

FISIKA DASAR PADA INDUSTRI

Penulis :

Aminatus Sa'diyah

Rafika Andari

Primasari Wardhani

Enggar Alfianto

Muhammad Roy Asrori

Zulkarnain

Jan Setiawan

Richard A M Napitupulu

Humaidillah Kurniadi Wardana

Hadi Santoso

Siti Aisyah

.....

ISBN 978-623-5383-82-8



FISIKA DASAR PADA INDUSTRI

**Aminatus Sa'diyah
Rafika Andari
Primasari Cahya Wardhani
Enggar Alfianto
Muhammad Roy Asrori
Zulkarnaini
Jan Setiawan
Richard A M Napitupulu
Humaidillah Kurniadi Wardana
Hadi Santoso
Siti Aisyah**



GET PRESS INDONESIA

FISIKA DASAR PADA INDUSTRI

Penulis :

Aminatus Sa'diyah
Rafika Andari
Primasari Cahya Wardhani
Enggar Alfianto
Muhammad Roy Asrori
Zulkarnaini
Jan Setiawan
Richard A M Napitupulu
Humaidillah Kurniadi Wardana
Hadi Santoso
Siti Aisyah

ISBN : 978-623-5383-82-8

Editor : Mila Sari, S.ST, M.Si

Penyunting : Rantika Maida Sahara, S.Tr.Kes

Desain Sampul dan Tata Letak : Handri Maika Saputra, S.ST

Penerbit: GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juli 2022

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya buku " Fisika Dasar Pada Industri" ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik.

Buku ini menguraikan "Fisika Dasar Pada Industri" secara komprehensif yang terdiri atas 11 bab, yaitu : 1) Pengantar ilmu fisika, 2) Besaran dan satuan, dimensi besaran, 3) Vektor dan scalar, 4) Operasi yang berlaku pada vektor dan scalar, 5) Teori ketidakpastian, nilai pendekatan, kaidah angka penting, 6) Keseimbangan, 7) Gerak melingkar, 8) Kerja oleh gaya konstan dan berubah, 9) Energi kinetik, potensial, hukum kekekalan *energy*, 10) Momentum linier dan implus, 11) Elastisitas dan hukum hooke.

Penulis berharap buku ini dapat menambah khasanah keilmuan kepada seluruh pembaca dan dapat memenuhi kebutuhan materi belajar mengajar tentang Fisika Dasar Pada Industri. Buku ini diharapkan dapat membantu pembaca dalam melaksanakan proses belajar mengajar sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Pada kesempatan ini, penulis membuka ruang bagi para akademisi, praktisi, dan para pembaca sekalian untuk memberikan saran, masukan maupun kritik yang sifatnya membangun demi penyempurnaan buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat untuk semua. Aamiin

Penulis, Juli 2022

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	x
BAB 1	1
PENGANTAR ILMU FISIKA	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Sejarah Fisika Industri	1
1.2.1 Metode Saintifik.....	2
1.2.2 Perkembangan Fisika Modern.....	2
1.3 Peran Fisika Dasar di Industri	3
1.4 Efektivitas Fisika Dasar Dalam Industri	4
1.4.1 FOKUS PERMASALAHAN.....	4
1.5 Aplikasi Fisika Dasar pada Industri.....	5
1.6 Kesimpulan.....	6
BAB 2	8
BESARAN, SATUAN DAN DIMENSI BESARAN	8
2.1 Pendahuluan.....	8
2.2 Besaran Fisika.....	8
2.3 Pengukuran dan Satuan.....	10
2.3.1 Pengukuran Panjang.....	10
2.3.2 Pengukuran Massa.....	15
2.3.3 Pengukuran Waktu	16
2.4 Satuan Sistem Internasional.....	16
2.4.1 Satuan Panjang.....	17
2.4.2 Satuan Massa	20
2.4.3 Satuan Waktu.....	20
2.4.4 Satuan Kuat Arus Listrik.....	21
2.4.5 Satuan Suhu.....	21
2.4.6 Satuan Intensitas Cahaya	21
2.4.7 Satuan Jumlah Zat.....	22
2.5 Dimensi.....	22
BAB 3	25
VEKTOR DAN SKALAR.....	25
3.1 Pengertian Vektor dan Skalar.....	25

