingkaran yang berjari-jari 1,6 m dengan pusat O, seperti yang ditunjukkan pada **gambar 7.17b** (ini tanpa memperhatikan arah momen). Karena M_O berlawanan arah jarum jam, maka penempatan **R** yang tepat adalah di titik B.

7.3 Sistem Gaya Tiga Dimensi

7.3.1 Komponen Persegi Panjang

Banyak permasalahan dalam mekanika yang memerlukan analisis tiga dimensi, sehingga perlu untuk menyelesaikan suatu gaya ke dalam tiga komponen gaya yang saling tegak lurus. Seperti diperlihatkan pada **gambar 7.18**, gaya **F** yang bekerja pada titik O

mempunyai komponen persegi panjang, yaitu F_x , F_y , dan F_z , dimana



Gambar 7.18. Tiga Komponen Gaya.
Sumber: (Meriam & Kraige, 2012)

$$F_x = F \cos \theta_x ; \quad F_y = F \cos \theta_y ; \quad F_z = F \cos \theta_z \quad (7.10a)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (7.10b)$$

$$\mathbf{F} = F_x \mathbf{i} + F_y \mathbf{j} + F_z \mathbf{k} \quad (7.10c)$$

$$\mathbf{F} = F(\mathbf{i} \cos \theta_x + \mathbf{j} \cos \theta_y + \mathbf{k} \cos \theta_z) \quad (7.10d)$$

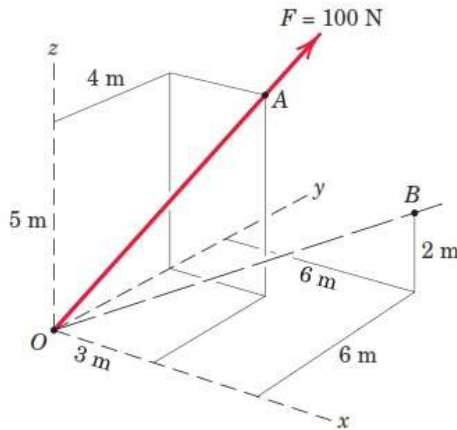
Dimana $l = \cos \theta_x$; $m = \cos \theta_y$; dan $n = \cos \theta_z$, dan $l^2 + m^2 + n^2 = 1$, maka gaya dapat ditulis kembali sebagai:

$$\mathbf{F} = F(l \mathbf{i} + m \mathbf{j} + n \mathbf{k}) \quad (7.10e)$$

Atau $\mathbf{F} = F \mathbf{n}_F$ (7.10f)

dimana $\mathbf{n}_F = (l \mathbf{i} + m \mathbf{j} + n \mathbf{k})$.

Contoh soal 7. Sebuah gaya $\mathbf{F}$ sebesar 100 N seperti pada **gambar 7.19**, garis aksinya melewati titik A yang koordinatnya adalah 3 m, 4 m, dan 5 m. Tentukan (a) komponen skalar x, y, dan z dari $\mathbf{F}$, (b) proyeksi F_{xy} dari $\mathbf{F}$ pada bidang x-y, dan (c) proyeksi F_{OB} dari $\mathbf{F}$ sepanjang garis OB.



Gambar 7.19. Gambar Soal no 7.

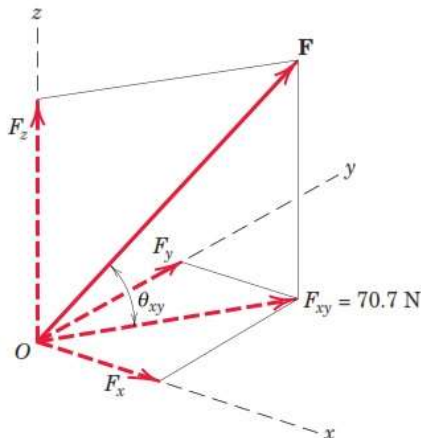
Penyelesaian (a). Kita tulis vektor gaya $\mathbf{F}$ sebagai besarnya dikali dengan vektor satuan $\mathbf{n}_{OA}$.

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= F \mathbf{n}_{OA} = F \frac{\overrightarrow{OA}}{OA} = 100 \left[\frac{3\mathbf{i} + 4\mathbf{j} + 5\mathbf{k}}{\sqrt{3^2 + 4^2 + 5^2}} \right] \\ &= 100(0,424\mathbf{i} + 0,566\mathbf{j} + 0,707\mathbf{k}) \\ &= 42,4\mathbf{i} + 56,6\mathbf{j} + 70,7\mathbf{k} \end{aligned}$$

Sehingga komponen skalarnya adalah

$$F_x = 42,4 \text{ N}; \quad F_y = 56,6 \text{ N}; \quad \text{dan} \quad F_z = 70,7 \text{ N}.$$

Penyelesaian (b). Sudut kosinus θ_{xy} diantara gaya $\mathbf{F}$ dan bidang x-y adalah (perhatikan **gambar 7.20**):



Gambar 7.20. Penyelesaian Soal no 7b.

$$\cos \theta_{xy} = \frac{\sqrt{3^2 + 4^2}}{3^2 + 4^2 + 5^2} = 0,707$$

Sehingga $F_{xy} = F \cos \theta_{xy} = 100 (0,707) = 70,7 \text{ N}$

Penyelesaian (c). Vektor satuan $\mathbf{n}_{OB}$ sepanjang garis OB adalah:

$$\mathbf{n}_{OB} = \frac{\overrightarrow{OB}}{OB} = \frac{6\mathbf{i} + 6\mathbf{j} + 2\mathbf{k}}{\sqrt{6^2 + 6^2 + 2^2}} = 0,688\mathbf{i} + 0,688\mathbf{j} + 0,229\mathbf{k}$$

Proyeksi skalar $\mathbf{F}$ pada garis OB adalah (berlaku perkalian vektor produk skalar):

$$F_{OB} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_{OB}$$

$$F_{OB} = (42,4\mathbf{i} + 56,6\mathbf{j} + 70,7\mathbf{k}) \cdot (0,688\mathbf{i} + 0,688\mathbf{j} + 0,229\mathbf{k})$$

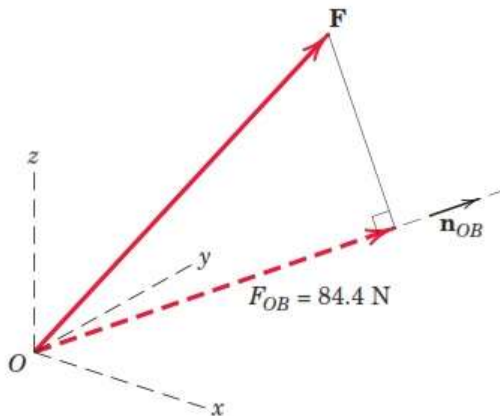
$$F_{OB} = (42,4)(0,688) + (56,6)(0,688) + (70,7)(0,229) = 84,4 \text{ N}$$

Jika proyeksi dinyatakan sebagai vektor, maka

$$\mathbf{F}_{OB} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_{OB}$$

$$\mathbf{F}_{OB} = 84,4(0,688\mathbf{i} + 0,688\mathbf{j} + 0,229\mathbf{k})$$

$$\mathbf{F}_{OB} = 58,1\mathbf{i} + 58,1\mathbf{j} + 19,35\mathbf{k}$$



Gambar 7.21. Penyelesaian Soal no 7c.

7.3.2 Momen dan Couple

Dalam analisis dua dimensi sangat mudah untuk menentukan besaran momen dengan perkalian skalar menggunakan aturan lengan momen. Namun dalam tiga dimensi, penentuan jarak garis tegak lurus antara titik atau garis dan garis

kerja gaya bisa menjadi perhitungan yang rumit. Maka untuk memudahkan analisis, bisa menggunakan pendekatan analisis vektor dengan perkalian silang vektor.

Contoh soal 8. *Turnbuckle* dikencangkan hingga tegangan kabel AB menjadi 2,4 kN. Tentukan momen gaya kabel yang bekerja pada titik A terhadap titik O dan besarnya momen ini.

Penyelesaian. Kita tentukan gaya sebagai vektor:

$$\mathbf{T} = T\mathbf{n}_{AB} = 2,4 \left(\frac{0,8\mathbf{i} + 1,5\mathbf{j} - 2\mathbf{k}}{\sqrt{0,8^2 + 1,5^2 + 2^2}} \right)$$

$$\mathbf{T} = 0,731\mathbf{i} + 1,371\mathbf{j} - 1,829\mathbf{k} \text{ kN}$$

Momen gaya pada titik O adalah:

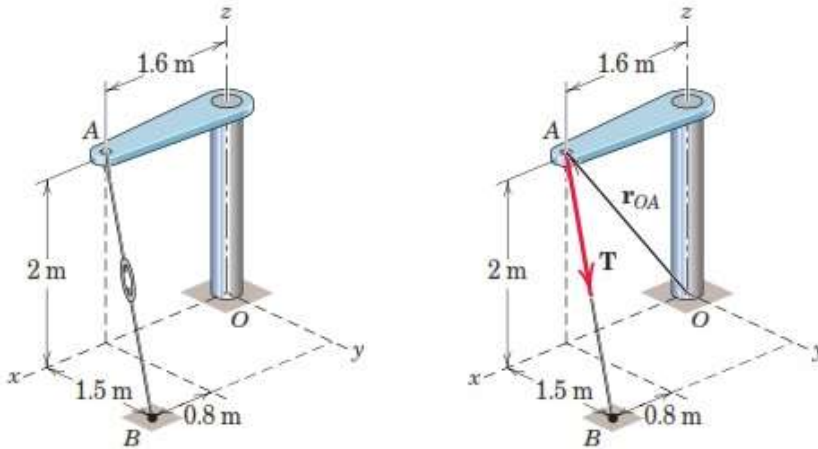
$$\mathbf{M}_O = \mathbf{r}_{OA} \times \mathbf{T}$$

$$\mathbf{M}_O = (1,6\mathbf{i} + 2\mathbf{k}) \times (0,731\mathbf{i} + 1,371\mathbf{j} - 1,829\mathbf{k})$$

$$\mathbf{M}_O = -2,74\mathbf{i} + 4,39\mathbf{j} + 2,19\mathbf{k} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Vektor ini mempunyai besaran:

$$M_O = \sqrt{2,74^2 + 4,39^2 + 2,19^2} = 5,62 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Gambar 7.22. Gambar Soal no 8.

Contoh soal 9. Sebuah gaya sebesar 40 lb diterapkan di A ke gagang tuas yang terpasang ke poros tetap OB. Pengaruh gaya pada poros pada persilangan di titik O dapat digantikan dengan gaya yang setara dengan gaya di titik O dan sebuah kopel. Gambarkan pasangan ini sebagai vektor $\mathbf{M}$.

Penyelesaian. *Couple* atau kopel dapat ditentukan sebagai $\mathbf{M} = \mathbf{r} \times \mathbf{F}$, dimana $\mathbf{r} = \overrightarrow{OA} = 8\mathbf{j} + 5\mathbf{k}$ inci dan $\mathbf{F} = -40\mathbf{i}$ lb, sehingga:

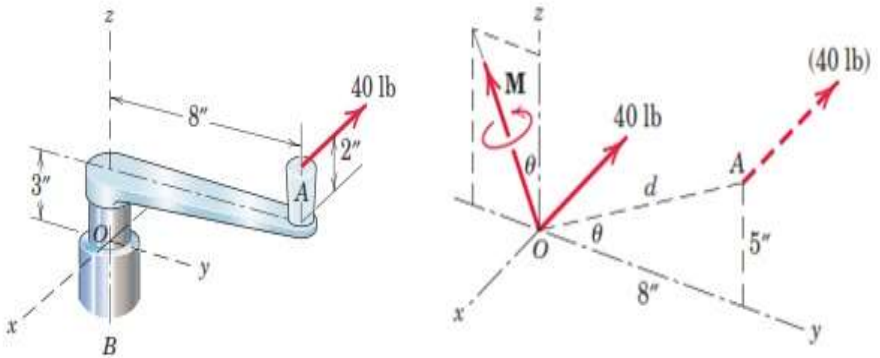
$$\mathbf{M} = (8\mathbf{j} + 5\mathbf{k}) \times (-40\mathbf{i}) = -200\mathbf{j} + 320\mathbf{k} \text{ lb} \cdot \text{in}$$

Atau kita bisa memindahkan gaya 40 lb melalui jarak $d = \sqrt{5^2 + 8^2} = 9,43$ inci ke posisi paralel melalui O, maka didapatkan *couple* $\mathbf{M}$ yang besarnya adalah

$$M = Fd = 40(9,43) = 377 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

Vektor *couple* adalah tegak lurus terhadap bidang dimana gaya digeser, yang berarti ini merupakan momen gaya di titik O. Arah vektor $\mathbf{M}$ pada bidang y-z adalah:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{5}{8} = 32,0^\circ$$



Gambar 7.23. Gambar Soal no 9.

7.3.3 Resultan

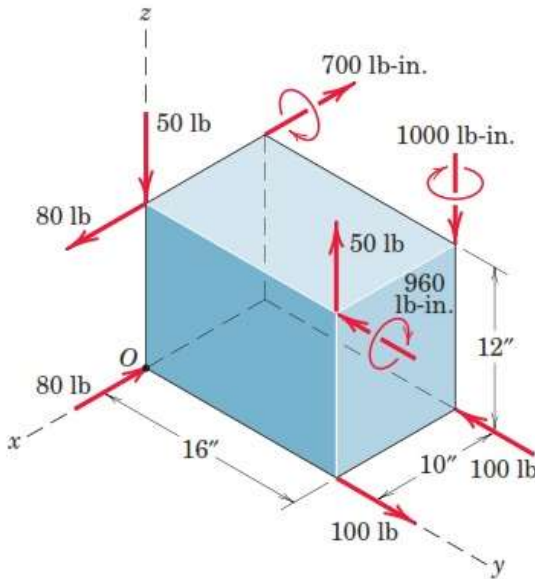
Gaya-gaya dapat dijumlahkan secara vektor untuk menghasilkan resultan gaya **R**. Begitu juga dengan *couple* dapat dijumlahkan menjadi resultan *couple* **M**.

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \dots = \sum \mathbf{F} \quad (7.11a)$$

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 + \mathbf{M}_3 + \dots = \sum (\mathbf{r} \times \mathbf{F}) \quad (7.11b)$$

Contoh soal 10. Tentukan resultan gaya dan sistem kopel yang bekerja pada balok seperti pada **gambar 7.24**.

Penyelesaian. Kita pilih titik O sebagai referensi, maka gaya resultannya adalah:



Gambar 7.24. Gambar Soal no 10.

$$\mathbf{R} = \sum \mathbf{F} = (80-80)\mathbf{i} + (100-100)\mathbf{j} + (50-50)\mathbf{k} = 0 \text{ lb.}$$

Karena penjumlahan gaya adalah nol, maka dapat disimpulkan bahwa resultan (jika ada) merupakan *couple*.

Jumlah momen terhadap titik O adalah:

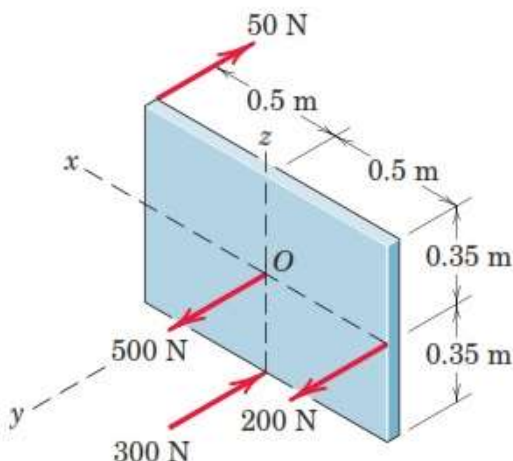
$$M_O = [50(16) - 700]\mathbf{i} + [80(12) - 960]\mathbf{j} + [100(10) - 1000]\mathbf{k}$$

$$M_O = 100\mathbf{i} \text{ lb} \cdot \text{in}$$

Oleh karena itu, resultan terdiri dari kopel yang dapat diterapkan di titik mana saja pada balok.

Contoh soal 11. Tentukan resultan sistem gaya sejajar yang bekerja pada pelat, lihat **gambar 7.25**. Selesaikan dengan pendekatan vektor.

Penyelesaian. Transfer semua gaya ke titik O maka menghasilkan sistem gaya kopel.



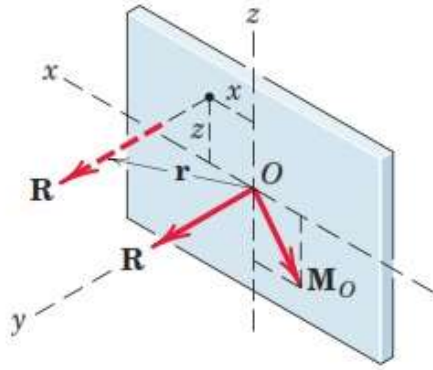
Gambar 7.24. Gambar Soal no 11.

$$\mathbf{R} = \sum \mathbf{F} = (200 + 500 - 300 - 50)\mathbf{j} = 350\mathbf{j} \text{ N}$$

$$\mathbf{M}_O = [50(0,35) - 300(0,35)]\mathbf{i} + [-50(0,50) - 200(0,50)]\mathbf{k}$$

$$\mathbf{M}_O = -87,5\mathbf{i} - 125\mathbf{k} \text{ N-m.}$$

Penempatan $\mathbf{R}$ sehingga hanya mewakili sistem pasangan gaya di atas ditentukan oleh prinsip momen dalam bentuk vektor.



Gambar 7.25. Gambar Penyelesaian Soal no 11.

$$\mathbf{M}_O = \mathbf{r} \times \mathbf{R}$$

$$-87,5\mathbf{i} - 125\mathbf{k} = (x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}) \times 350\mathbf{j}$$

$$-87,5\mathbf{i} - 125\mathbf{k} = 350x\mathbf{k} - 350z\mathbf{i}$$

Dari persamaan vektor di atas, dapat diperoleh dua persamaan skalar, yaitu $350x = -125$ dan $-350z = -87,5$. Jadi $x = -0,357$ m dan $z = 0,25$ m adalah koordinat yang dilalui oleh garis aksi R. Adapun nilai y dapat berupa nilai apa pun, sebagaimana diizinkan oleh prinsip transmisibilitas. Jadi variabel y keluar dari analisis vektor di atas.

7.4 Penutup

Seringkali kita memerlukan untuk merepresentasikan gaya sebagai vektor, untuk menyelesaikan gaya tunggal menjadi beberapa komponen gaya sepanjang arah yang diinginkan, dan seringkali kita memerlukan untuk menggabungkan dua atau lebih gaya secara bersamaan menjadi resultan gaya yang ekuivalen.

Kecenderungan gaya untuk memutar benda terhadap sumbu dijelaskan sebagai momen atau torsi, yang merupakan besaran vektor. Momen gaya sering ditentukan dengan cara menggabungkan momen-momen dari beberapa komponen gaya.

Couple atau kopel adalah momen gabungan dari dua gaya yang sama, berlawanan, dan non-collinear. Efek unik dari kopel adalah menghasilkan putaran atau rotasi terlepas dari dimana gaya berada. Kopel berguna dalam mengganti gaya yang bekerja pada suatu titik dengan sistem kopel gaya pada titik yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Beer, F. P., E. Russell Johnston, J., Dewolf, J. T., & Mazurek, D. F. 2012. *Mechanics Of Materials, Sixth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Bird, J., & Ross, C. 2015. *Mechanical Engineering Principles, Third Edition*. New York: Routledge.
- Hibbeler, R. C. 2004. *Engineering Mechanics Statics, Tenth Edition*. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- John J. Uicker, J., Pennock, G. R., & Shigley, J. E. 2017. *Theory of Machines and Mechanisms, Fifth Edition*. New York: Oxford University Press.
- Meriam, J. L., & Kraige, L. G. 2012. *Engineering Mechanics Statics Volume 1, Seventh Edition*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Osgood, L., Cameron, G., & Christensen, E. (n.d.). *Engineering Mechanics:Statics*. Open Educational Resource (OER).
- Rossmann, J. S., & Dym, C. L. 2009. *Introduction to Engineering Mechanics: A Continuum Approach*. Boca Raton: CRC Press.

BAB 8

GAYA PADA KONSTRUKSI

Oleh Tungga Bhimadi Karyasa

8.1 Pengantar

Awal manusia paling purba beraktivitas, dengan yang perlu dilakukan mereka antara lain, adalah ***memindahkan barang*** dari satu tempat ke tempat lain. Hal ini pertama dilakukan sebelum mengenal berbagai alat bantu. Mereka mengerjakan pemindahan barang tersebut dengan apa yang melekat pada badannya, yaitu tangan dan kaki. Tangan berfungsi untuk mengangkat dan kaki untuk membawa benda yang akan dipindahkan tersebut. Berulangkali mereka (para sesepuh kita tersebut), melakukan kegiatan ini spontan tanpa berpikir bahwa ini merupakan salah satu awal perkembangan inovasi dan kreasi menuju peradaban yang lebih maju dari sebelumnya.

Pemanfaatan tangan dan kaki sehari-hari untuk kondisi barang yang harus dipindahkan yang tidak sedikit, dapat menyebabkan kecapaian, sehingga mereka perlu istirahat dan ini menjadikan kemampuan angkat berkurang karena membuang waktu. Terlebih lagi, komunikasi antar mereka masih dalam taraf ***pengakuan terhadap pribadi*** dan penerimaan harga diri yang begitu rendah. Pengakuan tersebut bukan kearah saling menghargai dan berteman yang dimunculkan. Mereka bisa terjadi saling berbantahan dan saling suruh dalam melakukan pekerjaan pemindahan barang. Bisa jadi apa yang disampaikan salah satu filosof bahwa ilmu itu dimunculkan oleh kreativitas dari orang dalam kondisi terpisah, sendiri merenung, atau tertekan oleh situasi. Inovasi mereka yang dimunculkan adalah bagaimana melakukan pekerjaan membawa barang tersebut menjadi lebih

mudah.

Bisa jadi paling tidak ada 2(dua) inovasi dalam melakukan kegiatan yang membawa benda tersebut dengan lebih mudah, dengan setelah benda yang diangkat, yaitu dilakukan dengan:

1. **Pertama**, benda diangkat oleh tangan dengan menggenggamkan tangan pada lilitan barang paling atas, sehingga mudah diangkat.
2. **Kedua**, benda yang sudah terikat ditempatkan pada batang bagian tengah, kemudian benda dipikul.

Tentunya, dengan perjalanan waktu dalam berabad-abad, inovasi berkembang dan memunculkan bahwa barang yang mereka pindahkan itu meski nenek moyang kita tidak menyebut, kita sebut saja ***sebagai gaya atau beban***.

8.2 Gaya Menurut Hukum Newton

Sampai awal perhitungan tahun masehi, inovasi terjadi yang menuju tahapan dalam membawa kemajuan dengan kemakmuran, dan kemudahan melakukan kegiatan dalam kehidupan. Hal ini terjadi dengan ditunjang komunikasi pakar dan keterlibatan aspek yang dimunculkan untuk modernisasi dimana saling berkaitan. Kemakmuran saat itu terjadi pada daerah tertentu sementara sebagian daerah yang lain masih disebut primitif. Sebenarnya perkembangan inovasi sebelumnya sudah terjadi hampir 8(delapan) abad oleh penerapan dari pemikiran Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) dari penerapan ayat-ayat Al-Qur'an yang sampai pada identitas budaya.

Meskipun perang salib merupakan penyebab hampir semua IPTEK muslim berpindah, tidak begitu mengherankan bahwa inovasi IPTEK yang ***menelorkan Revolusi Industri*** mulai pertama digulirkan itu, berawal dari Irlandia dan Skotlandia. Hal ini disebabkan oleh hubungan antar pakar dari kerajaan Ottoman dengan pakar dari Skotlandia kearah inovasi IPTEK. Perjalanan

Revolusi Industri yang berawal dari pakar Inggris Raya bagian utara ini, menjalar kearah selatan. Salah satu perkembangan inovasi IPTEK dalam pengangkatan beban, menjadi akselerasi yang dipercepat dengan munculnya **pemikiran lantip** dari Newton.

Inovasi itu muncul dari kondisi Newton yang mungkin kecapaian, dengan tidur di bawah pohon rindang. Newton yang lahir 04 Januari 1643 di Woolsthorpe Inggris dengan mendapat gelar sebagai keturunan bangsawan Inggris, mendapatkan inovasi pengertian global tentang beban pada saat Newton terbangun, setelah buah dari pohon tersebut mengenai tubuhnya. Inovasi dari jatuhnya buah tersebut, memberi stimulan dengan hasil pemikirannya untuk berperan dalam menambah perbendaharaan IPTEK yang menuju suatu definisi global.

Tanpa disadarinya, Newton mendapatkan pengertian global dari inspirasi buah jatuh, yaitu: barang atau benda kalau bebas di udara pasti jatuh ke bumi dan barang tersebut jatuh **dengan dipaksa (forced)** oleh bumi. Konotasi ucapan kata yang artinya ...dipaksa... sudah merupakan sebutan yang sesuai dengan karakteristik bangsa Inggris. Tetapi tidak demikian halnya dengan sebutan ...dipaksa atau terpaksa... untuk bangsa NKRI.

Walaupun kita tidak tahu siapa yang mengawali terjemahan force menjadi gaya, tetapi ini merupakan sebutan terbaik. Latar belakang Newton adalah seorang ahli fisika, matematika, dan astronomi. **Penemuan gravitasi** dari Newton ini, memunculkan perbedaan pemahaman antara **masa dan beban** atau gaya. Sehingga **satuan British** yang semula untuk force dinyatakan dengan notasi Lb, dimunculkan menjadi dua satuan yaitu: Lbf (satuan lama yang identik pengertiannya dengan ...force... masih dapat ditulis dengan ...Lb... saja), dan satuan Lbm. Satuan Lbm dimunculkan baru untuk satuan masa sebagai penjelasan harga ...masa... tanpa pengaruh gravitasi.

Latar belakang ketertarikan ilmuwan yang diminati dan ditekuni oleh Newton, adalah menjadi seorang ilmuwan ahli: fisika,

matematika, dan astronomi. Hal ini dapat dibuktikan oleh kecerdasan Newton sampai mendapat gelar kebangsawanan dari Kerajaan Inggris. Hasil pemahaman mekanika klasik, dimunculkan dalam buku oleh Newton tahun 1687, yang mencantumkan **4(empat) hukum Newton** (HK-Newton) tentang gaya atau beban. Berikut ini, pernyataan HK-Newton yang dapat dinyatakan dengan kalimat sederhana, adalah sebagai berikut ini:

1. *HK-Newton pertama* menyatakan bahwa setiap benda selalu mempertahankan kondisinya selama *tidak ada beban atau gaya luar* yang diberikan. Sehingga benda diam tetap diam, dan benda bergerak tetap bergerak dengan kecepatan konstan. Kondisi benda bergerak dengan kecepatan konstan tidak pernah berlaku di permukaan bumi. Hal ini semula dianggap bertentangan. Tetapi belakangan terbukti setelah terdapat peran, terjadi gesekan udara sebagai gaya luar yang semula belum diperhitungkan pakar.
2. *HK-Newton kedua* menyatakan bahwa, jika sebuah benda menerima gaya bekerja dari luar, maka *perubahan harga gaya luar* tersebut sebanding dengan perubahan percepatan yang ditimbulkan.
3. *HK-Newton ketiga* menyatakan bahwa, pemotongan dari berturut-turut yang disampaikan berikut ini menunjukkan,
 - a. *Gaya pada konstruksi* yang membebani sebuah: batang, atau bentangan, atau kolom, jika batang tersebut diceraikan secara mandiri, akan **menimbulkan gaya** pada lokasi pemisahan tersebut.
 - b. *Gaya pada konstruksi* yang membebani sebuah pemisahan sambungan, berasal dari kumpulan batang, atau kumpulan benda terhubung, atau campuran batang-batang dan benda-benda *sebagai struktur*. Apabila sambungan tersebut diceraikan atau dipisahkan, maka akan **menimbulkan gaya** pada lokasi pemisahan tersebut.
 - c. *Gaya pada konstruksi* yang membebani sejumlah

struktur, terhubung secara mandiri atau yang terkait dengan batang atau benda masif. Jika struktur-struktur itu diceraikan maka akan **menimbulkan gaya** pada lokasi pemisahan tersebut.

- d. *Gaya pada konstruksi* membebani sejumlah tumpuan. Tumpuan ini dapat misalnya berupa: landasan sliding, atau sambungan mur-baut, atau tersambung lasan, atau pondasi, maka pada semua lokasi dari sambungan tersebut jika dipisahkan atau diceraikan akan **menimbulkan gaya** pada lokasi pemisahan tersebut.

Gaya yang ditimbulkan dari setiap pemisahan atau penceraian seperti dinyatakan dalam pembahasan alinea-alinea dan point-point di atas tersebut menurut Newton, merupakan pasangan gaya dimana masing-masing bekerja pada setiap sekali pemisahan yang dilakukan. Gaya ini disebut gaya aksi-reaksi, karena memiliki sifat dimana harga gaya masing-masing sama dan arah gaya masing-masing berlawanan.

4. HK-Newton keempat menyatakan bahwa, antara dua benda yang berada pada jarak tertentu dan tidak ada benda lain yang menghalangi, maka keduanya menimbulkan gaya tarik menarik atau tolak menolak yang harganya berbanding terbalik dengan jarak kedua benda tersebut.

Tiga HK-Newton mulai yang pertama tersebut, merupakan peletak dasar pemahaman pemberian gaya aksi-reaksi setelah dilakukan penguraian **beban pada konstruksi** menjadi beban pada bagian paling mendasar dari tindakan pemotongan, yaitu potongan batang yang dilakukan pada konstruksi. Kejadian pemisahan ini, memberikan penambahan gaya, misalnya sebagai beban yaitu gaya pada: batang ditumpu sederhana, dan batang tersebut merupakan bagian dari struktur, sementara itu struktur sebagai benda yang merupakan bagian dari konstruksi. Atas jasa beliau terhadap IPTEK,

sepakat diberikan sebutan satuan Newton ... sebagai satuan gaya yang setara dengan 1 (satu) kg m/detik². Seperti halnya sebutan satuan lain, misalnya untuk: Watt, Joule, Celsius, dan Kelvin.

Buah atau benda apapun jatuh oleh tarikan gravitasi, tangan kita mendorong benda diatas lantai, dome atau kubah masjid tertiuip angin, perjalanan mobil dan kereta api, sampai pesawat terbang mengangkasa, dan pesawat ulang-alik terbang menembus hampir keluar atmosfir yang batal karena berganti jelajah kearah misi untuk mengambil satelit-satelit yang tidak terpakai, semua contoh sebelumnya ini, merupakan kejadian nyata dari berbagai tipe konstruksi dalam menjalankan misinya. Untuk menjadikan agar misi berhasil, evaluasi kekuatan konstruksi dari berbagai benda tersebut perlu agar aman dioperasikan.

Evaluasi terhadap semua konstruksi ini dengan **langkah pertama** atau awal sekali yang dilakukan sebelum yang lain, adalah dengan membuat asumsi bahwa semua benda tersebut digambarkan sebagai konstruksi dengan variasi beban luar. Salah satu contoh sederhana untuk mendapatkan hasil evaluasi kekuatan, buah jatuh diidealisasikan sebagai gambaran bulatan dengan gaya arah ke bawah. Harga gaya sama dengan masa benda (satuan Lbm atau kg) dikalikan harga konstanta gravitasi ($=9.83 \text{ m/det}^2$ di kutub mungkin sekarang harga gravitasi lebih besar karena bumi makin lonjong, dan $=9.78 \text{ m/det}^2$ dengan harga ini mungkin sekarang lebih kecil dan cenderung berkurang karena diameter equator bertambah akibat rotasi bumi). Sepengetahuan penulis, saat masih di Sekolah Dasar sekitar tahun 1973, harga konstanta gravitasi di kutub adalah mendekati 10 m/detik^2 dan di katulistiwa 9.812 m/detik^2 . Akibat diameter ekuator menggembung, dalam 50 tahun, harga gravitasi di ekuator turun 0.32 m/detik^2 . Hal ini sebagai bukti pasti, bahwa kejadian kiamat, dengan ditandai dari membengkaknya diameter ekuator menuju harga maksimum kemampuan bumi menahan.

8.3 Tipe, Jenis, Dan Idealisasi Gaya

Sampai saat ini tinjauan pembagian gaya menurut karakteristik yang ditampakkan dari gaya tersebut sebagai usulan, dibagi menjadi 5(lima) yaitu: idealisasi, jenis, tipe, macam macam, dan perlakuan, dari karakteristik gaya sebagai berikut:

1. ***Idealisasi gaya***, merupakan penggambaran dari penerapan gaya pada konstruksi dalam kondisi nyata yang disebut model. Model tersebut merupakan idealisasi dimana gaya nyata digambarkan sebagai arah panah dan konstruksi gambarkan jika cukup dan perlu hanya sebagai lingkaran.

Idealisasi gaya diperoleh dari gaya riil, misalnya dari: angin, temperatur, perbedaan tekanan, tekanan langsung pada benda, kecepatan korosi, dan defleksi jalan. Idealisasi ini menghasilkan model konstruksi berbeban untuk analisa dan evaluasi sebagai acuan dalam memastikan konstruksi aman dan nyaman.

Gaya pada struktur sebenarnya menjadi gaya **idealisasi** untuk evaluasi kekuatan struktur, memperhatikan kondisi beban riil, antara lain yaitu:

- a. Gaya pada bagian konstruksi berupa beban angin permukaan, *diidealisasikan* menjadi beban terpusat setelah total tekanan dikalikan penampang dimana beban riil bekerja, dengan arah beban sesuai arah angin.
- b. Gaya pada konstruksi mobil berupa defleksi gelombang jalan yang dilalui, *diidealisasikan* menjadi beban terpusat bagian bawah roda.
- c. Gaya pada bagian konstruksi yang berasal dari selisih tekanan bagian atas dan bawah airfoil akibat perbedaan kecepatan dari bagian permukaan sayap pesawat, *diidealisasikan* menjadi berderet gaya terpusat sepanjang penampang airfoil.

- d. Gaya pada konstruksi dari dinding bendungan akibat genangan air, *diidealisasikan* sebagai beban terpusat arah mendatar.
 - e. Gaya pada konstruksi yang berupa penguatan tiang jembatan oleh lilitan baja diamentor sampai 15 cm tegak, *diidealisasikan* sebagai gaya terpusat mengikuti arah lilitan baja dan gaya terpusat dari beban riil berat sendiri lilitan baja arah ke bawah.
2. **Jenis gaya**, merupakan pembagian gaya berdasar satu sifat pembeda yang diberlakukan pada beban riil yang ada di dunia. Satu sifat itu adalah frekuensi. Jenis gaya yang diperoleh, selain karena perbedaan frekuensi juga pola sepanjang penerapannya. Semua gaya riil pada konstruksi yang terjadi misalnya dari angin, menimbulkan variasi frekuensi dan efek berbeda pada pola analisa struktur yang dilakukan. Klasifikasi beban riil dari angin misalnya, berdasar **jenis gaya** diperoleh sesuai perbedaan frekuensi yang diterima, dan yang menimbulkan perbedaan pola Analisa sesuai jenis beban tersebut.
- Angin yang berhembus pada bagian dari konstruksi berikut ini, ditanggapi atau diwujudkan sebagai beban riil yang berbeda satu sama lain, antara lain sebagai berikut:
- a. **Beban statik**, idealisasi untuk frekuensi sekali dalam seumur hidup atau harga *frekuensi diasumsikan nol*. Angin sebagai beban riil dipilih pada kondisi kecepatan maksimum yang menerpa permukaan benda, pola gaya dengan harga konstan sepanjang waktu, dan solusi kekuatan struktur ini dengan analisa beban statik.
 - b. **Beban korosi**, idealisasi dari angin yang menerpa permukaan besi, sehingga menimbulkan korosi meskipun *frekuensi lambat sekali* dan yang makin lama terkumpul makin banyak, pola gaya dengan harga gaya

makin bertambah, dan solusi kekuatan struktur ini dengan analisa beban korosi.

- c. **Beban fatik**, idealisasi dari angin yang menerpa permukaan sayap pesawat dimana terdapat variasi defleksi dan kecepatan sepanjang bentang atau span sayap dengan *frekuensi mulai 2 Hz*. Akibatnya, setiap permukaan sayap menerima beban yang berpola dengan frekuensi rendah (disebut Beban fatik), solusi kekuatan struktur ini dengan analisa beban fatik.
 - d. **Beban Flutter**, idealisasi dari angin yang menerpa sayap dan bergetar dengan amplitudo cukup besar saat take off dan landing dimana hentakan pesawat mulai meninggalkan atau menyentuh landasan memberikan pola beban riil yang disebut beban flutter dengan frekuensi maksimum 50 Hz. Solusi kekuatan struktur ini dengan analisa beban flutter.
 - e. **Beban getaran**, idealisasi angin yang menerpa mobil, memberi efek beban getaran pada pegas-damper yang terhubung antara poros roda dengan chasis atau integral chasis yang menyatu pada body bawah dengan frekuensi sampai 500 Hz, dan solusi kekuatan struktur ini dengan analisa beban getaran. Contoh lain selanjutnya adalah beban: *twis*, *dinamik*, *impact*, dan *gempa*.
3. **Tipe gaya**, merupakan pembagian gaya berdasar penggambaran gaya yang terdiri dari gaya: pada tali, terpusat, merata sepanjang bentang benda, berpola mengikuti fungsi sepanjang bentang benda, dan acak.

8.4 Gaya Pada Konstruksi

Gaya pada konstruksi, dalam hal ini adalah pemunculan gaya yang sebelumnya tidak kelihatan dan akan ditampakkan setelah dilakukan penguraian mengikuti HK-Newton ke-3. Kemudian, gaya pada konstruksi ini dengan digabung pada gaya luar yang ada,

digunakan untuk evaluasi kekuatan apakah konstruksi aman dalam operasionalnya. Solusi evaluasi ini dilakukan dengan **2(dua) pendekatan yang berbeda**, yaitu dengan perhitungan: teori, dan secara komputasi. Sebenarnya, yang disebut **beban riil, menjadi idealisasi beban** pada model yang berupa: gaya (sesuai arah gaya, tarik, dan atau tekan), momen yang merupakan harga gaya terhadap/dikalikan lengan atau jarak gaya yang sampai pada lokasi yang dianalisa (berupa momen lentur dan atau momen puntir).

Pendekatan pertama, evaluasi dengan **menggunakan pendekatan teori** dan khusus untuk bahasan **Bidang Statika Struktur**, bahasan dilakukan berdasarkan HK-Newton ke-3. Uraian gaya pada konstruksi diperoleh dari batang yang ditumpu sederhana. Batang ini merupakan bagian dari struktur, sementara itu struktur sebagai bagian dari **konstruksi**. Hasil uraian ini difokuskan pada batang dari konstruksi yang sudah bisa jadi **...penuh...** gaya-gaya hasil uraian. Hal ini diperlakukan secara perhitungan **teori** menggunakan **Persamaan Keseimbangan**, misalnya, sejumlah batang dengan gabungan gaya-momen yang dikerjakan pada konstruksi sebagai beban luar, dikombinasikan dengan sejumlah gaya-momen hasil pemisahan atau penguraian konstruksi menjadi lebih dari satu struktur, dimana setiap struktur terurai menjadi sub struktur, dan setiap sub struktur untuk seterusnya terurai sampai menjadi sejumlah batang. Pada sejumlah batang tersebut diperlakukan persamaan keseimbangan. Satu batang **hanya dapat diperoleh** satu persamaan keseimbangan.

Solusi atau jawab dari permasalahan yang diberlakukannya dengan persamaan keseimbangan ini, dipengaruhi oleh pola analisa setiap batang yang dilakukan sesuai **keberadaan kesamaan dimensi** dari gaya-momen dalam batang, apakah analisa dibahas dengan dimensi satu, dua, atau tiga. Perhitungan secara teori untuk evaluasi konstruksi ini, dilakukan secara teori berdasarkan sejumlah persamaan keseimbangan yang diperoleh dari sejumlah batang hasil uraian sebuah konstruksi.

Berdasar kajian matematika, bentuk persamaan keseimbangan dengan solusi teori adalah persamaan simultan dengan sejumlah-n persamaan. Untuk menjadikan persamaan simultan atau persamaan keseimbangan agar ada solusi, idealnya persamaan tersebut mengandung n-parameter yang tidak diketahui atau yang harus dicari harganya. Apabila n-jumlah yang tidak diketahui sudah sama dengan n-persamaan simultan yang diperoleh, maka solusi teori yang dilakukan adalah dengan **Prinsip Perhitungan Struktur Statis Tertentu**. Apabila dalam kenyataan, persamaan yang diperoleh tersebut umumnya mengandung kurang dari-n yang dicari, perlu persamaan lain yang masuk ranah **Analisa Struktur Tak Tentu**. Solusi statis tertentu langsung diperoleh dari mencari jawab harga n-persamaan.

Persamaan lain untuk melengkapi sejumlah kekurangan dari n-parameter yang ada, secara solusi teori diperlukan persamaan simultan tambahan. Persamaan tambahan itu diperoleh dengan memperhatikan kondisi batang atau benda untuk dilakukan perlakuan khusus misalnya: syarat persamaan defleksi saat pemisahan dari sambungan struktur, syarat khusus untuk bayang atau benda tertentu yang hanya menerima satu **gaya tarik-tekan** (disebut Truss). Syarat kompatibilitas atau syarat tambahan defleksi terjadi akibat timbulnya gaya dari tumpuan lebih yang tidak hanya bentuk sambungan antar struktur dalam konstruksi, yaitu bentuk sambungan: lasan, mur-baut, fondasi, atau sekedar tekukan batang.

Pendekatan kedua juga dengan bahasan **Bidang Statika Struktur**, evaluasi dengan **menggunakan komputer** yang sudah berkembang pesat untuk bentuk konstruksi apapun, dapat memberikan harga gaya-momen dari pemisahan atau penguraian konstruksi tersebut. Hasil penguraian tidak hanya menjadi batang-batang, tetapi bahkan keseimbangan gaya-momen sampai pada sebarang elemen kecil. Tampilan gaya-momen dapat diwujudkan menjadi sebaran tegangan sepanjang permukaan bahkan sampai

bagian dalam dari elemen pada benda atau batang tersebut. Sehingga sebaran tegangan ini dapat menunjukkan kearah lokasi mana gaya-momen atau beban merambat dalam batang, sekalian menentukan dengan tepat lokasi tegangan maksimum, dimana lokasi tersebut merupakan kajian kekuatan konstruksi sebenarnya.