3.2 Vektor	25
3.3 Operasi Perhitungan Vektor.....	26
3.3.1 Notasi vektor	26
3.3.2 Penjumlahan dan Pengurangan Vektor.....	27
3.3.3 Komponen Vektor	28
3.3.4 Unit Vektor	30
3.3.5 Penjumlahan Komponen Vektor	31
3.3.6 Perkalian Vektor.....	31
3.4 Soal dan Penyelesaian.....	33
3.5 Latihan Soal.....	38
BAB 4	40
OPERASI YANG BERLAKU PADA VEKTOR DAN SKALAR	40
4.1 Pendahuluan.....	40
4.2 Operasi Skalar dan Vektor	41
4.2.1 Aljabar Vektor	42
4.3 Penerapan Operasi Vektor	46
BAB 5	49
TEORI KETIDAKPASTIAN, NILAI PENDEKATAN, & KAIDAH ANGKA PENTING	49
5.1 Pendahuluan.....	49
5.2 Teori Ketidakpastian	51
5.2.1 Akurasi dan Presisi	53
5.2.2 Ketidakpastian Mutlak dan Relatif.....	54
5.3 Nilai Pendekatan	56
5.4 Kaidah Angka Penting.....	57
BAB 6	61
KESEIMBANGAN BENDA TEGAR.....	61
6.1 Pendahuluan.....	61
6.2 Keseimbangan Benda Tegar.....	61
6.2.1 Pusat Massa.....	63
6.2.2 Titik Berat.....	64
6.3 Jenis Keseimbangan	65
6.3.1 Keseimbangan stabil.....	65
6.3.2 Keseimbangan labil	66
6.3.3 Keseimbangan netral.....	67
6.4 Persamaan Keseimbangan Benda Tegar	67
6.4.1 Momen gaya.....	67

6.4.2 Penguraian gaya	67
6.4.3 Gerakan translasi dan rotasi.....	68
6.4.4 Gaya gesek	68
6.4.5 Gaya berat	68
6.5 Syarat-syarat Benda Dalam Keadaan Setimbang.....	68
6.5.1 Keseimbangan translasi	68
6.5.2 Keseimbangan rotasi	69
6.6 Penerapan Keseimbangan Benda Tegar	70
6.6.1 Engsel penyangga	71
6.6.2 Rol penyangga pada jembatan.....	71
6.6.3 Engsel interior	72
6.6.4 Pada ayunan yang diam	72
6.6.5 Pada LCD yang digantung	73
6.6.6 Lampu lalu lintas	73
6.7 Kesimpulan.....	74
BAB 7	76
GERAK MELINGKAR.....	76
7.1 Besaran Sudut.....	76
7.1.1 Posisi Sudut.....	76
7.1.2 Perpindahan Sudut.....	78
7.1.3 Kecepatan Sudut.....	78
7.1.4 Periode dan Frekuensi Pada Besaran Sudut.....	79
7.2 Hubungan Roda-Roda.....	80
7.3 Percepatan Dalam Gerak Melingkar	84
7.2.1 Gerak Melingkar Berubah Beraturan.....	84
7.2.2 Percepatan Linier Pada Gerak Melingkar	84
BAB 8	89
USAHA OLEH GAYA KONSTAN DAN BERUBAH	89
8.1 Pendahuluan.....	89
8.2 Usaha.....	89
8.2.1 Definisi Gaya	89
8.2.2 Usaha oleh Gaya Konstan	92
8.2.3 Usaha oleh Gaya Tidak Konstan	96
BAB 9	105
ENERGI KINETIK, ENERGI POTENSIAL, DAN	
HUKUM KEKEKALAN ENERGI.....	105
9.1 Pengertian Energi.....	105