Perhitungan sebagai solusi untuk evaluasi dengan **menggunakan komputer**, menggunakan cara dan prosedur yang berbeda dengan solusi teori. Prinsip perhitungan dengan komputer bermula dari ditemukan rumus **pendekatan sederhana** terhadap tarikan pegas. Pegas ulir ditarik dengan beban atau gaya tertentu yang memberikan perpanjangan. Percobaan sederhana dilakukan untuk mencatat harga perpanjangan tersebut dari variasi beban yang dilakukan. Hasilnya dilakukan plot dengan sumbu tegak adalah harga beban dan sumbu data adalah harga perpanjangan yang timbul. Ternyata sejumlah data yang diperoleh, menunjukkan hubungan sebagai linier atau dalam kurva tergambar sebagai garis lurus, dalam rumus sederhana ditulis dalam dua cara yaitu:

1. $x = f F$, dimana $...x...$ adalah perpanjangan yang timbul, $...F...$ adalah gaya yang diberikan, dan $...f...$ adalah harga fleksibilitas pegas
2. $F = k x$, dimana $...k...$ adalah harga kekakuan pegas

Para pakar matematik fokus pada pemilihan dari dua cara di atas. Pilihan yang rumusnya cocok untuk diterapkan pada program komputer, adalah **cara-b** dengan lebih dari seperempat abad setelah perang dunia ke-2 fokus mencari solusi pilihan. Hal ini diperoleh, karena dari pendekatan teori harga kekakuan digunakan untuk menghitung defleksi sebagai n-parameter dalam persamaan simultan. Sedang dengan cara-a memberikan harga $...f...$ yang **selalu berubah** untuk variasi gaya-momen luar yang diberikan.

Kemampuan perhitungan yang untuk mendapatkan gaya-momen hasil dari penguraian kosntruksi, dipertegas dengan asumsi bahwa harga kekakuan dari penarikan pegas dapat diperluas untuk

sebuah konstruksi dengan total harga **kekakuan yang konstan** sesuai kondisi. Sejumlah gaya-momen yang diberikan dari luar, dapat memberikan harga defleksi sesuai tempat dimana gaya-beban bekerja. Dari sejumlah defleksi pada lokasi tertentu dimana sama dengan lokasi gaya luar, dan dengan pendekatan fungsi bentuk yang khas untuk setiap konstruksi, titik posisi dimanapun pada konstruksi dapat diperoleh defleksi sesuai koordinat arah yang didefinisikan atau yang diminta.

Perhitungan untuk mendapatkan gaya-momen yang tidak hanya beban statik tetapi juga misalnya beban getaran, dan fatik, dan lainnya sesuai **jenis beban** yang sudah dibahas sebelumnya, pada lokasi dan posisi dimanapun dalam konstruksi dapat dilakukan. **Paket program struktur** dengan bantuan komputer tersebut adalah seperti: NASA Struktural Analysis atau NASTRAN (populer mulai tahun 1985), Structural Analysis Program atau SAP (populer tahun 1976), Flight Analysis for Crack Growth atau FLAGRO (untuk beban fatik populer tahun 1990), dan Computational Fluid Dynamic atau CFD (untuk asumsi beban dari aliran fluida populer tahun 1995).

DAFTAR PUSTAKA

BAB 9

BESAR GAYA GESEK AKIBAT PEMBEBANAN PADA STATIKA STRUKTUR

Oleh Haikal fajri

9.1 Pendahuluan

Dalam dunia teknik sipil dan mekanika, struktur adalah komponen atau elemen yang bertugas mendukung beban dan mempertahankan bentuk dan stabilitasnya (Hariyanto, 2011). Salah satu aspek penting dalam analisis struktur adalah memahami gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut (Rita Anggraini, 2019). Salah satu gaya yang sering menjadi fokus perhatian adalah gaya gesek (Afriandini and Saputro, 2018), terutama akibat pembebanan pada struktur statis (Riyanto, 2010). Gaya gesek adalah gaya yang muncul ketika dua permukaan bersentuhan dan cenderung untuk saling menggesek satu sama lain akibat adanya gaya eksternal (Prastyo *et al.*, 2021). Dalam analisis struktur, gaya gesek menjadi penting karena dapat mempengaruhi distribusi beban, stabilitas, dan kinerja keseluruhan struktur. Struktur statis mengacu pada kondisi ketika sebuah struktur dalam keadaan keseimbangan, artinya gaya-gaya yang bekerja pada struktur tersebut seimbang sehingga tidak ada percepatan pada struktur (Riyanto, 2010). Dalam situasi ini, gaya-gaya gesek antara permukaan akan menjadi penting, terutama ketika struktur tersebut menerima beban yang akan mempengaruhi kestabilan dan keseimbangannya. Pada umumnya, terdapat dua jenis gaya gesek yang harus dipertimbangkan dalam analisis statika struktur:

1. Gaya Gesek Statis: Gaya ini terjadi ketika dua permukaan bersentuhan tetapi tidak ada gerakan relatif di antara keduanya. Gaya gesek statis akan mempengaruhi distribusi beban dan kemampuan struktur untuk mempertahankan posisinya. Faktor-faktor seperti koefisien gesek dan besar permukaan kontak akan berperan dalam menentukan besarnya gaya gesek statis (Prastyo *et al.*, 2021).
2. Gaya Gesek Kinetis: Gaya ini terjadi ketika dua permukaan bersentuhan dan terdapat gerakan relatif di antara keduanya. Gaya gesek kinetis akan mempengaruhi perpindahan dan kecepatan struktur. Dalam beberapa situasi, terjadi peralihan dari gesek statis ke gesek kinetis, yang dapat mempengaruhi perilaku struktur secara keseluruhan (Febriyana, Fitriani and Saraswati, 2022).

Penting untuk memahami gaya gesek dan efeknya pada struktur statis, karena dapat membantu insinyur dan perancang struktur untuk membuat keputusan yang tepat dalam desain dan analisis. Dengan mempertimbangkan gaya gesek, mereka dapat memastikan bahwa struktur memenuhi persyaratan keamanan, stabilitas, dan performa yang diperlukan (Zuhdi *et al.*, 2020). Dalam paparan ini, kami akan menjelaskan lebih lanjut tentang gaya gesek akibat pembebanan pada struktur statis. Kami akan menggali lebih dalam tentang konsep koefisien gesek, cara menghitungnya, dan bagaimana gaya gesek dapat mempengaruhi keseimbangan struktur serta perilaku keseluruhan struktur saat menerima beban eksternal.

9.2 Konsep Dasar Gaya Gesek

Pada bagian ini, akan dijelaskan tentang konsep dasar gaya gesek, termasuk definisi dan prinsip dasar yang mengatur gaya gesek. Konsep koefisien gesekan dan gaya gesek maksimum akan

diperkenalkan untuk memahami bagaimana gaya gesek dihitung dan diperkirakan pada permukaan bersentuhan.

Hukum gesekan adalah prinsip dasar yang menggambarkan sifat gaya gesek antara dua permukaan yang bersentuhan (Syafa'at, 2008). Hukum ini memberikan hubungan antara gaya gesek dengan gaya normal yang bekerja pada permukaan tersebut. Hukum gesekan umumnya dikenal dengan nama Hukum Gesek Amonton, yang diusulkan oleh fisikawan Prancis bernama Charles-Augustin de Coulomb pada abad ke-18 (Musta, Ibrahim and Nurliana, 2021). Hukum Gesek Amonton menyatakan bahwa gaya gesek antara dua permukaan berbanding lurus dengan gaya normal yang dikenakan pada permukaan tersebut. Dalam kata-kata sederhana, semakin besar gaya normal yang bekerja pada permukaan, maka semakin besar pula gaya gesek yang dihasilkan. Secara matematis, Hukum Gesek Amonton dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F_g = \mu \times F \quad (1)$$

di mana:

- F_g adalah gaya gesek antara dua permukaan,
- μ adalah koefisien gesek antara dua permukaan,
- F_n adalah gaya normal (tegangan normal) yang bekerja pada permukaan.

Koefisien gesek (μ) adalah konstanta yang menggambarkan karakteristik gaya gesek antara dua permukaan tertentu (Zuhdi *et al.*, 2020). Ada dua jenis koefisien gesek yang sering digunakan:

1. Koefisien Gesek Statis (μ_s): Koefisien ini menggambarkan gaya gesek saat dua permukaan bersentuhan dalam keadaan diam atau dalam keadaan keseimbangan.
2. Koefisien Gesek Kinetis (μ_k): Koefisien ini menggambarkan gaya gesek saat dua permukaan bersentuhan dalam keadaan bergerak atau dengan gerakan relatif.

Penting untuk di ingat bahwa nilai koefisien gesek (μ) bergantung pada material dan kondisi permukaan yang bersentuhan. Selain itu, nilai koefisien gesek statis (μ_s) biasanya lebih besar daripada koefisien gesek kinetis (μ_k) karena gaya gesek statis pertama kali harus diatasi untuk memulai gerakan relatif antara permukaan (Gunawan, Pudjisuryadi and Lumantarna, 2012). Hukum gesekan sangat relevan dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, seperti dalam desain kendaraan untuk mengoptimalkan daya cengkram ban pada jalan, rem kendaraan untuk menghentikan pergerakan (Ini *et al.*, 2017), konstruksi benda yang bersentuhan, dan banyak lagi. Memahami hukum gesekan memungkinkan insinyur dan ilmuwan untuk merancang dan mengoptimalkan perangkat dan struktur dengan mempertimbangkan gaya gesek yang dihasilkan dalam interaksi permukaan.

9.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Besar Gaya Gesek

Besar gaya gesek dipengaruhi oleh berbagai faktor. Pada bagian ini, akan dibahas faktor-faktor tersebut, termasuk jenis material permukaan, kondisi permukaan, gaya normal yang bekerja, dan kekasaran permukaan. Penjelasan tentang bagaimana mempertimbangkan dan menghitung faktor-faktor ini akan disajikan dalam konteks analisis struktur.

Besar gaya gesek antara dua permukaan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yang termasuk di antaranya:

1. Koefisien Gesek (μ): Koefisien gesek (μ) adalah parameter yang menentukan seberapa besar gaya gesek yang dihasilkan pada permukaan tertentu. Nilai koefisien gesek bisa berbeda antara satu pasangan permukaan dengan pasangan permukaan lainnya, tergantung pada material dan kondisi permukaan. Semakin tinggi nilai koefisien

- gesek (baik statis maupun kinetis), semakin besar gaya gesek yang dihasilkan (Zuhdi *et al.*, 2020).
2. **Tekstur Permukaan:** Tekstur permukaan atau ketidakrataan permukaan dapat mempengaruhi gaya gesek. Permukaan yang lebih kasar atau bergelombang cenderung memiliki gaya gesek yang lebih besar daripada permukaan yang halus. Ketidakrataan permukaan meningkatkan luas kontak antara dua permukaan, sehingga menghasilkan lebih banyak gaya gesek (Nuh *et al.*, 2017).
 3. **Gaya Normal (F_n):** Gaya normal (tegangan normal) yang bekerja pada permukaan juga mempengaruhi besar gaya gesek. Hukum Gesek Amonton menyatakan bahwa gaya gesek berbanding lurus dengan gaya normal. Semakin besar gaya normal yang dikenakan pada permukaan, semakin besar pula gaya gesek yang dihasilkan (Zuhdi *et al.*, 2020).
 4. **Kecepatan Relatif:** Jika ada gerakan relatif antara dua permukaan, maka gaya gesek yang dihasilkan dapat berbeda. Koefisien gesek kinetis (μ_k) biasanya lebih rendah daripada koefisien gesek statis (μ_s), sehingga gaya gesek kinetis cenderung lebih kecil daripada gaya gesek statis (Amirudin *et al.*, 2018).
 5. **Suhu:** Suhu lingkungan juga dapat mempengaruhi besar gaya gesek. Beberapa material mungkin mengalami perubahan sifat gesekan dengan perubahan suhu. Koefisien gesek material dapat bervariasi pada suhu yang berbeda (Purboputro, 2020).
 6. **Kelembaban:** Tingkat kelembaban pada lingkungan juga dapat mempengaruhi gaya gesek. Permukaan yang basah atau licin cenderung memiliki koefisien gesek yang berbeda dari permukaan yang kering (Putri1), 2) and Eti Sulandari2), 2019).
 7. **Material Permukaan:** Karakteristik material permukaan, termasuk sifat mekanis dan kimia, dapat mempengaruhi

besar gaya gesek. Material yang berbeda dapat menghasilkan koefisien gesek yang berbeda (Ini *et al.*, 2017).

9.4 Gaya Gesek Statis

Gaya gesek statis adalah gaya gesek yang muncul ketika dua permukaan bersentuhan, tetapi tidak ada gerakan relatif di antara keduanya. Ini berarti, meskipun ada upaya untuk memindahkan atau menggerakkan salah satu permukaan, gaya gesek statis menghalangi gerakan tersebut dan menyebabkan permukaan-permukaan tersebut tetap dalam keadaan diam atau dalam keadaan keseimbangan. Gaya gesek statis adalah salah satu komponen gaya kontak yang kompleks dan terjadi pada permukaan yang bersentuhan. Sifatnya mencegah gerakan awal antara dua permukaan yang datar ketika mereka dalam kontak fisik, misalnya antara benda padat dan permukaan lain, atau antara dua benda padat yang bersentuhan.

Karakteristik penting dari gaya gesek statis adalah bahwa nilainya lebih besar daripada gaya gesek kinetis. Artinya, untuk mulai menggerakkan permukaan yang dalam keadaan diam, dibutuhkan tenaga lebih besar untuk mengatasi gaya gesek statis awal daripada untuk menjaga pergerakan setelah permukaan mulai bergerak. Gaya gesek statis sangat relevan dalam banyak aplikasi sehari-hari, seperti ketika kita mendorong atau menarik sebuah benda berat di atas permukaan, mengangkat barang, atau menggunakan rem pada kendaraan untuk menghentikan pergerakan. Memahami gaya gesek statis sangat penting dalam analisis struktur, mekanika, dan desain perangkat teknik karena mempengaruhi performa dan stabilitas sistem. Penting juga untuk memahami bahwa setelah permukaan bergerak relatif, gaya gesek akan berubah menjadi gaya gesek kinetis, yang memiliki nilai lebih rendah daripada gaya gesek statis. Transisi dari gaya gesek statis ke

gaya gesek kinetis ini sering disebut "patah gesek" dan dapat mempengaruhi perilaku sistem atau struktur secara keseluruhan.

Hukum Gaya Gesekan Statis

Ada dua hukum gesekan statis yaitu gaya gesekan statik maksimum tidak bergantung pada bidang kontak, dan gaya gesekan statis maksimum sebanding dengan gaya normal yaitu, jika gaya normal meningkat, gaya eksternal maksimum yang dapat ditahan benda tanpa bergerak, juga meningkat.

Koefisien Gaya gesek statis

Nilai koefisien gesekan statis (μ_s) bervariasi tergantung pada pasangan permukaan tertentu yang bersentuhan. Setiap kombinasi material dan kondisi permukaan dapat memiliki koefisien gesekan statis yang berbeda. Nilai μ_s sering diukur atau ditentukan melalui eksperimen atau dengan menggunakan data empiris yang dikumpulkan dari pengujian laboratorium.

Secara umum persamaan koefisien gesekan statis dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_s = \frac{F}{N}$$

di mana:

μ_s = koefisien gesekan statis

F = gaya gesek statis

N = gaya normal

9.5 Gaya Gesek Kinetis

Gaya gesek kinetis, juga dikenal sebagai gaya gesek dinamis, adalah gaya gesek yang muncul ketika dua permukaan bergerak relatif satu sama lain. Gaya gesek kinetis terjadi setelah permukaan melewati fase gaya gesek statis dan telah mulai bergerak atau berada dalam keadaan bergerak konstan.

Beberapa karakteristik dari gaya gesek kinetis adalah:

1. Permukaan dalam keadaan bergerak: Gaya gesek kinetis terjadi ketika dua permukaan yang bersentuhan bergerak relatif satu sama lain. Setelah permukaan bergerak, gaya gesek yang dihasilkan menjadi gaya gesek kinetis.
2. Koefisien gesek kinetis (μ_k): Gaya gesek kinetis dapat dihitung menggunakan koefisien gesek kinetis (μ_k). Koefisien gesek kinetis ini biasanya memiliki nilai yang lebih kecil daripada koefisien gesek statis (μ_s), karena permukaan yang bergerak cenderung memiliki gesekan yang lebih rendah daripada ketika permukaan dalam keadaan diam.
3. Memperlambat gerakan: Gaya gesek kinetis bekerja pada permukaan yang bergerak dan berlawanan arah dengan gerakannya. Ini berarti gaya gesek kinetis menyebabkan pergerakan relatif antara dua permukaan menjadi lebih lambat.
4. Konsisten selama gerakan: Selama dua permukaan bergerak satu sama lain dengan kecepatan yang konstan, gaya gesek kinetis tetap konstan sepanjang gerakan tersebut, asalkan tidak ada perubahan dalam koefisien gesek atau karakteristik permukaan.
5. Diperlukan untuk mempertahankan gerakan: Gaya gesek kinetis harus diatasi terus-menerus untuk mempertahankan gerakan. Misalnya, pada kendaraan yang bergerak, gaya gesek kinetis dari ban kendaraan dengan jalan raya menyebabkan pergerakan kendaraan menjadi lebih lambat, sehingga memerlukan tenaga dari mesin untuk tetap bergerak.

Hukum Gaya Gesek Kinetis:

Ada empat hukum gesekan kinetik yaitu: gaya gesekan kinetik (F_k) berbanding lurus dengan reaksi normal (N) antara dua

permukaan yang bersentuhan. Dimana, μ_k = konstanta disebut koefisien Gesekan kinetik. Hukum kedua, gaya gesekan kinetik tidak bergantung pada bentuk dan luas permukaan yang bersentuhan. Ketiga yaitu tergantung pada sifat dan bahan permukaan yang bersentuhan. Hukum keempat yakni tidak tergantung pada kecepatan benda yang bersentuhan asalkan kecepatan relatif antara benda dan permukaan tidak terlalu besar.

Rumus Gesekan Kinetik

Koefisien gesekan kinetik dilambangkan dengan huruf Yunani "mu" (μ), dengan subskrip "k". Gaya gesekan kinetik adalah μ_k kali gaya normal pada benda yang dinyatakan dalam satuan Newton (N).

Persamaan gesekan kinetik dapat ditulis sebagai:

$$F_k = \mu_k N$$

dimana,

F_k = gaya gesek kinetis

μ_k = koefisien gesek kinetis

N = gaya normal

9.6 Penerapan dalam Analisis Struktur

Dalam analisis struktur, gaya gesek harus dipertimbangkan dengan cermat, terutama pada elemen yang bergerak atau saling bersentuhan. Pada bagian ini, akan dibahas tentang penerapan gaya gesek dalam analisis struktur, termasuk bagaimana gaya gesek diperhitungkan dalam persamaan keseimbangan dan bagaimana dampaknya pada kinerja dan kestabilan struktur.

Contoh penerapan gaya gesek dalam analisis struktur adalah pada kasus sambungan atau sendi antar elemen struktur, seperti dalam desain baut dan sambungan berengsel. Mari kita lihat bagaimana gaya gesek diperhitungkan dalam analisis struktur pada kasus sambungan baut:

1. Contoh Sambungan Baut:

Misalkan kita memiliki dua elemen struktural yang harus disambungkan menggunakan baut. Saat baut diberi torsi untuk menarik dua elemen tersebut, ada dua gaya gesek yang perlu diperhatikan:

a. Gaya Gesek Antara Permukaan Baut dan Permukaan Sambungan:

Pada saat baut diberi torsi, gaya gesek akan muncul antara permukaan baut dan permukaan sambungan pada elemen struktural. Gaya gesek ini menghambat pergerakan baut dan berkontribusi pada tegangan dan deformasi pada sambungan.

b. Gaya Gesek Antara Permukaan Sambungan:

Selain itu, di antara permukaan sambungan dua elemen struktural, gaya gesek juga dapat muncul. Gaya gesek ini mempengaruhi deformasi dan pergerakan relatif antara elemen struktural.

2. Perhitungan dalam Persamaan Keseimbangan:

Dalam analisis struktur sambungan baut, gaya gesek diperhitungkan dalam persamaan keseimbangan sebagai bagian dari gaya reaksi pada sambungan. Gaya gesek ini harus seimbang dengan gaya eksternal dan gaya reaksi lainnya untuk menjaga keseimbangan struktur secara keseluruhan.

3. Dampak pada Kinerja dan Kestabilan Struktur:

Penerapan gaya gesek dalam analisis struktur sambungan baut dapat memiliki beberapa dampak pada kinerja dan kestabilan struktur:

a. Efisiensi Transmisi Gaya: Gaya gesek antara baut dan sambungan dapat menyebabkan hilangnya efisiensi transmisi gaya. Efisiensi yang rendah berarti sebagian

energi terbuang dalam bentuk panas akibat gesekan, yang dapat mengurangi kekuatan sambungan.

- b. Penurunan Kestabilan: Gaya gesek yang berlebihan pada sambungan baut atau sendi dapat menyebabkan deformasi dan penurunan kestabilan struktur. Jika gesekan tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan struktur menjadi tidak stabil atau bahkan gagal
- c. Perubahan Deformasi dan Penyusutan: Gaya gesek antara elemen struktural dapat menyebabkan deformasi yang tidak diinginkan dan perubahan bentuk pada sambungan. Hal ini dapat mengganggu kinerja struktur secara keseluruhan dan mengurangi umur layanan struktur.

Untuk menghadapi dampak ini, dalam desain sambungan baut, diperlukan pemilihan material dan pelumasan yang tepat untuk mengurangi gaya gesek dan mengoptimalkan kinerja dan kestabilan struktur. Penerapan gaya gesek dengan benar dalam analisis dan desain sambungan baut memastikan bahwa sambungan memiliki kekuatan yang cukup, efisiensi yang baik, dan tingkat kinerja yang memadai selama umurnya.

Contoh lainnya penerapan gaya gesek dalam analisis struktur adalah pada analisis sambungan baut pada balok baja. Pertimbangan gaya gesek dalam analisis ini sangat penting karena mempengaruhi kestabilan, kekuatan, dan kinerja struktur balok. Misalkan kita memiliki dua balok baja yang akan dihubungkan dengan baut. Saat menerapkan beban lateral pada sambungan, seperti beban angin atau beban gempa, balok akan mengalami gaya lateral yang mencoba untuk mendorong dua balok tersebut bergerak secara relatif satu sama lain. Gaya lateral ini akan menciptakan gaya gesek antara permukaan kontak di antara balok dan baut.

Bagaimana gaya gesek diperhitungkan dalam analisis struktur:

1. Persamaan Keseimbangan:

Dalam analisis struktur, gaya gesek antara permukaan baut dan permukaan balok dimasukkan sebagai salah satu gaya reaksi yang mempengaruhi persamaan keseimbangan. Gaya gesek ini akan dihitung dengan menggunakan koefisien gesek kinetis (μ_k) karena balok bergerak relatif terhadap baut. Gaya gesek dinamis ini akan menjadi bagian dari persamaan keseimbangan untuk menganalisis respon dan kinerja struktur.

2. Dampak pada Kinerja Struktur:

Gaya gesek antara baut dan balok dapat menyebabkan penurunan efisiensi transfer beban. Beberapa dampak pada kinerja struktur adalah:

- a. Energi hilang: Gaya gesek kinetis akan menyebabkan energi hilang pada sambungan, sehingga mengurangi efisiensi transfer beban antara balok dan baut.
- b. Perubahan deformasi: Gaya gesek juga dapat menyebabkan deformasi yang tidak diinginkan pada sambungan, yang dapat mempengaruhi kekakuan dan respons struktur.

3. Dampak pada Kestabilan Struktur:

Gaya gesek juga dapat mempengaruhi kestabilan struktur, terutama jika gesekan menyebabkan perubahan deformasi pada sambungan. Perubahan deformasi dapat mengganggu keseimbangan dan menyebabkan perubahan bentuk struktur secara keseluruhan, yang dapat berdampak pada kestabilan dan kinerja struktur secara keseluruhan.

Dalam analisis sambungan baut, perhitungan dan pemilihan koefisien gesek yang tepat sangat penting untuk memastikan kestabilan dan keamanan struktur. Koefisien gesek yang terlalu rendah dapat menyebabkan kegagalan baut atau balok bergeser secara relatif, sedangkan koefisien gesek yang terlalu

tinggi dapat menyebabkan kelebihan gaya gesek dan kerusakan pada sambungan.

Kesimpulannya, penerapan gaya gesek dalam analisis struktur adalah hal yang penting karena dapat mempengaruhi kinerja dan kestabilan struktur. Memahami dan memperhitungkan gaya gesek secara tepat membantu insinyur dalam merancang sambungan dan struktur yang aman, efisien, dan dapat berkinerja dengan baik dalam menghadapi beban-beban eksternal yang berbeda.

9.7 Studi Kasus

Pada akhir bab, beberapa studi kasus tentang besar gaya gesek akibat pembebanan pada struktur akan dipaparkan. Studi kasus ini akan memberikan contoh nyata tentang bagaimana gaya gesek dapat mempengaruhi perilaku struktur dalam berbagai kondisi pembebanan. Studi kasus berikut akan memberikan contoh nyata tentang bagaimana gaya gesek dapat mempengaruhi perilaku struktur dalam berbagai kondisi pembebanan pada sebuah jembatan gantung.

Studi Kasus: Pengaruh Gaya Gesek pada Jembatan Gantung

Deskripsi Struktur:

Jembatan gantung adalah struktur penyeberangan yang didukung oleh dua menara dan kabel gantung yang menghubungkan menara-menara tersebut. Jembatan gantung ini memiliki deck atau lintasan yang dilalui kendaraan dan pejalan kaki.

Pembebanan dan Analisis:

Jembatan gantung sering kali dikenakan pada beban berat, seperti lalu lintas kendaraan, pejalan kaki, dan beban cuaca seperti angin. Ketika kendaraan atau pejalan kaki bergerak di atas jembatan, permukaan deck jembatan dan roda kendaraan berada dalam kontak fisik, dan gaya gesek menjadi sangat relevan dalam menganalisis perilaku jembatan.

Pengaruh Gaya Gesek:

1. Statis: Ketika kendaraan atau pejalan kaki berhenti atau dalam keadaan diam di atas jembatan, gaya gesek statis antara permukaan deck dan roda kendaraan atau sepatu pejalan kaki harus diatasi untuk memulai gerakan. Gaya gesek statis ini menentukan apakah kendaraan atau pejalan kaki dapat dengan mudah memulai pergerakan dari posisi diam atau apakah diperlukan gaya tambahan untuk memulai gerakan.
2. Dinamis: Ketika kendaraan atau pejalan kaki bergerak di atas jembatan, gaya gesek dinamis terjadi antara permukaan deck dan roda kendaraan atau sol sepatu pejalan kaki. Gaya gesek dinamis ini mempengaruhi bagaimana kendaraan atau pejalan kaki melintasi jembatan. Koefisien gesek kinetis yang digunakan dalam analisis akan mempengaruhi seberapa lancar atau berat gerakan di atas jembatan.
3. Cuaca dan Kelembaban: Kondisi cuaca dan kelembaban juga dapat mempengaruhi gaya gesek pada jembatan. Misalnya, ketika jembatan basah karena hujan atau embun, koefisien gesek dapat meningkat, sehingga mengurangi kinerja kendaraan dalam mengatasi permukaan jembatan yang licin.

Dampak pada Perilaku Struktur:

1. Pada saat kendaraan atau pejalan kaki memasuki atau meninggalkan jembatan, gaya gesek statis dapat menyebabkan tindakan yang kurang halus dan lebih banyak gaya yang harus diberikan untuk memulai gerakan.
2. Pada saat kendaraan bergerak di atas jembatan, gaya gesek dinamis akan menyebabkan perlawanan terhadap gerakan kendaraan. Ini akan mempengaruhi kenyamanan

- berkendara dan mempengaruhi kecepatan maksimum yang dapat dicapai kendaraan.
3. Faktor cuaca dan kelembaban dapat menyebabkan perubahan kondisi permukaan jembatan yang bersentuhan dan mempengaruhi nilai koefisien gesek, yang pada gilirannya mempengaruhi kinerja kendaraan dan keamanan pengguna jembatan.

Pentingnya memperhitungkan gaya gesek dalam desain dan analisis jembatan gantung adalah untuk memastikan kinerja yang aman dan optimal. Koefisien gesek yang tepat dan pemahaman tentang bagaimana gaya gesek mempengaruhi struktur memungkinkan insinyur untuk merancang jembatan dengan baik, mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan, keamanan, dan kinerja jembatan dalam berbagai kondisi pembebanan.

9.8 Kesimpulan

Sub-bab ini telah membahas tentang besar gaya gesek akibat pembebanan pada struktur statis. Gaya gesek adalah gaya yang muncul ketika dua permukaan bersentuhan dan dapat mempengaruhi perilaku dan kinerja struktur. Terdapat dua jenis gaya gesek utama, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis.

Pada gaya gesek statis, gaya gesek muncul ketika dua permukaan bersentuhan tetapi tidak ada gerakan relatif di antara keduanya. Gaya gesek statis harus diatasi untuk memulai gerakan antara permukaan yang bersentuhan. Di sisi lain, pada gaya gesek kinetis, gaya gesek muncul ketika dua permukaan bergerak relatif satu sama lain.

Pentingnya mempertimbangkan gaya gesek dalam analisis struktur sangatlah signifikan. Gaya gesek dapat mempengaruhi kinerja dan kestabilan struktur dalam berbagai kondisi pembebanan. Dalam banyak kasus, gaya gesek yang berlebihan

dapat menyebabkan deformasi, pergeseran, atau kegagalan struktur secara keseluruhan. Oleh karena itu, pemilihan koefisien gesek yang tepat dan perhitungan yang akurat tentang gaya gesek sangatlah penting dalam desain dan analisis struktur.

Dalam analisis struktur, gaya gesek harus diperhitungkan dalam persamaan keseimbangan untuk memastikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Memahami bagaimana gaya gesek mempengaruhi struktur membantu insinyur dalam merancang struktur yang aman, efisien, dan tahan lama. Penerapan gaya gesek yang tepat dalam analisis struktur memastikan kinerja dan kestabilan struktur yang optimal, serta mengurangi potensi kerusakan dan kegagalan yang dapat terjadi akibat gaya gesek yang berlebihan.

Dengan memperhitungkan besar gaya gesek akibat pembebanan pada struktur statis secara cermat, insinyur dapat merancang dan membangun struktur yang kuat, aman, dan handal, serta mampu bertahan dalam berbagai kondisi pembebanan. Hal ini merupakan aspek penting dalam bidang rekayasa struktur untuk menjamin keberhasilan dan ketahanan struktur dalam menghadapi tuntutan lingkungan dan penggunaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriandini, B. and Saputro, D. N. 2018. 'Analisis Gaya Geser Dasar Seismik Berdasarkan SNI-03-1726-2002 dan SNI 1726:2012 pada Struktur Gedung Bertingkat', *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 19(2), p. 95. doi: 10.30595/techno.v19i2.3453.
- Amirudin, D. *et al.* 2018. 'Pengaruh Luas Permukaan Benda Terhadap Koefisien Gesek Statis Dan Kinetis Pada Bidang Miring Dengan Menggunakan Video Tracker', VII, pp. SNF2018-PE-91-SNF2018-PE-97. doi: 10.21009/03.snf2018.01.pe.12.
- Febriyana, M. M., Fitrian, A. and Saraswati, D. L. 2022. 'Prosiding Seminar Nasional Sains Analisis Eksperimen Gaya Gesek Benda Pada Bidang Miring Berbasis Logger Pro', *Jurnal Analisis Eksperimen Gaya Gesek*, 3(1), pp. 7–13.
- Gunawan, A., Pudjisuryadi, P. and Lumantarna, B. 2012. 'Kemungkinan Penggunaan Base Isolation', pp. 1–8.
- Hariyanto, A. 2011. 'Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum_', 89, pp. 1–72.
- Ini, S. *et al.* 2017. 'Pengujian variabel pengereman dan karakteristik bahan pada kampas rem cakram berbahan komposit serbuk kayu dan serbuk karbon'.
- Musta, R., Ibrahim, M. S. and Nurliana, L. 2021. 'Identifikasi Senyawa Penyusun Produk Cair Hasil Pirolisis Aspal Alam dari Lawele Kabupaten Buton', *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 9(1), p. 1. doi: 10.33394/hjkk.v9i1.3568.
- Nuh, M. *et al.* 2017. 'Analisa Koefisien Gesek Ban Mobil Terhadap Struktur Permukaan Jalan', *ATDS SAINTECH-Journal of Engineering E-ISSN*, 3(1), pp. 651–660.

- Prastyo, A. U. *et al.* 2021. 'Eksperimen Gaya Gesek Pada Bidang Miring Untuk Menguji Koefisien Gesek Statis Dan Kinetis', *JIE.UPY Journal of Industrial Engineering Universitas PGRI Yogyakarta*, 1(1), pp. 1–8.
- Purboputro, P. I. 2020. 'PEMBUATAN KAMPAS REM MENGGUNAKAN VARIASI BUTIRAN MESH ALUMUNIUM SILICON (Al-Si) 50, 60, 100 DENGAN SERBUK KAYU JATI TERHADAP NILAI TINGKAT KEKERASAN, KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK', *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 21(1), pp. 35–45. doi: 10.23917/mesin.v21i1.9753.
- Putri¹, K. G., ², A. and Eti Sulandari². 2019. 'Uji Nilai Kekesatan Permukaan Jalan Berdasarkan Jenis Pada Lapisan Permukaan Pada Perkerasan Lentur', pp. 1–11.
- Rita Anggraini. 2019. 'ANALISIS SAMBUNGAN BALOK KOLOM BETON BERTULANG PADA DAERAH RAWAN GEMPA (Studi Kasus : Gedung Pasar Inpres Blok IV Kota Padang)', *Jurnal Rekayasa*, 9(1), pp. 1–19. doi: 10.37037/jrftsp.v9i1.3.
- Riyanto, H. 2010. 'Perilaku Statis Struktur Beton Pracetak dengan Sistem Sambungan Basah', *Jurnal Teknik Sipil UBL*, 1(1), pp. 1–11.
- Syafa'at, I. 2008. 'Tribologi, Daerah Pelumasan Dan Keausan', *Jurnal Momentum UNWAHAS*, 4(2), pp. 21–26.
- Zuhdi, M. *et al.* 2020. 'Perubahan Sudut Stabilitas Lereng Pasir Lepas Akibat Pengaruh Getaran Gempa', *Jurnal Penelitian dan Pembelajaran Fisika Indonesia*, 2(1), pp. 1–5.

BAB 10

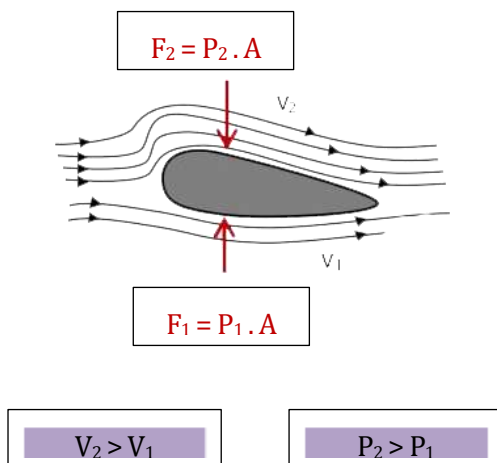
GAYA PADA PESAWAT ANGKAT SEDERHANA

Oleh Amallia

10.1 Gaya Angkat

Pernahkah kamu berfikir bagaimana cara sebuah pesawat dapat terbang tanpa adanya bantuan penompang di bawah badan pesawatnya? Di bab ini akan membahas tentang bagaimana pengaruh gaya yang di hasilkan sebuah pesawat saat posisi terbang atau mengangkat badan pesawatnya. Jelas dipengaruhi oleh kekuatan yang memungkinkannya diangkat tinggi. Untuk kasus ini, jika kita perhatikan posisi sayap pesawat terlihat tidak seimbang, karena bagian melintang pesawat memiliki sandaran yang saling melengkapi. Sedangkan bagian atas lebih banyak mengalami pasang surut dibandingkan bagian dasarnya. Itu membuat aliran angin di atas menjadi lebih kencang dan menghasilkan arus angin yang lebih menonjol. Dalam hal ini jika kita amati posisi sayap pesawat tidak terlihat simetris, itu dikarenakan pada bagian penampang pesawat memiliki struktur dibagian belakang yang lebih rata. Sedangkan pada bagian atasnya memiliki posisi lengkungan yang lebih dibandingkan dengan bagian bawah badan pesawatnya. Hal itu yang menjadikan faktor kendala pada proses aliran udara di bagian atas sangat sedikit dan sempit serta rapat sehingga menghasilkan jumlah aliran udara lebih besar. Kepadatan angin yang lebih tinggi ini akan mengakibatkan tekanan dibagian atas lebih sempit dibandingkan pada bagian bawah badan pesawat. Itulah yang menyebabkan badan pesawat bisa terangkat ke udara.

Proses bagaimana kerja gaya angkat pada bagian sayap pesawat adalah salah satu penerapan hukum yang dinamakan hukum Bernoulli. Penerapan hukum Bernoulli pada pengoperasian pesawat terbang didasarkan pada bentuk sayap pesawat terbang yang memungkinkan sayap pesawat terbang terangkat. Menurut hukum Bernoulli, peningkatan kecepatan udara menurunkan jumlah tekanan pada udara. Adanya perbedaan tekanan yang dihasilkan antara bagian atas dan bawah sayap pesawat membuat posisi sayap pesawat terdorong keatas. .Fungsi gaya angkat pada sayap bidang merupakan salah satu pemanfaatan dari suatu peraturan yang disebut dengan peraturan Bernoulli. Penggunaan Regulasi Bernoulli terhadap aktivitas suatu pesawat terletak pada bentuk sayap pesawat yang memperhitungkan daya angkat sayap pesawat tersebut. Sesuai dengan peraturan Bernoulli, seiring peningkatan kecepatan, pengurangan tegangan gas. Perbedaan tekanan yang tercipta antara bagian atas dan bawah sayap membuat posisi sayap pesawat terdorong ke atas.



Gambar 10.1. Proses Aliran Udara gaya angkat pada sayap pesawat

10.2 Hukum Bernoulli

Dalam aturan Bernoulli, peningkatan kecepatan cairan akan menyebabkan penurunan tegangan pada aliran. Teori ini merupakan penyederhanaan dari teori Bernoulli yang menyatakan bahwa banyaknya energi pada suatu titik dalam aliran tertutup sama dengan jumlah energi pada titik lain pada aliran yang serupa. Aturan ini diadopsi dari seorang peneliti berasal dari Belanda bernama Daniel Bernoulli.

Daniel Bernoulli adalah salah satu peneliti yang merasa bahwa perilaku yang teratur dapat diketahui melalui gagasan tentang partikel-partikel kecil. Ini adalah salah satu standar ilmu material yang dibuatnya. Pemanfaatan pedoman ini adalah dalam gagasan ketegangan dan tingkat elemen cair. Pedoman Bernoulli adalah penjelasan bahwa kecepatan cairan unik berbanding terbalik dengan tingkat ketegangan yang ditemuinya selama pemindahan. Semakin cepat cairan unik bergerak, semakin sedikit ketegangan yang dihadapinya. Di sisi lain, semakin lambat cairan kuat bergerak, semakin bertambah besar nilai ketegangannya.

Prinsip Bernoulli juga berlaku pada aliran fluida yang termampatkan dan aliran fluida yang tidak termampatkan. Berikut adalah penjelasannya :

1. Aliran termampatkan (compressible flow)

Aliran termampatkan atau aliran padat digambarkan dengan penyesuaian ketebalan massa atau juga disebut ketebalan cairan di sepanjang aliran. Contoh aliran tersebut adalah udara, bensin, gas alam, dan lainnya.

Bentuk persamaan Bernoulli dalam aliran termampatkan adalah sebagai berikut :

$$tetap = \frac{v^2}{2} + \emptyset + w$$

Keterangan :

$\emptyset$ = energi potensial gravitasi per massa (berat) ,

jika gravitasi konstan maka nilai $\emptyset = gh$

w = entalpi fluida persatuan massa (joule)

2. Aliran tak termampatkan (incompressible flow)

Aliran ini merupakan aliran yang memiliki sifat tidak ada penyesuaian terhadap berapa banyak massa atau kekentalan suatu zat cair. Contoh jenis untuk situasi ini adalah aliran air, jenis minyak, emulsi dan lain-lain.

Pada bentuk persamaan Bernoulli memiliki 2 asumsi yang berlaku yaitu memiliki aliran bersifat tunak (*steady state*) dan tidak terdapat gesekan (*inviscid*) sehingga persamaan dalam aliran tak termampatkan adalah sebagai berikut :

$$tetap = p + \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2$$

Keterangan :

v = kecepatan fluida (m^3 /sekon)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = relatif terhadap suatu acuan

p = tekanan fluida (Pa)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

Bentuk perumusan prinsip ini dilakukan oleh Bernoulli menggunakan operasi dasar dari bentuk matematika. Sehingga besar gaya angkat dalam hukum teori ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F_{angkat} = F_1 - F_2 = \frac{1}{2} \rho (V_2^2 - V_1^2) A$$

Keterangan :

$F_1 - F_2$ = Gaya angkat (N)

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)

F_1 = Gaya pada pesawat ke arah bawah

F_2 = Gaya pada pesawat ke arah atas

V_1 = kecepatan udara pada sayap bagian atas (m/s)

V_2 = kecepatan udara pada sayap bagian bawah (m/s)

A = luas penampang pesawat (m^2)

Pada posisi ketinggian tertentu, seorang kendali pesawat (pilot) akan menyeimbangkan posisi ketinggiannya dengan mengatur laju kecepatan dari pesawat tersebut. Sehingga pada kondisi ini, nilai gaya berat pesawat akan bernilai sama dengan gaya angkat yang dihasilkan.

10.3 Sistem Kemudi Pesawat

Pada saat pesawat terbang, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi arah kecepatannya, yaitu yang disebut sistem kendali pesawat, dimana proses manuver dilakukan. Saat mesin berbelok ke kanan, kemudi digerakkan ke kiri dengan arah berlawanan dan sebaliknya. Jadi, di bagian belakang mesin terdapat tuas kontrol yang diatur secara horizontal dan vertikal, yang menentukan arah kecepatan mesin. Selain itu, selama penerbangan, posisi ekor pesawat bergerak ke segala arah yang ditentukan oleh aileron di kedua ujung sayap utama. Dengan itu, pergerakan pesawat ke atas atau ke bawah ditentukan dengan bantuan elevator, yang terletak di bidang horizontal di dua sayap belakang.

Ada beberapa bagian utama pesawat yang berpengaruh terhadap pesawat agar bisa terbang dengan sempurna, diantaranya yaitu :

1. Badan pesawat (*Fuselage*), ruangan kendali (*cockpit*) dan ruangan penumpang (*Passenger*).

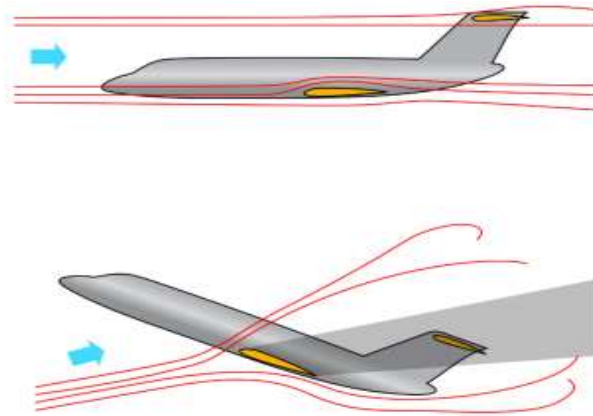
2. Bagian sayap (*Wing*), terdapat Aileron berfungsi untuk “*Rolling*” pesawat miring kiri-kanan dan flap untuk menambah luas area sayap (*Coofficient Lift*) yan berguna untuk menambah gaya angkat pesawat.
3. Bagian ekor sayap (*Horizontal Stabilazzer*), terdapat elevator yang berguna untuk pitching nose up-down.
4. Sirip tegak (*Vertical Stabilizer*) terdapat Rudder berguna untuk Yawing belok kiri dan belok kanan.
5. Mesin (*Engine*) berfungsi sebagai Thrust atau gaya dorong yang menghasilkan kecepatan pesawat.
6. Bagian roda (*landing gear*), berfungsi untuk proses mendarat/ landing atau tinggal landas/Take-off.