9.2 Energi Kinetik (E_k)	106
9.3 Energi Potensial Gravitasi (E_p).....	108
9.4 Energi Potensial Pegas.....	110
9.5 Hukum Kekekalan Energi	111
BAB 10	116
MOMENTUM LINIER DAN IMPULS.....	116
10.1 Pendahuluan.....	116
10.2 Momentum Linier.....	116
10.3 Impuls.....	118
10.4 Hubungan Momentum Linier dan Impuls.....	120
10.5 Hukum Kekekalan Momentum.....	121
BAB 11	126
ELASTISITAS DAN HUKUM HOOKE.....	126
11.1 Elastisitas.....	126
11.2 Hukum Hooke.....	131
11.2.1 Pegas Seri.....	133
11.2.2 Pegas Paralel.....	133
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Albert Einstein (1879-1955).....	3
Gambar 2. Jangka Sorong dan Bagian-bagiannya	11
Gambar 3. Jangka Sorong Analog dan Jangka Sorong Digital	12
Gambar 4. Contoh Pembacaan Jangka Sorong.....	13
Gambar 5. Beberapa Macam Mikrometer Sekrup	14
Gambar 6. Contoh Pembacaan Skala Mikrometer	15
Gambar 7. Berbagai Jenis Neraca Ohaus	15
Gambar 8. Standar Meter yang saat ini tidak digunakan Lagi.....	19
Gambar 9. Duplikat massa standar yang disimpan di National Institute of Standard and Technology (NIST), Amerika Serikat.....	20
Gambar 10. Jam atom dari frekuensi gelombang yang dipancarkan atom Cesium-133	21
Gambar 11. Vektor V dan Vektor r	26
Gambar 12. Vektor $a=b$ dan Vektor $-a$	27
Gambar 13. Penjumlahan dua vektor dengan metode Geometris.....	27
Gambar 14. Pengurangan Vektor dengan Metode Geometris.....	28
Gambar 15. (a) Komponen vektor $\vec{a}$ pada sumbu x ($\vec{a}_x$) dan sumbu y ($\vec{a}_y$). (b)Komponen vektor membentuk segitiga siku-siku dengan sisi miring adalah besarnya nilai vektor	29
Gambar 16. Komponen persegi panjang dari sebuah vektor. θ adalah sudut antara arah vektor dan arah.	29
Gambar 17. Vektor satuan dalam sumbu koordinat dua Dimensi.....	30
Gambar 18. Diagram vektor contoh soal 2	31
Gambar 19. Penjumlahan vektor dengan metode poligon.....	33
Gambar 20. menggambar vektor pada tiga dimensi	37
Gambar 21. Vektor (Perencanaan).....	41
Gambar 22. Perpindahan partikel A ke B (Effendi)	42
Gambar 23. Vektor sejajar (Sukirman, 2022)	42
Gambar 24. Perkalian scalar dua vektor (Nurohman, 2022).....	43

Gambar 53. Sifat vektor suatu gaya diuji dengan skala pegas [1].....	92
Gambar 54. Jika suatu benda mengalami perpindahan d di bawah aksi gaya konstan F , usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut adalah $(F \cos \theta) d$ [1].	93
Gambar 55. Ketika sebuah benda diletakkan pada permukaan horizontal tanpa gesekan, gaya normal $\mathbf{n}$ dan gaya gravitasi $\mathbf{g}$ tidak melakukan usaha pada benda. Dalam kondisi ini, F adalah satu-satunya gaya yang melakukan usaha pada benda [1].....	94
Gambar 56. Koper ditarik dengan sudut $30,0^\circ$ dengan horizontal [3].	95
Gambar 57. (a) Usaha yang dilakukan oleh komponen gaya F_x untuk perpindahan kecil Δx adalah $F_x \Delta x$, yang sama dengan luas persegi panjang yang diarsir. Usaha total yang dilakukan untuk perpindahan dari x_i ke x_f kira-kira sama dengan jumlah luas semua persegi panjang. (b) Usaha yang dilakukan oleh komponen F_x dari gaya yang berubah-ubah ketika partikel bergerak dari x_i ke x_f sama persis dengan luas area di bawah kurva ini [1].....	97
Gambar 58. Gaya yang bekerja pada sebuah partikel adalah konstan untuk gerakan $4,0$ m pertama dan kemudian berkurang secara linier searah x dari $x_B = 4,0$ m ke $x_C = 6,0$ m. Usaha bersih yang dilakukan oleh gaya ini adalah luas daerah di bawah kurva [1].	98
Gambar 59. Gaya yang diberikan oleh pegas pada sebuah balok bervariasi dengan perpindahan balok sejauh x dari posisi setimbang $x = 0$. (a) Ketika x positif (pegas regangan), gaya pegas diarahkan ke kiri. (b) Ketika x adalah nol (panjang alami pegas), gaya pegas adalah nol. (c) Ketika x negative (pegas terkompresi), gaya pegas diarahkan ke kanan. (d) Grafik F_s versus x untuk sistem balok-	