10.4 Aeoridinamika Pesawat

Fitur yang disederhanakan atau yang biasa di sebut dengan Aerodinamika adalah bagian dari elemen yang diatur dengan investigasi pengembangan udara, terutama yang berhubungan dengan item yang kuat seperti pada benda padat. Fitur yang disederhanakan sering digunakan sebagai bahan bakar gas, dengan perbedaan bahwa elemen gas berlaku untuk semua gas, dan memiliki pedoman seperti gas yang dikeluarkan oleh punggung manusia.

Aerodinamika tidak lain adalah ilmu yang mempelajari sifat-sifat udara, reaksinya dan akibatnya akibat pergerakan udara pada benda di udara atau gerak benda di udara. Aerodinamika karenanya juga berarti pengetahuan atau penelitian tentang pergerakan benda-benda di udara, padahal pengertian ini erat kaitannya dengan penerbangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi aerodinamika, yaitu:

1. Suhu Udara (Temperatur)
2. Tekanan Udara
3. Kecepatan Aliran Udara
4. Kepadatan dara



Gambar 10.2. Aerodinamika pada posisi badan pesawat

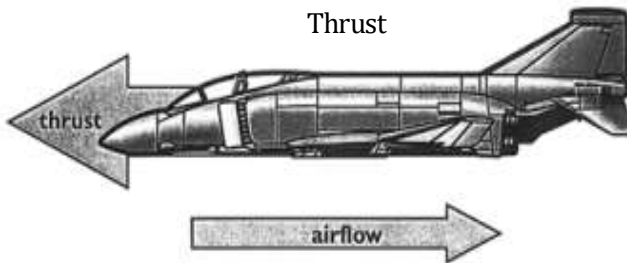
Ketika sebuah benda bergerak melalui udara, gaya diciptakan karena gerakan relatif antara udara dan permukaan benda. Aliran aerodinamis dibagi menjadi subsonik, supersonik dan supersonik. Aerodinamika digunakan dalam perancangan pesawat terbang karena sangat penting dan membawa beberapa keuntungan seperti peningkatan kecepatan dan efisiensi bahan bakar. Salah satu aspek desain bodi adalah aerodinamika. Ketika sebuah benda bergerak melalui angin, gaya diciptakan oleh gerakan relatif antara angin dan permukaan tubuh.

10.5 Gaya Yang Bekerja Pada Pesawat Terbang

Mengontrol pesawat (sebagai pilot) dalam penerbangan tergantung pada kemampuan untuk merencanakan dan mengoordinasikan penggunaan energi dan mengendalikan pesawat untuk memvariasikan daya dorong, tarik, angkat, dan berat pesawat. Direktur harus mengontrol keseimbangan kekuatan-kekuatan ini. Gaya-gaya yang bekerja pada pesawat terdiri dari:

1. Gaya Dorong (*Thrust*)

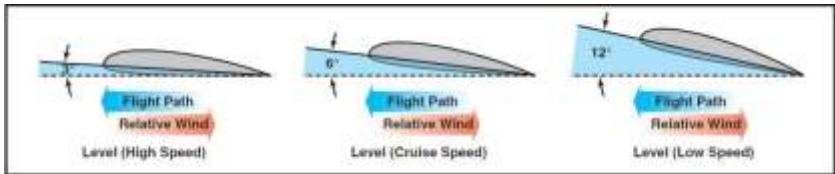
Thrust adalah dorongan yang dihasilkan oleh motor (*powerplant*)/baling-baling. Kekuatan ini berbanding terbalik dengan gaya menahan (*drag*). Jika ragu, respons dorongan berbaris dengan poros longitudinal. Namun hal ini umumnya tidak terjadi, seperti yang akan dijelaskan nanti. Untuk menambah kecepatan yang stabil, maka dorongan dan tarikan harus dilanjutkan seperti sebelumnya untuk menjaga ketinggian pesawat yang tepat.



Gambar 10.3. Gaya Dorong (*Thrust*)
(Heriyanto, 2008)

Jika pada ketinggian penerbang (*level*) gaya dorong berkurang yang mengakibatkan pesawat berputar balik. Selama posisi gaya dorong tidak benar-benar hambatan, pesawat akan terus berputar balik sampai kecepatannya tidak siap untuk menahan pesawat di udara. Begitupun sebaliknya, dengan asumsi kekuatan mesin selain dorongan akan lebih besar dari pada hambatan, pesawat akan terus melaju kencang. Terbang lurus dan datar (*straight and level*) dapat menstabilkan posisi terbang dengan kecepatan rendah hingga cepat. Pilot harus mampu mengatur posisi pendekatan bagian pesawat dan mendorong semua sistem

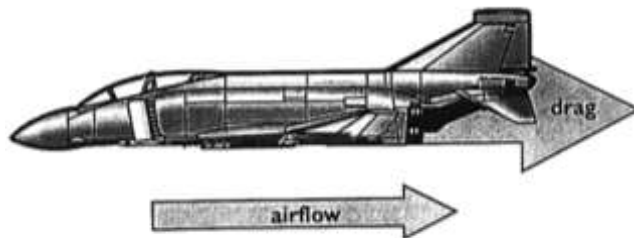
kecepatan jika pesawat harus ditahan pada ketinggian tertentu (*level flight*).



Gambar 10.4. Jangkauan kecepatan dalam 3 daerah
(Heriyanto, 2008)

2. Gaya Hambat (*Drag*)

Drag adalah gaya tahan atau drag yang disebabkan oleh hambatan aliran udara dari sayap, badan pesawat, dan objek lainnya. Hambatan menentang dorongan dan bereaksi mundur sejajar dengan angin relatif.



Gambar 10.5. Gaya Hambat (*Drag*)
(Heriyanto, 2008)

Hambatan atau penghalang (*Drag*) dalam suatu penerbangan memiliki dua jenis yaitu *parasite drag* dan *induced drag*. *Parasite Drag* diartikan bahwa tidak memiliki manfaat sama sekali terhadap proses penerbangan pesawat, sedangkan *Induced Drag* dihasilkan dari proses kerja sayap

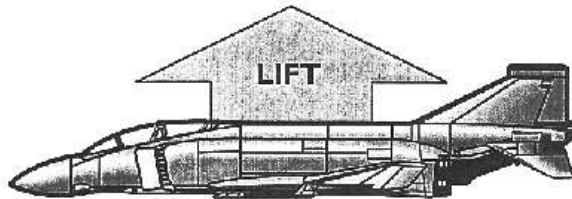
dengan gaya mengangkat (*lift*). *Parasite Drag* memiliki dua bagian, yaitu :

- a. Bentuk drag yang disebabkan oleh gangguan aliran udara melalui kerangka. Komponen ini paling mudah dikurangi saat mendesain pesawat terbang. Semakin ramping bentuk planar, semakin banyak bentuk yang tercipta yang mengurangi tarikan parasit.
- b. Gesekan kulit permukaan, rintangan yang tercipta akibat gesekan dengan permukaan pesawat. Jenis ini paling sulit direduksi karena tidak memiliki permukaan yang benar-benar halus. Permukaan yang kasar seperti itu membalikkan aliran udara yang lancar di atas permukaan dan menciptakan hambatan terhadap aliran yang halus.

Karakteristik aerodinamis sayap dalam penerbangan datar menghasilkan daya angkat yang diperlukan, tetapi ini hanya dapat dicapai karena sejumlah alasan : Dalam pembangkitan gaya angkat, sayap pesawat menghasilkan gaya angkat dengan menggunakan energi aliran udara bebas. Selama pembangkitan gaya angkat, tekanan pada permukaan sayap lebih besar dari pada di ujung, sehingga udara yang dihasilkan cenderung mengalir dari daerah bertekanan tinggi di ujung sayap ke tengah daerah bertekanan rendah di atas sayap. Di area ujung sayap, tekanan ini cenderung menyamakan, menghasilkan aliran lateral keluar dari bagian bawah sayap ke ujung sayap. Aliran lateral ini menciptakan kecepatan rotasi ke arah udara di ujung sayap dan mengalir ke *trailing edge* sayap sehingga aliran di sekitar ujung sayap berbentuk dua massa bergerak berputar yang mengikuti saat sayap bergerak maju.

3. Gaya Angkat (*Lift*)

Lift dibuat oleh aliran udara melalui penampang sayap untuk membentuk sebuah airfoil. Proses ini diciptakan oleh aksi dinamis dari udara yang mengenai sayap dan menciptakan gaya angkat melalui bagian tengah sayap yang tegak lurus terhadap arah terbang. Formasi sayap hanya efektif jika sayap terus-menerus "menyerang" udara baru. Jika mesin ingin tetap hidup, ia harus terus bergerak. Angkat sebanding dengan kuadrat kecepatan pesawat.



Gambar 10.6. Lift (Angkat)
(Heriyanto, 2008)

Dalam mode nyata, posisi pesawat tidak berubah terus menerus pada ketinggian yang telah ditentukan secara horizontal dan mempertahankan sudut yang sama saat kecepatan dinaikkan. Tindakan mengangkat meningkat dan mesin meningkat dengan meningkatkan gaya angkat. Untuk menjaga kayuhan dan bobot tetap sama, dan untuk menjaga mesin tetap lurus dan rata dalam kondisi gaya yang berlawanan dalam kondisi yang sama, kayuhan harus dikurangi saat kecepatan bertambah. Biasanya hal ini dilakukan dengan mengurangi angle of attack yaitu dengan menurunkan hidung pesawat. Penampang elevator pada sebuah mesin dapat dipelajari sebagai berikut:

a. Airfoil

Airfoil menciptakan mode angkat dengan dua langkah: perbedaan tekanan dan tumbukan udara, dan dilihat pada penampang, permukaan atas lebih cembung daripada permukaan bawah. Dan membuat garis bayangan dari tepi depan ke tepi belakang.

b. Hukum Bernoulli

Prinsip ini memiliki kepastian yang dibawakan oleh seorang matematikawan Swiss bernama Daniel Bernoulli (1700 -1782), yang menjelaskan konsep dinamika fluida.

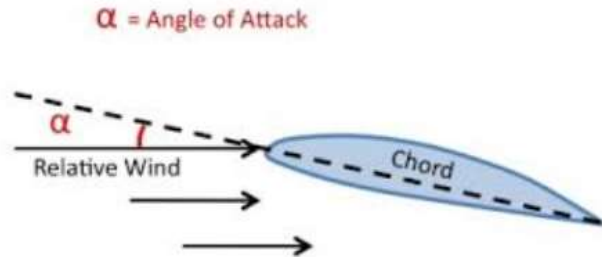
c. Efek Coanda

Faktor penting lain yang membuat pesawat terbang adalah efek Coanda. Struktur sayap yang disebutkan dalam teori prinsip Bernoulli tidak hanya mengurangi aliran udara sehingga lebih cepat di bagian atas sayap dari pada di bagian bawah, tetapi juga menciptakan udara yang didistribusikan ke bawah. Cairan yang mengalir pada permukaan benda yang melengkung cenderung mengikuti bentuk benda yang melengkung. Itulah mengapa efek ini dikenal sebagai efek Coanda dan berhubungan dengan ahli aerodinamis Henri-Marie Coanda (tahun 1885 hingga 1972).

d. Ram Air

Faktor penting lain yang membuat pesawat terbang adalah efek Coanda. Struktur sayap yang disebutkan dalam teori prinsip Bernoulli tidak hanya mengurangi aliran udara sehingga lebih cepat di bagian atas sayap daripada di bagian bawah, tetapi juga menciptakan udara yang didistribusikan ke bawah. Cairan yang mengalir pada permukaan benda yang melengkung cenderung mengikuti bentuk benda yang melengkung. Itulah mengapa efek ini dikenal sebagai efek Coanda dan

berhubungan dengan ahli aerodinamis Henri-Marie Coanda (1885-1972).

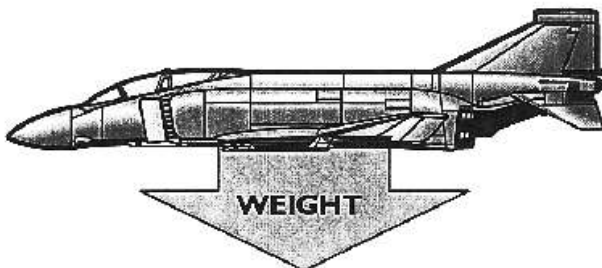


Gambar 10.7. Benturan udara pada bagian bawah sayap
(Prasetya, 2016)

4. Gaya Gravitasi (Weight)

Gaya berat atau *weight* ini adalah perpaduan massa beban pesawat itu sendiri, badan pesawat, bahan bakar, serta bagasi. Beban berat ini akan mengakibatkan badan pesawat tertarik kebawah karena adanya gaya gravitasi bumi. Sehingga hal ini berlainan dengan gaya angkat (*lift*) dan bergerak secara vertikal melalui *Center of Gravity* (CG) dari pesawat.

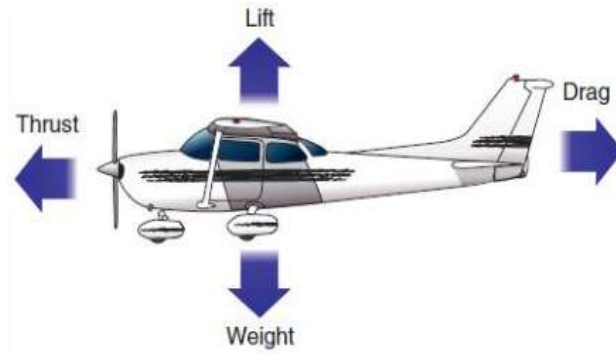
Pusat gravitasi ditentukan oleh desain keseluruhan, itulah sebabnya pesawat bisa terbang. Perancang pesawat menentukan seberapa jauh pusat tekanan (CP) bergerak. Mereka kemudian menempatkan pusat gravitasi di depan pusat tekanan sehingga pada kecepatan tertentu pesawat memiliki kemampuan yang cukup untuk kembali ke kondisi terbang di mana kekuatan lawan berada di posisi yang sama.



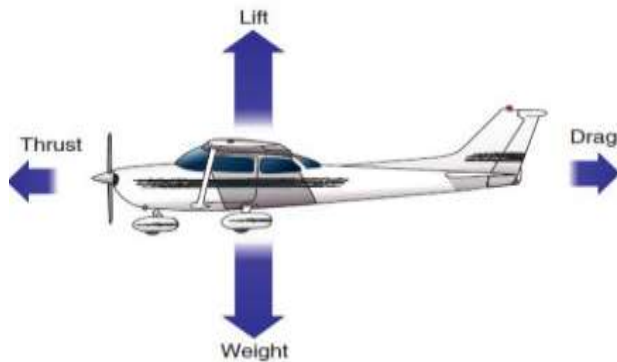
Gambar 10.8. Weight
(Heriyanto, 2008)

Gaya angkat ini (*lift*) menghilangkan massa pesawat (berat yang dihasilkan oleh gravitasi bumi yang bekerja pada massa pesawat). Berat itu bergerak turun melalui pusat gravitasi pesawat. Dengan penerbangan yang mulus dan stabil, saat daya angkat sama dengan berat, pesawat dalam keadaan stabil dan tidak kehilangan ketinggian. Jika stroke berkurang dibandingkan dengan beratnya, mesin kehilangan ketinggian. Jika kayuhan lebih besar dari beratnya, tinggi mesin akan bertambah. Hal ini memerlukan keseimbangan satu sama lain antara *Lift* dan *Weight* untuk bisa memposisikan pesawat pada posisi yang stabil ketika berada diatas udara.

Sederhananya semua gaya berlawanan memiliki nilai sama besar dan membatalkan efek dari setiap gaya. Dari beberapa referensi kejelasan hubungan atau secara visual antar keempat gaya ini diterangkan dengan kurang jelas. Sehingga dari permasalahan tersebut akan coba diilustrasikan dengan sebuah gambar/ visual pesawat, bahwa nilai dari semua vektor gaya terlihat sama. Seperti yang di perlihatkan pada gambar berikut ini:



Gambar 10.9. Hubungan yang tidak tepat (Salah)
(Sumber : Ilmu terbang.com)



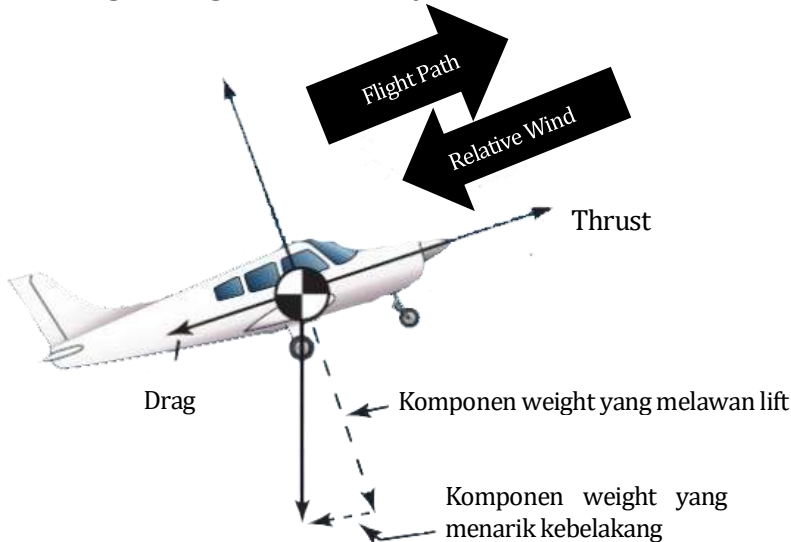
Gambar 10.10. Hubungan yang tepat (Benar)
(Sumber : Ilmu terbang.com)

Sehingga posisi Penerbangan lurus dan datar (garis lurus dan datar) tidak akan berakselerasi. Meskipun mempengaruhi hubungan antara gaya angkat dan berat yang sama satu sama lain, kedua gaya tersebut juga lebih besar dari pada gaya lawan tarik dan dorong yang memiliki nilai yang sama antara keduanya. Dan hal ini

harus dijelaskan bahwa semuanya dalam keadaan stabil (*steady*), seperti :

1. Nilai gaya keatas sama dengan nilai gaya ke bawah
2. Nilai gaya dorong sama dengan nilai gaya ke belakang

Koreksian dari teori persamaan yang lama yang menyebutkan bahwa "*thrust = drag* dan *lift = weight*" hal ini juga mempertimbangkan fakta dalam teori *climbing*, beberapa gaya *thrust* akan diarahkan pada posisi keatas, bereaksi seperti gaya naik, dan sebagian menggunakan gaya *weight* karena pengaruh dari gaya gravitasi, sehingga arahnya dikatakan sebagai gaya *drag*. Kemudian saat posisi pesawat terangkat melayang turun (*glide*) sebagai vektor gaya *weight* mengarah kedepan, beraksi seperti gaya *thrust*. Sehingga dapat dikatakan bahwa jika kapanpun arah pesawat tidak horizontal maka gaya *lift*, *weight*, *thrust*, dan *drag* akan berfungsi sebagaimana mestinya.



Gambar 10.11. Penerapan Gaya pada posisi pesawat

DAFTAR PUSTAKA

- von Karman, Theodore. 2004. Aerodynamics: Selected Topics in the Light of Their Historical Development. Dover Publications. ISBN 0-486-43485-0. OCLC 53900531.
- Prasetya, Tri Adi. 2016. <http://binadhingantara.blogspot.com/> 2016
- Heriyanto, Artikel GAYA YANG BEKERJA PADA PESAWAT TERBANG
- Putrarawit, Fisika Terapan – hukum bernoulli pada pesawat terbang, Marc 2015

BAB 11

PESAWAT ANGKAT SEDERHANA

Oleh Muh. Setiawan Sukardin

11.1 Pendahuluan

Setiap hari orang tidak bisa terlepas dari ketergantungan menggunakan mesin. Pesawat angkat sederhana merupakan rangkaian kecil dari sekian keberagaman mesin yang banyak digunakan selama ini. Pembuka botol untuk melepas tutup botol dan palu untuk mengungkit paku yang tertancap menjadi salah satu contoh pengaplikasian prinsip pesawat angkat sederhana. Pesawat angkat memudahkan pekerjaan kita, baik digerakkan oleh manusia maupun mesin. Pesawat sederhana akan mengubah besar dan arah gaya. Besar gaya dapat diubah dengan menggunakan puli bebas. Beban akan berkurang setengahnya setelah instalasi puli bebas digunakan. Demikian pula arah gaya berubah 180° melalui bentangan tali di puli tetap. Kombinasi puli tetap dan puli bebas akan mengurangi beban dan mengubah arah gaya secara simultan (Nevettra, 1994).

Penggunaan pesawat angkat sederhana akan memberikan keuntungan mekanis atau *mechanical advantage* (MA). Keuntungan mekanis merupakan perbandingan antara gaya yang orang upayakan (gaya usaha) dan gaya yang diubah oleh pesawat angkat (Nevettra, 1994). Keuntungan mekanis (MA) menjadi;

$$MA = \frac{\text{Gaya usaha}}{\text{Gaya beban}}$$

Pengungkit paku dengan menggunakan palu pengungkit, akan jauh lebih kecil gaya usaha yang digunakan di gagang palu

dibandingkan gaya beban pada bagian paku. Jika keuntungan mekanis nilainya lebih besar dari satu, berarti pesawat angkat telah meringankan pekerjaan Anda.

11.1.1 Gravitasi universal

Setiap partikel di alam semesta menarik setiap partikel lainnya dengan gaya sebanding dengan massa gabungan, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antar benda dengan bumi. Semua benda terpengaruh terhadap gaya gravitasi. Semua benda selalu mencari posisi keseimbangan (Fema, 2001). Gravitasi memunculkan efek :

1. Mengangkat
2. Menurunkan
3. Menstabilkan



Gambar 11.1. Pusat gravitasi (CG) benda padat terletak di tiga bidang atau arah
Sumber : (Fema, 2001)

11.1.2 Pusat gravitasi (center of gravity, CG) dan perubahan posisi

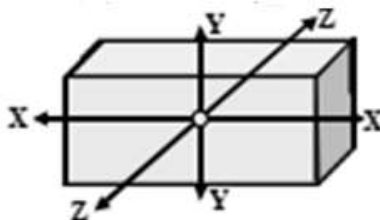
Pusat gravitasi merupakan titik dimana seluruh berat benda mengarah vertikal ke bawah. Pusat gravitasi menunjukkan titik terjadinya keseimbangan secara sempurna, terdistribusinya beban

secara merata dari segala sisi. Bila beban ditempatkan di pusat gravitasi (CG), maka posisinya menjadi stabil.

Pusat gravitasi (CG) benda padat terletak di tiga bidang atau arah diantaranya:

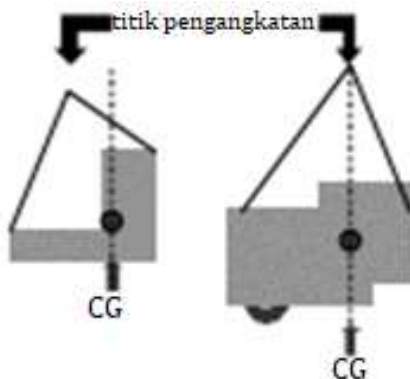
1. Sumbu X = Horizontal, sisi kiri ke sisi kanan
2. Sumbu Y = Sumbu vertikal
3. Sumbu Z = Horizontal, depan ke belakang

Sebagaimana gambar 11.2 berikut:



Gambar 11.2. Pusat gravitasi (CG) benda padat terletak di tiga bidang atau arah

Sumber : (Fema, 2001)



Gambar 11.3. Posisi titik angkat (*lifting point*) terhadap Pusat gravitasi (CG) benda padat

Sumber : (Fema, 2001)

Lihat gambar 11.3. Beban dapat diputar ke segala arah dengan sedikit usaha. Jika beban ditempatkan di kanan atau kiri CG, beban akan miring juga ke arah kanan atau kiri. Jika suatu beban diangkat di bawah pusat gravitasinya, otomatis berat benda tersebut akan berada di atas titik angkat, dan beban akan terbalik. Direkomendasikan beban diangkat di atas pusat gravitasinya..

11.1.3 Keseimbangan

Setiap benda yang ditempatkan di bumi selalu mencari kondisi keseimbangan statis. Sebuah Gaya luar yang kecil pada titik tertinggi objek dapat mengubah kondisinya dari keseimbangan statis menjadi tidak stabil. Dorongan gaya yang kecil terhadap daerah di luar titik kesetimbangan akan dapat mengubah kesetimbangan statis objek.

Perubahan gaya yang terjadi terhadap objek akan menyebabkan perubahan keadaan dari stabil menjadi tidak stabil. Perubahan keadaan ini berupa gerakan rotasi atau gerakan vertikal jatuh. Obyek akan berputar dan jatuh ke bawah hingga mencapai posisi titik kesetimbangannya (Fema, 2001).

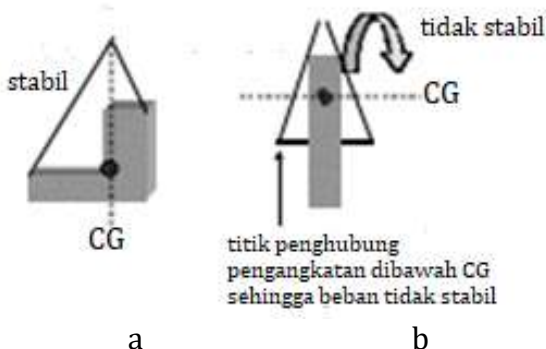
11.1.4 Mekanika Stabilisasi Beban Dan Gerakan

Stabilisasi beban yang diangkat atau dipindahkan dipengaruhi oleh empat fungsi, diantaranya:

1. Pusat gravitasi
2. Stabilitas beban;
3. Memperkirakan berat beban
4. Fungsi pengangkatan (*lifting*) termasuk pertimbangan sudut kritis

Pusat gravitasi menjadi tempat seluruh berat beban terkonsentrasi. Beban akan berusaha untuk memiliki pusat gravitasi di bawah titik tumpuan. Momen gaya (gaya dikalikan jarak) terjadi ketika pusat gravitasi bergerak di sekitar titik tumpu.

Dasar tumpuan yang luasannya kecil menjadi tumpuan (titik poros) beban. Semakin tinggi letak pusat gravitasi pada beban, semakin dibutuhkan dasar tumpuan yang lebih luas dan lebih stabil untuk mempertahankan keseimbangan statis. Beban dengan perkiraan pusat gravitasi yang relatif tinggi dan dasar tumpuan yang luasannya sempit akan menyebabkan beban pada kondisi ketidaksetimbangan (tidak stabil). Fenomena ini menunjukkan momen gaya dari berat beban (gaya eksternal) dapat menyebabkan beban berpindah sehingga jatuh atau bergerak menuju ke kondisi setimbang. Beban berotasi (berputar) saat titik pengangkatan tidak tepat di atas pusat gravitasi. Lihat gambar 11.4 berikut.



Gambar 11.4. (a) Posisi titik angkat berada di atas pusat gravitasi (CG) sehingga beban stabil (b) Posisi titik angkat berada di bawah pusat gravitasi (CG) sehingga beban tidak stabil

Sumber : (Fema, 2001)

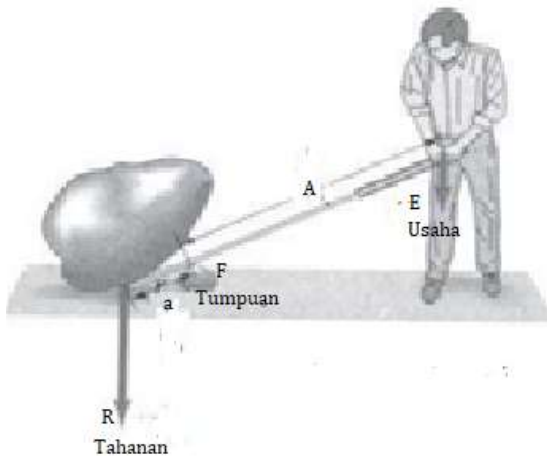
11.2 Tuas

Tuas termasuk salah satu pesawat sederhana. Gergaji jungkit, palu pengungkit, dayung perahu, gunting, tang merupakan aplikasi tuas (Pawitra, 2015). Semua tuas memiliki tiga bagian dasar diantaranya;

1. Titik tumpu (F),

2. Usaha (E)
3. Tahanan (R).

Perhatikan tuas pada gambaran 11.5 berikut.

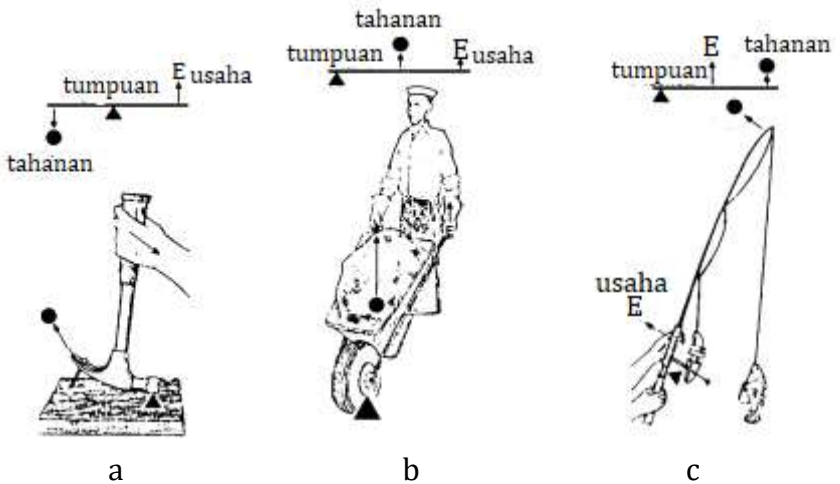


Gambar 11.5. Tuas sederhana
Sumber : (Pawitra, 2015)

Gambar 11.4 di atas menunjukkan titik-titik tumpu (F), usaha (E), yang diaplikasikan pada jarak (A) dari titik tumpu, sedangkan tahanan (R), yang bekerja pada jarak (a) dari titik tumpu (F). Jarak A dan a adalah lengan tuas. Tiga kelompok tuas ditunjukkan pada gambar 11.6.

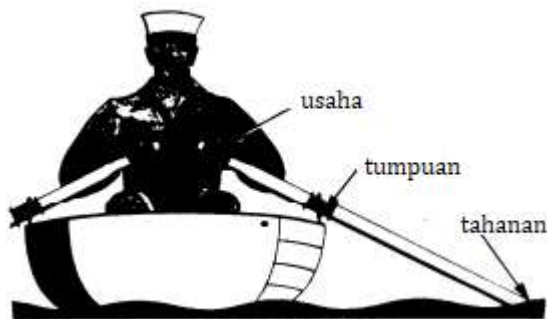
11.2.1 Tuas kelompok pertama

Lokasi titik tumpu dapat berupa titik tetap atau poros. Posisi tahanan terhadap tumpuan dan usaha yang menentukan klasifikasi tuas. Di kelompok pertama ini terlihat pada gambar 11.6, bagian a.



Gambar 11.6. Tiga kelompok Tuas (a) tuas kelompok pertama (b) tuas kelompok kedua (c) tuas kelompok ketiga
Sumber : (Nevedtra, 1994)

Titik tumpunya terletak di antara usaha dan tahanan. Jungkat-jungkit salah satu contoh tuas kelompok satu. Jumlah berat dan jarak dari titik tumpu dapat divariasikan sesuai dengan kebutuhan.



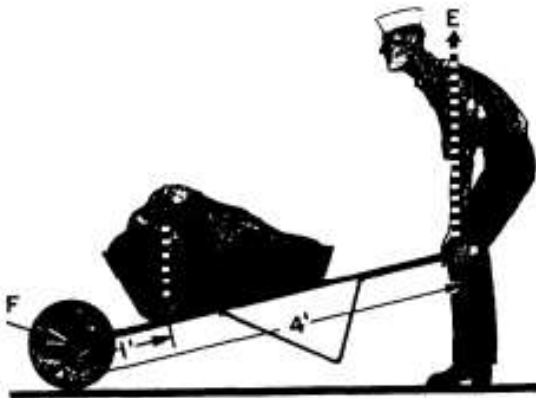
Gambar 11.7. Dayung sebagai aplikasi Tuas kelompok

Sumber : (Nevedtra, 1994)

Perhatikan bahwa pelaut pada gambar 11.7 melakukan usaha pada gagang dayung. Dayung merupakan contoh pengaplikasian tuas kelompok pertama. Perahu sebagai tumpuan, dan air sebagai tahanan terhadap air. Usaha diterapkan pada satu sisi titik tumpu dan tahanan diterapkan ke sisi yang lainnya.

11.2.2 Tuas kelompok kedua

Kelompok tuas kedua terlihat pada gambar 11.6 b. Tuas yang memiliki titik tumpu di salah satu ujung batang, usaha ditempatkan di ujung batang lainnya, dan tahanan diantara titik tumpu dan titik usaha.



Gambar 11.8. Aplikasi Tuas kelompok kedua yang memudahkan mengangkat beban dengan menggunakan gerobak dorong

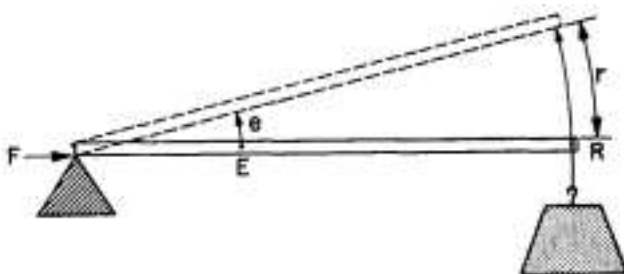
Sumber : (Nevedtra, 1994)

Gerobak dorong pada gambar 11.8 merupakan contoh tuas kelompok kedua. Jika Anda mengangkat 100 N pada pegangan gerobak sebagai usaha, dengan jarak pegangan

gerobak 1 m dari titik tumpu (roda), maka Anda dapat mengangkat beban seberat 400 N yang berjarak 0,25 m titik tumpu. Bila beban ditempatkan lebih jauh dari roda, apakah lebih mudah atau lebih sulit untuk diangkat? Tuas kelompok pertama dan kedua biasanya digunakan untuk membantu mengatasi resistensi besar dengan usaha yang relatif kecil.

11.2.3 Tuas kelompok ketiga

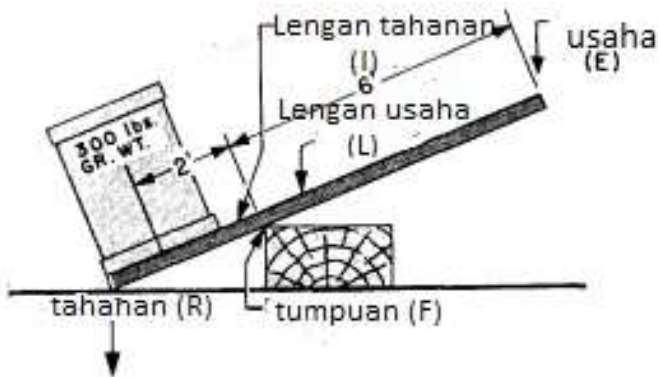
Tuas kelompok ketiga memudahkan mempercepat gerakan beban meskipun harus menggunakan usaha yang besar. Gambar 11.6 c memperlihatkan titik tumpu berada di salah satu ujung tuas, dan berat beban yang harus diatasi berada di ujung lain, dengan usaha bekerja antara titik beban dan titik tumpuan.



Gambar 11.9. Tuas kelompok ketiga
Sumber : (Nevedtra, 1994)

Lihat gambar 11.9. Usaha (E) bergerak dengan jarak yang pendek (e), sedangkan beban atau resistensi (R) bergerak lebih jauh (r). Kecepatan R lebih besar dibanding kecepatan usaha (E).

Berikut adalah tanda hubungan langsung antara panjang lengan pengungkit dan gaya yang bekerja pada lengan tersebut. Lihat gambar 11.10.



Gambar 11.10. Tuas kelompok ketiga
Sumber : (Nevedtra, 1994)

Hubungan ini secara umum dapat dinyatakan bahwa : panjang lengan usaha adalah angka yang lebih besar dari panjang lengan tahanan. Tahanan harus diatasi dengan usaha yang lebih besar.

11.3 Puli

Gerakan translasi merupakan pergeseran benda dengan lintasan yang serupa pada masing-masing titik. Gerakan translasi terjadi jika setiap titik pada benda itu menempuh lintasan yang bentuk dan panjangnya sama (Tipler, 1998). Prinsip ini yang diaplikasikan pada puli. Beban sebagai gaya aksi akan distribusikan sedemikian rupa kebeberapa tali dengan menggunakan puli sebagai tumpuan dalam pembalikan arah gaya. Pesawat atwood bekerja bila kedua ujung tali memiliki beban yang sama, dimana diantaranya terdapat puli, maka terjadi kesetimbangan. Penambahan beban pada salah satu ujung tali akan menyebabkan pergerakan sistem yang dipercepat beraturan sesuai hukum kedua Newton (Rudenko, 1996).

Puli memiliki roda piringan yang berbentuk alur tali atau rantai pada tepiannya, serta berputar pada porosnya. Puli pada alat

pengangkat berperan dalam mereduksi gaya tarikan (usaha) pada lengan kuasa (penggerak) dan mengubah arah tarikan (usaha) serta mempercepat atau memperlambat laju beban (tahanan) (Parulian Siagian, 2022). Ditinjau dari fungsinya, puli terbagi atas dua, yakni;

1. Puli tetap
2. Puli bebas

11.3.1 Puli Tetap

Puli tetap berfungsi mengubah arah gaya tarikan (penggerak) pada lengan kuasa. Sedangkan puli bebas berfungsi mereduksi gaya tarikan (penggerak) pada lengan kuasa.

Puli tetap menggunakan poros yang terhubung ke batang kaku (B). Salah satu ujung tali atau rantai yang dililitkan dialur cakram puli untuk menerima beban W , sedangkan ujung lainnya menarik beban W menggunakan lengan kuasa (Z_o). Puli tetap berperan meneruskan gaya dari beban (W) menuju lengan kuasa (penggerak) Z_o . Gaya diteruskan melalui alur puli yang tumpuannya berpusat pada poros puli (O). Lihat gambar 11.11 (a). Jika diasumsi gaya gesekan yang terjadi di poros dan kerugian akibat kekakuan tali diabaikan, pendekatan sederhananya $\sum M = 0$. Keseimbangan akan terjadi bila keseluruhan momen yang bertumpu pada poros (O) sama dengan nol. Momen arah berlawanan jarum jam M_1 sebesar $M_1 = Z_o \cdot r$. Momen searah jarum jam M_2 sebesar $M_2 = W \cdot r$. sehingga diperoleh $Z_o \cdot r = W \cdot r$ atau $Z_o = W$. Gaya yang dibutuhkan pada lengan kuasa Z_o , sebesar gaya pada beban W . lihat gambar 11.11 (b).

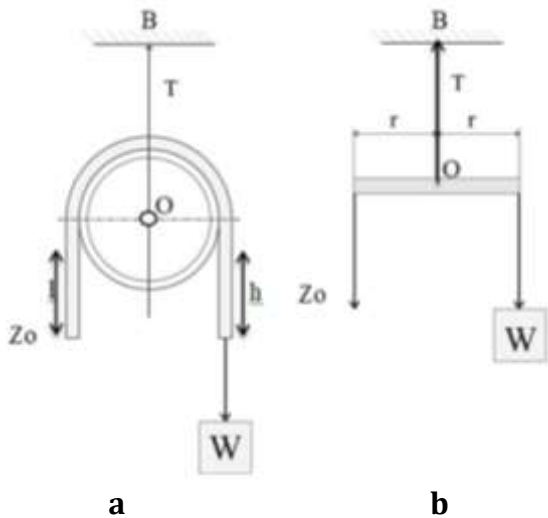
Bila diasumsi gesekan di poros dan kekakuan diabaikan, maka gaya pada lengan kuasa Z_o , diperoleh;

$$Z_o = W \quad 11.1$$

Tali T menerima gaya dari pendekatan $\sum F = 0$. Syarat kesetimbangan sistem adalah total gaya yang bekerja pada suatu

sistem sama dengan nol. Gaya-gaya vertikal yang bekerja pada sistem adalah $T = Z_o + W$ bila $Z_o = W$ maka $T = 2W$. Gaya vertikal yang diterima oleh tali T sebesar dua kali beban W;

$$T = 2W \qquad \qquad \qquad 11.2$$



Gambar 11.11. Puli tetap (a) pergerakan tali (b) distribusi gaya yang terjadi
 (Sumber : (Parulian Siagian, 2022)

Panjang lintasan pengangkatan beban (h) setara dengan panjang lintasan lengan kuasa (l) adalah ;

$$h = l \qquad \qquad \qquad 11.3$$

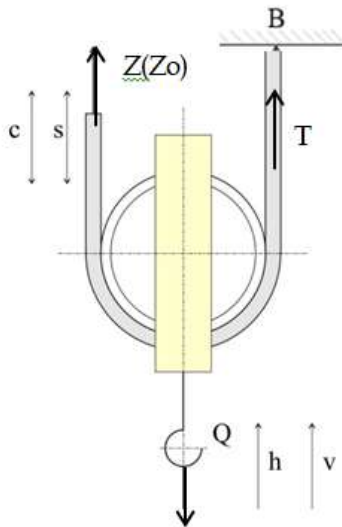
Kecepatan tali beban (c) setara dengan kecepatan tali lengan kuasa (v);

$$c = v \qquad \qquad \qquad 11.4$$

11.3.2 Puli Bebas

Puli bebas adalah piringan yang dapat bergerak bebas. Tali terlilit dalam alur bagian bawah. Salah satu ujung tali dikaitkan di batang kaku, B. ujung tali lainnya ditarik atau ditahan pada saat pengangkatan. Beban, W menggantung pada poros puli. Lihat gambar 11.12. Fungsi puli bebas, yaitu (1) menguntungkan gaya, sehingga lengan kuasa menjadi ringan, (2) mengubah kecepatan pergerakan beban, W .

Puli bebas yang menguntungkan gaya terlihat pada gambar 11.12.



Gambar 11.12. Puli bebas yang menguntungkan gaya kuasa
Sumber : (Parulian Siagian, 2022)

- s = jarak perpindahan lengan kuasa (m)
- h = tinggi pergerakan beban, (m)
- c = kecepatan lengan kuasa, (m/s)
- v = kecepatan pergerakan beban (m/s)

- T = gaya yang diterima tali yang dikaitkan di gantungan kaku di titik B (N)
- Zo = gaya yang diterima tali lengan kuasa, asumsi tanpa memperhitungkan kekakuan tali (N)
- Z = gaya yang diterima tali lengan kuasa, memperhitungkan kekakuan tali (N)
- W = beban (N)

Relasi tinggi beban, h dan jarak perpindahan lengan kuasa diperoleh $h = \frac{1}{2} s$. Hubungan antara kecepatan pergerakan beban, v dengan kecepatan lengan kuasa, c diperoleh $v = \frac{1}{2} c$ (Parulian Siagian, 2022). Jika asumsi kekakuan tali diabaikan, maka hubungan gaya yang diterima tali lengan kuasa, dengan gaya yang diterima tali, T yang dikaitkan di gantungan kaku, B adalah $Zo = T$, sehingga hubungan beban, W terhadap gaya yang diterima tali lengan kuasa Zo dan gaya yang diterima tali T yang dikaitkan di gantungan kaku di titik B menjadi:

$$W = Zo + T \quad 11.5$$

$$\text{atau } W = 2 Zo \quad 11.6$$

Relasi gaya yang diterima tali T yang dikaitkan di gantungan kaku di titik B, terhadap beban, W adalah:

$$T = \frac{1}{2} W \quad 11.7$$

Pada puli yang meningkatkan gaya, dengan memperhitungkan kekakuan tali, ϵ maka gaya yang diterima tali lengan kuasa, memperhitungkan kekakuan tali, Z lebih besar dari gaya yang diterima tali T yang dikaitkan di gantungan kaku di titik B, sebagai berikut:

$$Z > T \quad 11.8$$

$$\text{atau } Z = \epsilon . T \quad 11.9$$

persamaan 11.9 dapat pula ditulis ulang menjadi $Z = \varepsilon (W - Z)$ atau $Z + \varepsilon.Z = \varepsilon W$, sehingga gaya tarik lengan kuasa memperhitungkan kekakuan tali, Z adalah:

$$Z = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} W \quad 11.10$$

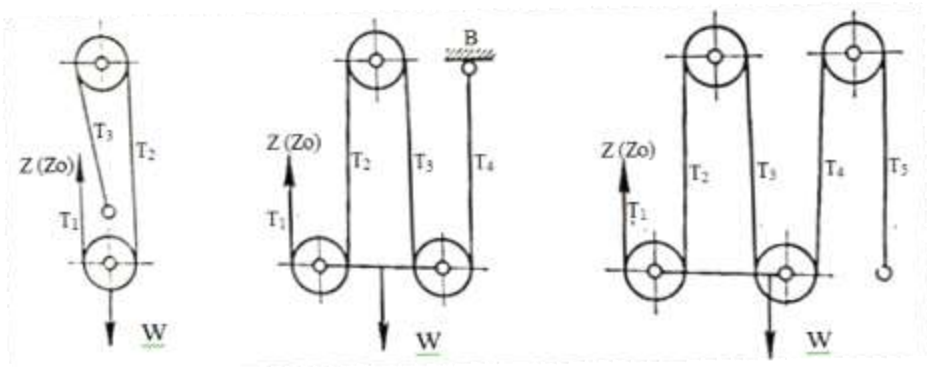
Puli bebas yang berfungsi mengubah kecepatan pergerakan beban penarikan lengan kuasa dengan kecepatan, c akan mengakibatkan pergerakan beban ke atas dengan kecepatan, v . Relasi c dan v sebagai berikut. Lihat gambar 11.12:

$$v = \frac{1}{2} c \quad 11.11$$

Dimana z merupakan jumlah puli. s adalah jarak perpindahan lengan kuasa, sedangkan c menjadi simbol kecepatan lengan kuasa yang menarik tali.

11.3.3 Tali lengan kuasa keluar dari puli bebas

Sistem puli tali lengan kuasa keluar dari puli bebas memiliki karakteristik yang berbeda dengan sistem puli tali lengan kuasa keluar dari puli tetap. Total tali tempat menggantung beban sebesar $z + 1$. Sehingga perbandingan transmisi, i sistem puli ini adalah $I = z + 1$. Lihat gambar 11.13.



Gambar 11.13. Sistem puli dengan tali lengan kuasa keluar dari puli bebas
Sumber : (Rudenko, 1996)

Gaya yang dibutuhkan lengan kuasa tanpa mempertimbangkan kekakuan tali dan gesekan bantalan, Z_0 (Rudenko, 1996) adalah:

$$Z_0 = \frac{W}{z+1}$$

gaya yang diterima pada tali lengan kuasa yang keluar dari sistem puli bebas, T_1 sebagai berikut:

$$T_1 = \frac{W}{\frac{1}{\varepsilon^{n-1}} \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon-1}} \quad 11.12$$

Gaya tarik lengan kuasa pada sistem puli bebas, Z sebesar:

$$Z = W \cdot \varepsilon^z \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon^{z+1}-1} \quad 11.13$$

Tinggi pergerakan beban sistem puli bebas, h adalah:

$$h = \frac{s}{z+1} \quad 11.14$$

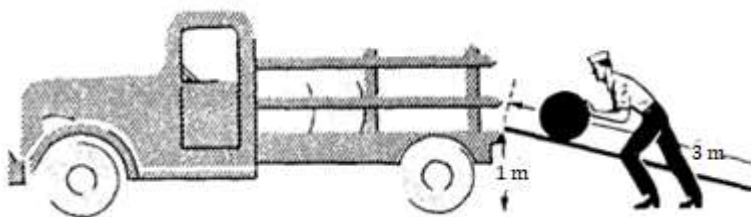
kecepatan perpindahan beban sistem puli bebas, v sebesar:

$$v = \frac{c}{z+1} \quad 11.15$$

Dimana z merupakan jumlah puli. s adalah jarak perpindahan lengan kuasa, sedangkan c menjadi simbol kecepatan lengan kuasa menarik tali pada sistem puli bebas.

11.4 Bidang Miring

Seorang pengemudi memuat drum di atas truk. Pengemudi kemudian menempatkan papan atau tanjakan yang panjang ke pintu belakang, lalu mengguling drum menaiki papan tanjakan. drum beratnya 200 N. Drum akan lebih mudah ditangani dengan menggunakan bidang miring dibandingkan mengangkat langsung drum tersebut. Bidang miring digunakan dalam banyak situasi, diantaranya; lereng sapi, jalan raya pegunungan, eskalator dan belt conveyor yang miring.



Gambar 11.14. Menaikan drum ke truk dengan menggunakan papan sebagai bidang miring sehingga usaha yang digunakan mengguling drum $1/3$ dari berat drum.

Sumber : (Nevedtra, 1994)

$$\frac{L}{h} = \frac{R}{E} \quad 11.16$$

L = panjang lintasan bidang miring (m)

h = ketinggian bidang miring (m)

R = berat benda yang akan dinaikkan (N)

E = gaya yang diperlukan untuk menaikkan benda melalui bidang miring (N)

Bidang miring dapat mengatasi tahanan besar, dengan menggunakan kekuatan kecil melalui jarak yang lebih jauh saat menaikkan beban. Lihatlah gambar 11.14. Pengemudi menaikkan drum seberat 300 N ke lantai truk, dengan ketinggian 1 m dari permukaan jalan. Panjang papan yang digunakan sebagai bidang miring 3 m. Jika tidak menggunakan bidang miring sama sekali, maka usaha yang digunakan untuk memindahkan drum ke lantai truk sebesar 300 N dengan alur pengangkatan tegak lurus secara vertikal terhadap permukaan jalan. Alternatif lain pengangkatan drum dengan cara mengguling drum di bidang miring sejauh 3 m setinggi 1 m, hanya menggunakan usaha $\frac{1}{3}$ dari 300 N, yakni 100 N.

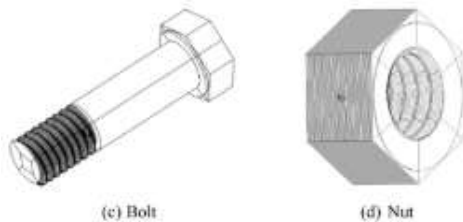
Keuntungan mekanis teoretis adalah total jarak usaha melalui bidang miring yang dilakukan dibagi dengan jarak vertikal beban dinaikkan. Panjang bidang miring tiga kali tingginya, maka keuntungan mekaniknya adalah tiga.

11.5 Ulir

Ulir merupakan pesawat sederhana yang memiliki banyak kegunaan. Ulir diaplikasikan sebagai pengganti paku, dongkrak untuk mengangkat mobil, atau prosesor makanan untuk menggiling daging. Ulir dimanfaatkan sebagai ragam di meja kerja.

11.5.1 Ulir Sumbu

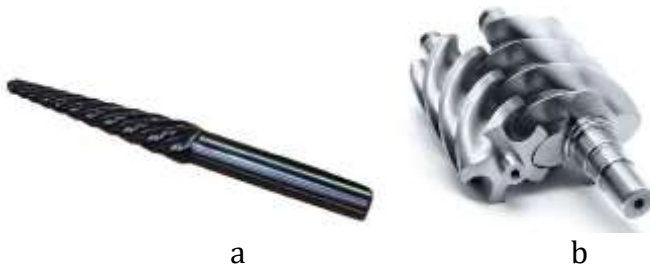
Ulir sumbu merupakan jenis ulir yang paling umum. Bentuk ulir ini membentang mengelilingi sumbu batang atau poros dengan jarak antara dua ujung ulir yang sama. Bentuk ulir sumbu dapat berbentuk segitiga, persegi, atau trapesium tergantung pada aplikasinya. Lihat gambar 11.15.



Gambar 11.15. Penerapan ulir luar pada (a) baut dan (b) ulir luar pada mor
 Sumber : (Yang *et al.*, 2013)

Ulir sumbu memiliki dua elemen penting:

1. Pitch : Jarak antara dua ujung ulir yang berurutan, diukur dalam satuan panjang seperti milimeter (mm) atau inci (inches).
2. Diameter Inti : Diameter bagian paling dalam dari ulir.

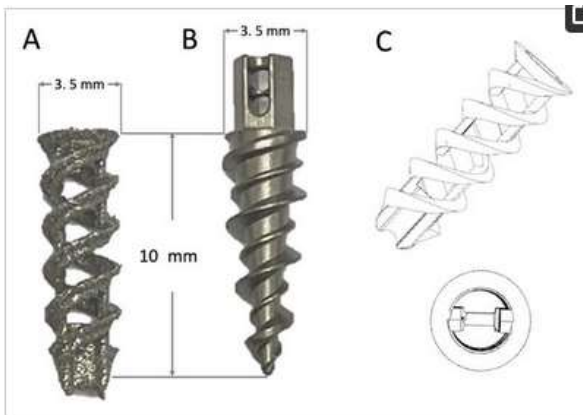


Gambar 11.16 Ulir sumbu (a) berbentuk sekrup (b) pasangan ulir rotor
 Sumber : (Bizzarri, Bo and Bartoň, 2023)

Ulir sumbu digunakan dalam berbagai aplikasi seperti pada baut, sekrup, mur, dan mekanisme ulir lainnya. Ulir digunakan untuk menghubungkan, menarik, atau mengamankan suatu benda.

11.5.2 Ulir Heliks

Ulir heliks merupakan jenis ulir yang membentuk spiral seperti ramping atau melingkar. Ulir heliks umumnya digunakan pada *screw conveyor*, *auger*, dan pada beberapa mesin industri. Ulir heliks sering digunakan dalam aplikasi transportasi bahan seperti mengangkut butiran atau serbuk dalam suatu sistem. Lihat gambar 11.17.



Gambar 11.17. Ulir sumbu berbentuk sekrup
Sumber : (Liu *et al.*, 2022)

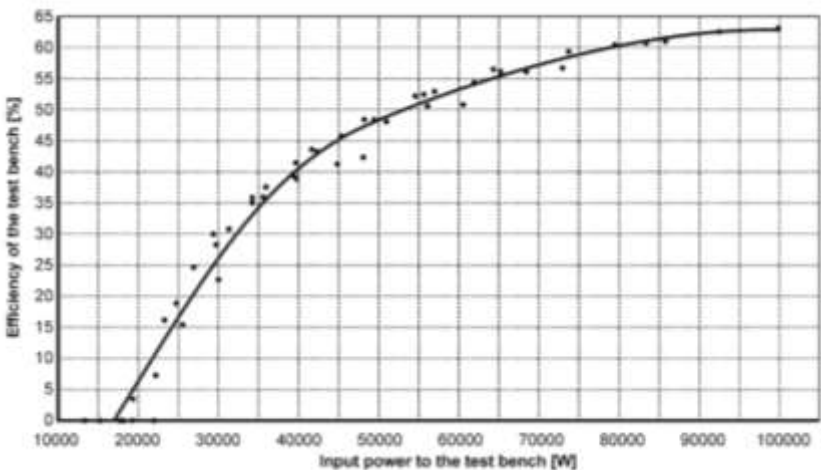
Kedua jenis ulir di atas dapat memiliki arah putaran yang berbeda, yaitu searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Baut dan sekrup biasanya menggunakan ulir searah jarum jam untuk memastikan pengencangan yang aman dengan gerakan yang mudah. Penting untuk memahami jenis ulir yang digunakan dalam suatu aplikasi karena hal ini berdampak pada cara benda-benda tersebut berinteraksi dan dihubungkan.

11.6 Roda gigi

Roda gigi merupakan komponen mekanis yang berbentuk roda bergerigi atau gigi. Roda gigi digunakan dalam berbagai mesin dan peralatan untuk mentransmisikan gerakan rotasi antara dua

poros atau sumbu. Fungsi utamanya mentransfer tenaga, mengubah rasio kecepatan putaran, serta mengubah arah rotasi dari satu komponen mesin ke komponen lainnya.

Roda gigi biasanya memiliki gigi-gigi yang tepat dan presisi, yang dirancang untuk cocok dan berinteraksi dengan gigi-gigi pada roda gigi lainnya. Proses interaksi gigi-gigi ini menghasilkan perubahan dalam kecepatan rotasi dan torsi antara poros yang terhubung.



Gambar 11.14. Efisiensi roda gigi tergantung pada masukan daya
Sumber : (Brumercik, Gajdosik and Cuchor, 2023)

Lihat gambar 11.14. Penerapan roda gigi sangat luas, dari perangkat sederhana seperti jam tangan hingga mesin kompleks seperti mobil, pesawat, dan mesin industri. Keuntungan menggunakan roda gigi antara lain efisiensi yang tinggi, keandalan, dan akurasi dalam mentransmisikan gerakan mekanis. Efisiensi roda gigi tergantung pada besar masukan daya pada sistem roda gigi (Brumercik, Gajdosik and Cuchor, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Bizzarri, M., Bo, P. and Bartoň, M. 2023. *Screw rotor manufacturing via 5-axis flank CNC machining using conical tools*.
- Brumerick, F., Gajdosik, T. and Cuchor, M. 2023. 'Measurement and Evaluation of the Test Bench with an Open Flow of Mechanical Power for Gearboxes Testing', in, pp. 365–370. Available at: https://doi.org/10.2991/978-94-6463-182-1_38.
- Fema. 2001. *MODULE 4-LIFTING AND RIGGING*.
- Liu, W.C. *et al.* 2022. '3D-Printed Double-Helical Biodegradable Iron Suture Anchor: A Rabbit Rotator Cuff Tear Model', *Materials*, 15(8). Available at: <https://doi.org/10.3390/ma15082801>.
- Mansyur, A.R. 2020. 'Dampak COVID-19 Terhadap Dinamika Pembelajaran Di Indonesia', *Education and Learning Journal*, Vol. 1, No, pp. 113–123.
- Nevedtra. 1994. *Basic Machines*.
- Parulian Siagian, D. 2022. *Alat Pengangkat Bahan, Yayasan Kita Menulis*.
- Pawitra, P. 2015. *Alat – alat angkat*. Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidikan da Tenaga Kependidikan Bidang Bangunan dan Listrik.
- Rudenko, N. 1996. *No Title Mesin Pengangkat, Pradnya Paramitha. Pradnya Paramitha*.
- Tipler, P. a. 1998. *Fisika : untuk Sains dan Teknik*. Erlangga.
- Yang, G. *et al.* 2013. 'Three-dimensional finite element analysis of the mechanical properties of helical thread connection', *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 26(3), pp. 564–572. Available at: <https://doi.org/10.3901/CJME.2013.03.564>.

BAB 12

KATROL DAN DONGKRAK

Oleh Ludvi Arif Wibowo

12.1 Pendahuluan

Katrol dan Dongkrak merupakan mesin sederhana yang dapat mengubah besaran atau jalur tindakan, atau kedua-duanya, dari sebuah gaya. Mesin sederhana biasanya memperbesar gaya masukan, yang disebut usaha, untuk memberikan gaya keluaran yang lebih besar, yang disebut beban.

12.2 Rasio Gaya, Rasio Gerakan Dan Efisiensi

Rasio Gaya atau Keuntungan mekanis (mechanical advantage) adalah rasio antara gaya output atau beban yang dihasilkan oleh mesin sederhana dengan gaya input atau usaha yang diterapkan ke mesin tersebut. Secara umum, keuntungan mekanis dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Rasio Gaya} = \frac{\text{Beban Yang Dihasilkan}}{\text{Usaha Yang Diterapkan}} = \text{Keuntungan Mekanis} \quad (12.1)$$

Perbandingan gaya adalah perbandingan dari satuan yang sama dan oleh karena itu merupakan kuantitas yang tidak memiliki dimensi atau bersifat bebas dimensi. Dalam perhitungan keuntungan mekanis atau perbandingan gaya, satuan gaya (newton) pada beban dan usaha akan saling menyebabkan pembatalan dan tidak mempengaruhi dimensi atau satuan akhir dari perbandingan gaya. Oleh karena itu, perbandingan gaya dinyatakan sebagai angka tanpa satuan.

Dalam mesin sederhana, keuntungan mekanis memberikan gambaran tentang seberapa efektif mesin tersebut dalam memperbesar gaya yang diterapkan. Semakin tinggi keuntungan mekanis, semakin besar perbesaran gaya yang diberikan oleh mesin.

Misalnya, jika suatu mesin sederhana memiliki keuntungan mekanis sebesar 5, ini berarti bahwa beban atau gaya output yang dihasilkan oleh mesin adalah lima kali lebih besar daripada usaha yang diterapkan pada mesin tersebut.

Keuntungan mekanis dapat berbeda-beda tergantung pada jenis dan konfigurasi mesin sederhana yang digunakan. Contoh-contoh mesin sederhana seperti katrol, dongkrak, sistem roda gigi, dan sistem tuas memiliki keuntungan mekanis masing-masing yang dapat dihitung sesuai dengan rumus di atas.

Perbandingan pergerakan (*movement ratio*) adalah rasio antara jarak yang ditempuh oleh beban atau muatan dengan jarak yang ditempuh oleh usaha atau gaya yang diterapkan pada mesin sederhana. Perbandingan pergerakan menggambarkan perbandingan antara perubahan jarak yang terjadi pada beban dengan perubahan jarak yang diterapkan pada mesin. Secara umum, perbandingan pergerakan dapat dihitung dengan rumus:

Perbandingan Pergerakan

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Perubahan Jarak Yang Terjadi Pada Beban}}{\text{Perubahan Jarak Yang Terjadi Pada Mesin}} \\ &= \text{Perbandingan Kecepatan} \end{aligned} \quad (12.2)$$

Karena pembilang dan penyebut keduanya diukur dalam meter, perbandingan pergerakan adalah perbandingan dari satuan yang sama dan oleh karena itu merupakan kuantitas yang tidak memiliki satuan.

Dalam beberapa jenis mesin sederhana, seperti tuas atau sistem roda gigi, perbandingan pergerakan dapat dihitung dengan

membandingkan panjang lengan tuas atau jumlah gigi pada roda gigi yang terhubung dengan beban dan usaha.

Misalnya, jika sebuah tuas memiliki panjang lengan beban dua kali lebih besar daripada panjang lengan usaha, maka perbandingan pergerakan akan menjadi 2:1. Ini berarti bahwa beban akan bergerak dua kali lebih jauh daripada pergerakan usaha yang diterapkan pada tuas.

Perbandingan pergerakan dapat membantu menggambarkan perubahan jarak atau perpindahan yang terjadi pada beban sebagai respons terhadap usaha yang diterapkan pada mesin sederhana. Namun, perbandingan pergerakan tidak mempertimbangkan faktor-faktor seperti kehilangan energi atau kehilangan gesekan dalam sistem, yang dapat mempengaruhi pergerakan aktual dari mesin tersebut.

Efisiensi mesin sederhana didefinisikan sebagai perbandingan antara perbandingan gaya dengan perbandingan pergerakan, yaitu

$$\begin{aligned} Efisiensi &= \frac{\text{Perbandingan Gaya}}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \\ &= \frac{\text{Keuntungan Mekanis}}{\text{Perbandingan Kecepatan}} \end{aligned}$$

Karena pembilang dan penyebut keduanya adalah kuantitas bebas dimensi, efisiensi juga merupakan kuantitas bebas dimensi. Efisiensi biasanya dinyatakan sebagai persentase, dengan demikian:

$$Efisiensi = \frac{\text{Perbandingan Gaya}}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \times 100\% \quad (12.3)$$

12.3 Katrol

Katrol merupakan pesawat sederhana yang terdiri dari sebuah roda atau piringan beralur dan tali atau kabel yang mengelilingi alur roda atau piringan tersebut. Ditinjau dari cara kerjanya, katrol merupakan jenis pengungkit, karena pada katrol

juga terdapat titik tumpu, titik kuasa, dan titik beban seperti diperlihatkan pada **Gambar 12.1**.



Gambar 12.1. Katrol
(Sumber: Heri, 2008)

Pemanfaatan katrol dalam kehidupan sehari-hari cukup beragam, misalnya untuk mengangkat benda-benda, mengambil air dari sumur, mengibarkan bendera, hingga mengangkat kotak peti kemas. Berdasarkan susunan tali dan rodanya, katrol dibedakan menjadi katrol tetap, katrol bebas, dan katrol majemuk.

1. Katrol Tetap

Katrol tetap merupakan katrol yang posisinya tidak berubah ketika digunakan. Biasanya posisi katrolnya terikat pada satu tempat tertentu. Titik tumpu sebuah katrol tetap terletak pada sumbu katrolnya. Contoh pemanfaatan katrol tetap adalah pada alat penimba air sumur dan katrol pada tiang bendera.

Gambar 12.2 memperlihatkan suatu katrol tetap.



Gambar 12.2. Katrol Tetap
(Sumber: Heri,2008)

2. Katrol Bebas

Katrol bebas merupakan katrol yang posisi atau kedudukannya berubah ketika digunakan. Artinya, katrol bebas tidak ditempatkan di tempat tertentu, melainkan ditempatkan pada tali yang kedudukannya dapat berubah. Contoh pemanfaatan katrol bebas adalah pada alat pengangkat petikemas. **Gambar 12.3** memperlihatkan suatu katrol bebas.

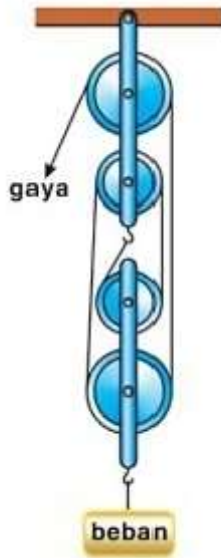


Gambar 12.3. Katrol bebas
(Sumber: Heri, 2008)

3. Katrol Majemuk atau Sistem Katrol

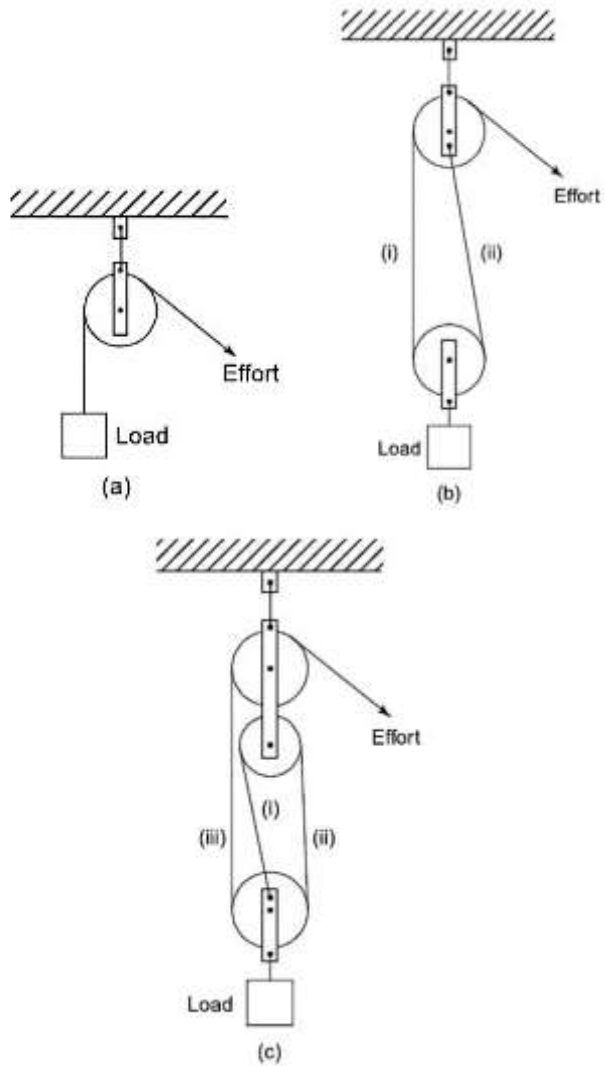
Katrol majemuk merupakan perpaduan antara katrol tetap dan katrol bebas. Kedua katrol ini dihubungkan dengan tali. Pada katrol majemuk, beban dikaitkan pada katrol bebas dan salah satu ujung tali dikaitkan pada penampang katrol tetap. Bila ujung tali yang lain ditarik, maka beban akan terangkat.

Gambar 12.4. memperlihatkan sebuah katrol majemuk.



Gambar 12.4. Katrol Majemuk/ Sistem Katrol
(Sumber: Heri, 2008)

Sistem katrol adalah mesin sederhana. Sistem katrol tunggal, yang ditunjukkan dalam **Gambar 12.5.(a)**, mengubah jalur tindakan usaha, tetapi tidak mengubah besarnya gaya. Sistem katrol dua, yang ditunjukkan dalam **Gambar 12.5(b)**, mengubah baik jalur tindakan maupun besarnya gaya.



Gambar 12.5. Jenis Jenis Sistem Katrol
(Sumber : John Bird, 2015)

Secara teoritis, setiap tali yang ditandai (i) dan (ii) membagi beban secara merata, sehingga secara teoritis besarnya usaha hanya setengah dari beban, yaitu perbandingan gaya teoritis adalah 2. Dalam praktiknya, perbandingan gaya sebenarnya kurang dari 2 karena adanya kerugian.

Sebuah sistem katrol tiga ditunjukkan dalam **Gambar 12.5(c)**. Setiap tali yang ditandai (i), (ii), dan (iii) membawa sepertiga dari beban, sehingga perbandingan gaya teoritis adalah 3. Secara umum, untuk sistem katrol multipel dengan total n katrol, perbandingan gaya teoritis adalah n . Karena efisiensi teoritis dari sistem katrol (mengabaikan kerugian) adalah 100 dan karena dari **persamaan (12.3)**,

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Perbandingan Gaya}}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \times 100\%$$

Dimana jika perbandingan gaya disimbolkan dengan n ,

$$\text{Efisiensi} = \frac{n}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \times 100\%$$

Sehingga, perbandingan pergerakan juga n .

Contoh Soal 1 :

Sebuah beban berat sebesar 80 kg diangkat menggunakan sistem katrol tiga, mirip dengan yang ditunjukkan pada **Gambar 12.5(c)**, dan usaha yang diterapkan adalah 392 N. Hitunglah (a) perbandingan gaya (force ratio), (b) perbandingan pergerakan (movement ratio), (c) efisiensi sistem. Ambil nilai g sebagai $9,8 \text{ m/s}^2$.

Penyelesaian,

(a) Dari persamaan (12.1) perbandingan gaya dapat diperoleh dari :

(b)

$$\text{Rasio Gaya} = \frac{\text{Beban Yang Dihasilkan}}{\text{Usaha Yang Diterapkan}}$$

Dimana beban yang diangkat adalah 80 Kg (80 x 9,8) N, sehingga :

$$\text{Rasio Gaya} = \frac{80 \times 9,8 \text{ N}}{392 \text{ N}} = 2$$

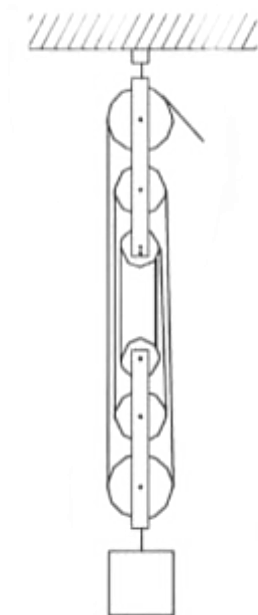
(c) Dari informasi di atas, untuk sistem yang memiliki n buah katrol, perbandingan pergerakan adalah n. Oleh karena itu, untuk sistem dengan tiga katrol, perbandingan pergerakan adalah 3.

(d) Dari persamaan (12.3)

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi} &= \frac{\text{Perbandingan Gaya}}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \times 100\% \\ \text{Efisiensi} &= \frac{2}{3} \times 100\% = 66.67\% \end{aligned}$$

Contoh Soal 2 :

Diketahui sebuah sistem katrol terdiri dari dua blok, masing-masing blok mengandung tiga buah katrol dan terhubung seperti yang ditunjukkan dalam **Gambar 12.6**. Diperlukan usaha sebesar 400 N untuk mengangkat beban seberat 1500 N. Tentukan (a) rasio gaya (b) rasio pergerakan (c) efisiensi dari sistem katrol.



Gambar 12.6. Sistem Pully 2 Blok
(Sumber : John Bird, 2015)

Penyelesaian :

(a) Dari persamaan (12.1) perbandingan gaya dapat diperoleh dari :

$$\text{Rasio Gaya} = \frac{\text{Beban Yang Dihasilkan}}{\text{Usaha Yang Diterapkan}}$$

Dimana beban yang diangkat adalah 80 Kg ($80 \times 9,8$) N, sehingga :

$$\text{Rasio Gaya} = \frac{1500 \text{ N}}{400 \text{ N}} = 3.75$$

Sistem katrol dengan n buah katrol memiliki rasio pergerakan sebesar n , oleh karena itu sistem katrol dengan 6 buah katrol memiliki rasio pergerakan sebesar 6.

(b) Dari persamaan (12.3)

$$Efisiensi = \frac{\text{Perbandingan Gaya}}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \times 100\%$$

$$Efisiensi = \frac{3.75}{6} \times 100\% = 62.5\%$$

12.4 Dongkrak Mekanik

Dongkrak mekanik adalah alat mekanis yang digunakan untuk mengangkat beban dengan mengubah gerakan putar menjadi gerakan linier. Prinsip dasar dongkrak mekanik adalah penerapan hukum mekanika untuk menghasilkan gaya angkat yang lebih besar daripada yang diperlukan secara manual.

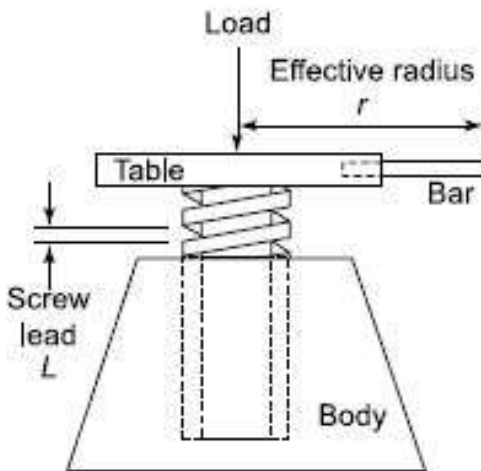
Dongkrak mekanik bekerja berdasarkan hukum kekekalan energi dan momen gaya. Saat engkol atau pegangan diputar, gaya diterapkan pada ulir atau rangkaian gigi yang menggerakkan pengangkat, menyebabkan gerakan linier naik atau turun. Prinsip ini memungkinkan pengguna untuk mengangkat beban yang lebih berat dengan upaya fisik yang lebih ringan.

Keuntungan Penggunaan Dongkrak Mekanik:

1. Sederhana dan Tahan Lama: Konstruksi mekanik yang sederhana membuat dongkrak mekanik cenderung lebih tahan lama dan dapat diandalkan dalam jangka panjang.
2. Kemampuan Meningkatkan Beban Berat: Dongkrak mekanik dapat mengangkat beban yang jauh lebih berat daripada kekuatan fisik manusia.
3. Stabil dan Terkendali: Pengguna memiliki lebih banyak kontrol atas proses pengangkatan, membuatnya lebih stabil dan aman.

Keterbatasan Penggunaan Dongkrak Mekanik:

1. Perlu Tenaga Manusia: Penggunaan tenaga manusia diperlukan untuk menggerakkan engkol atau pegangan.
2. Kecepatan Pengangkatan Terbatas: Pergerakan linier yang dihasilkan cenderung lebih lambat dibandingkan dengan jenis dongkrak lainnya seperti hidrolik atau pneumatik.
3. Sebuah sekrup-jack sederhana ditunjukkan dalam **Gambar 12.7** dan merupakan mesin sederhana karena mengubah baik besarnya maupun garis tindakan suatu gaya.



Gambar 12.7. Mekanisme Dongkrak Mekanik (Dongkrak Ulir / *Screw Jack*)

(Sumber : John Bird, 2015)

Sekrup pada meja *jack* terletak dalam mur yang tetap di dalam tubuh *jack*. Saat meja diputar menggunakan batang, meja tersebut mengangkat atau menurunkan beban yang diletakkan di atas meja. Untuk ulir satu putaran, seperti yang ditunjukkan, dalam satu revolusi lengkap meja, upaya bergerak sejauh $2\pi r$, dan beban bergerak sejauh jarak ulir sekrup, katakanlah L .

$$\text{Movement Ratio} = \frac{2\pi r}{L} \quad (12.4)$$

Untuk efisiensi menggunakan persamaan 12.3.

Contoh Soal :

Sebuah dongkrak ulir digunakan untuk menopang poros mobil, dengan beban sebesar 2,4 kN. Dongkrak ulir memiliki jari-jari efektif 200 mm dan tipe ulir adalah *a single-start square thread* atau memiliki ulir persegi yang berputar hanya satu kali setiap putaran,, dengan jarak ulir sebesar 5 mm. Tentukan efisiensi jack jika diperlukan upaya sebesar 60 N untuk mengangkat poros mobil.

Penyelesaian :

Dari persamaan (12.3)

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Perbandingan Gaya}}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \times 100\%$$

Dimana,

$$\begin{aligned} \text{Rasio Gaya} &= \frac{\text{Beban Yang Dihasilkan}}{\text{Usaha Yang Diterapkan}} \\ \text{Rasio Gaya} &= \frac{2400N}{60N} = 40 \end{aligned}$$

Dari persamaan (12.2) dan (12.4)

Perbandingan Pergerakan

$$= \frac{\text{Perubahan Jarak Yang Terjadi Pada Beban}}{\text{Perubahan Jarak Yang Terjadi Pada Mesin}}$$

$$\text{Perbandingan Pergerakan} = \frac{2\pi r}{L} = \frac{2\pi(200)\text{mm}}{5\text{mm}} = 251.3$$

Sehingga,

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Perbandingan Gaya}}{\text{Perbandingan Pergerakan}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{40}{251.3} \times 100 = 15.9\%$$

DAFTAR PUSTAKA

- Ralph E. 1993, Simple Machines Made Simple, Bloomsbury, USA.
Katie 2008, Simple Machines, HOCPP1228, USA.
John Bird, Carl Ross 2015, Mechanical Engineering Principles, 3th
Edition, Routledge, USA.
Buffly 2016, Simple Machines, Capstone, Chicago.
Heri, Edi 2008, Ilmu Pengetahuan Alam, Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional, Indonesia.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi
Dosen Politeknik Negeri Jakarta

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Politeknik Negeri Jakarta. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 50 karya yang telah dibuat dan sedang iiiproses untuk pembuatan buku dan bab buku. Jurnal yang telah ditulis bekerjasama dengan para pakar di luar negara dan dalam negeri.

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



Eka Sriwahyuni, S.Pd., M.Pd,

Dosen pada Fakultas Tarbiyah Program Studi Tadris IPA IAIN
Parepare

Eka Sriwahyuni, S.Pd., M.Pd, Lahir di Rappang 28 Maret 1994 merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Muzakri dan Hasnah. Penulis mengawali pendidikan di SDN 4 benteng selesai pada tahun 2006. Kemudian Melanjutkan pendidikan di MTs PPUW yang selesai pada tahun 2009, dan melanjutkan pendidikan di MA PPUW yang selesai pada tahun 2012.

Penulis menyelesaikan pendidikan Program Sarjana (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Alauddin Makassar Tahun 2016, kemudian menyelesaikan Program Megister (S2) Pendidikan Fisika UNM Makassar Tahun 2020. Terhitung tahun 2021 penulis menjadi dosen tetap di Institut Agama Islam Negeri Parepare. Saat ini mengajar pada Fakultas Tarbiyah Program Studi Tadris IPA IAIN Parepare.

BIODATA PENULIS



Luluk Edahwati

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

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

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Indra Komara, ST, MT

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITATS

Penulis berlatarbelakang dalam bidang keteniksipilan lebih dari 10 tahun. Selain itu penulis terlibat sebagai tenaga ahli dengan pengalaman lebih besar dari 15 tahun dalam dunia konstruksi bangunan Gedung dan jembatan. Disamping itu penulis aktif sebagai penulis dan koresponding author dalam jurnal Nasional dan Jurnal Internasional yang menerbitkan lebih dari 30 Jurnal. Telah menerbitkan 5 Buku berupa book chapter dan monograf. Sebagai tambahan penulis juga aktif sebagai Editor dan reviewer Jurnal Nasional terakreditasi Sinta 3 – 5 dan aktif reviewer Jurnal Internasional terindex Scopus.

Penulis sebagai lulusan dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan Eskisehir Technical University. Selain itu penulis juga terlibat dalam pengembangan riset dan Kerjasama dengan Kumamoto University dan Pecs University. Penulis pernah mendapatkan Young Research Award dari Global Research and Development Services di Lisbon, Portugal tahun 2017 dan granted as Research Chair di Kumamoto University tahun 2019. Lainnya,

penulis pernah aktif sebagai Invited lecturer di Guilin University of Electronic Technology pada tahun 2018 – 2021.

BIODATA PENULIS



Enni sulfiana ST.,MT

Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro
Politeknik ATI Makassar

Penulis lahir di Wajo tanggal 03 April 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Mesin di Universitas Hasanuddin. Penulis menekuni bidang Menulis.

Penulis adalah asesor kompetensi BNSP di LSP Politeknik ATI Makassar dan Auditor AMI Politeknik ATI Makassar. Penulis juga sebagai asesor TVET 4.0 di Politeknik ATI Makassar. Saat ini penulis menjabat sebagai Kepala Laboratorium Pengujian Material di Jurusan Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar.

BIODATA PENULIS



Dodi Mulyadi, S.T., M.T.

Dosen Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas
Buana Perjuangan Karawang.

Lahir di Tasikmalaya, 11 Juli 1979. Lulus dari Politeknik ITB pada tahun 2001. Sarjana teknik mesin diraih dari Universitas Jayabaya Jakarta dan Magister Teknik Mesin dari Universitas Pancasila Jakarta tahun 2015. Sejak 2001, bekerja sebagai praktisi industri di perusahaan multinasional sebagai *product development mechanical engineer*. Pernah belajar *product development* di *R&D Center* di Singapura. Pengalaman lainnya sebagai *Business Development Manager* pada perusahaan *customized machines*, sebagai *Quality Assurance & Engineering Manager* (termasuk *machines maintenance*) pada perusahaan injeksi plastik pembuat komponen otomotif dan elektronika. Pertengahan tahun 2015 memutuskan untuk bergabung menjadi akademisi di Universitas Pancasila Jakarta, kemudian pindah dan bergabung di Universitas Buana Perjuangan Karawang pada tahun 2019. Penelitian dan publikasi penulis diantaranya dapat diakses melalui *google scholar* dengan ID **xpbHyy4AAAAJ**.

BIODATA PENULIS



Ir. Haikal Fajri, S.T., M.Sc.

Dosen Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Samudra

Penulis merupakan Dosen Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Samudra. Lulus S1 di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala (FT USK) tahun 2011 dengan bidang konsentrasi Rekayasa Struktur. Penulis kemudian lulus S2 di Program *Master of Science* pada *Civil Engineering Department*, Universitas Chiao Tung University (NCTU) Taiwan tahun 2015 dengan bidang konsentrasi *Structural Engineering dan Health Monitoring*. Sejak tahun 2016 telah mengajar matakuliah *Statics and Dinamics Analysis of Structures* hingga sekarang. Penulis aktif mempublikasikan artikel di jurnal nasional dan internasional serta aktif dalam mengikuti konferensi internasional bergengsi sebagai pembicara yaitu IWSHM (Internasional Workshop on Structural Health Monitoring) di Stanford University dan EWSHM (European Workshop on Structural Health Monitoring) di Spanyol.

BIODATA PENULIS



Amallia

Dosen di Universitas Buana Perjuangan Karawang sebagai staff
Laboratorium Teknik Industri

Amallia. Lahir di Karawang, tanggal 11 Januari 1993 putra kedua dari Bapak Moch. Koswara dan Ibu Lukis Karyani. Sekolah di SDN Karawang Wetan IV tahun lulus 2004 Karawang melanjutkan ke SMPN 1 Karawang tahun lulus 2007 kemudian bersekolah di SMA Korpri Karawang tahun lulus 2010 dan melanjutkan pendidikan S1 Teknik Industri di Universitas Singaperbangsa Karawang jurusan Teknik tahun

Lulus 2015 dan pendidikan S2 Teknik Industri di Universitas Pasundan tahun lulus 2022. Kemudian pernah bekerja di PT. Dinar Makmur tahun 2012-2013 sebagai staff Document Control dan PT Tenang Jaya Karawang tahun 2014-2015 sebagai staff Keuangan, lanjut bekerja di Universitas Buana Perjuangan Karawang sebagai staff Laboratorium Teknik Industri hingga saat ini merangkap sebagai dosen Teknik Industri.

BIODATA PENULIS



Dr. Muh. Setiawan Sukardin , ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro
Politeknik ATI Makassar

Muh. Setiawan Sukardin lahir di Makassar, pada 28 Mei 1976. Dosen Program Studi Teknik Manufaktur Industri Agro Politeknik ATI Makassar Kementerian Perindustrian sejak tahun 2001. Pendidikan S1, S2, S3 di Teknik Mesin Universitas Hasanuddin. Ketua Komite Skema Sertifikasi Kompetensi Lembaga Sertifikasi Profesi Teknik Industri Politeknik ATI Makassar 2013-sekarang). Ketua Asosiasi Pengelasan Indonesia API-IWS Sulawesi Selatan (2017-sekarang). email : setiawan_mkz@yahoo.co.id

BIODATA PENULIS



Ludvi Arif Wibowo, ST.,MT.

Dosen Program Studi Teknik Mesin Politeknik Sukabumi

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