	pegas. Usaha yang dilakukan oleh gaya pegas saat balok bergerak dari - $x_{\max}$ ke 0 adalah luas segitiga yang diarsir, $\frac{1}{2}kx_{\max}^2$ [1]	100
Gambar 60.	Sebuah balok ditarik dari $x_i = 0$ ke $x_f = x_{\max}$ pada permukaan tanpa gesekan dengan gaya F_{app} . Jika proses dilakukan dengan sangat lambat, gaya yang diberikan sama dan berlawanan dengan gaya pegas setiap saat [1].	101
Gambar 61.	Menentukan konstanta gaya k dari pegas. Perpanjangan d disebabkan oleh benda yang menempel, yang memiliki berat mg . Karena gaya pegas menyeimbangkan gaya gravitasi, maka $k = mg/d$ [1]	102
Gambar 62.	Energi Kinetik pada Balok	106
Gambar 63.	Contoh Energi Potensial	108
Gambar 64.	Usaha Oleh Gaya F Untuk	110
Gambar 65.	Anak Meluncur dari Ketinggian	112
Gambar 66.	Dua buah mobil F1 yang identic	118
Gambar 67.	Impuls pada proses bermain golf	119
Gambar 68.	Aplikasi perubahan momentum pada sepakbola	121
Gambar 69.	Proses kekekalan momentum pada tumbukan bola billiard	123
Gambar 70.	Grafik hubungan Gaya -vs- Pertambahan panjang	127
Gambar 71.	Tegangan yang terjadi pada suatu benda	127
Gambar 72.	Regangan yang terjadi pada suatu benda	128
Gambar 73.	Pegas	129
Gambar 74.	Pegas seri	133
Gambar 75.	Pegas paralel	133

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Besaran Pokok dalam Fisika	9
Tabel 2. Satuan SI untuk Besaran Pokok	16
Tabel 3. Faktor Pengali dan Awalannya	17
Tabel 4. Kaidah Operasi Matematika dengan Angka Penting.....	59
Tabel 5. Persamaan Gerak Melingkar Berubah Beraturan.....	84
Tabel 6. Hubungan gaya, waktu dan impuls.....	120
Tabel 7. Modulus Young suatu benda.....	130

BAB 1

PENGANTAR ILMU FISIKA

Oleh Aminatus Sa'diyah

1.1 Pendahuluan

Fisika merupakan ilmu pengetahuan dasar yang mencakup seluruh fenomena alam baik di bidang sains, terapan maupun keteknikan. Fisika memberikan kontribusi secara menyeluruh pada berbagai aspek perhitungan secara matematis, analitik hingga praktik. Ilmu Fisika dalam Teknik Industri dan rekayasa mempelajari tentang sistem pengukuran dan notasi ilmiah, Vektor, kinematika, dinamika partikel, Momen gaya serta kesetimbangan yang mendukung analisis proses dalam dunia industri. Fisika lanjut juga mempelajari tentang gerak melingkar, kerja dan energi, momentum, elastisitas dan gelombang mekanik sebagai suatu kesatuan yang saling melengkapi rumus empiris dalam persoalan fisika di industri. (Rika, 2018)

Capaian pembelajaran dalam Fisika Dasar untuk Teknik Industri adalah menguasai konsep keilmuan teoretis sains alam, aplikasi matematika rekayasa, prinsip rekayasa (*engineering fundamentals*), dan perancangan rekayasa yang diperlukan untuk analisis dan perancangan sistem terintegrasi dalam industri dan terapan. Sehingga diharapkan dengan mempelajari materi Fisika Dasar dapat memperkuat pondasi keilmuan terapan di bidang industri dan rekayasa pendukungnya. (Suryantari, 2012)

1.2 Sejarah Fisika Industri

Pada awal perkembangannya, Fisika dimulai dengan pemikiran filosofis dimana manusia secara harfiah akan berinteraksi dengan alam lingkungannya. Fisika tidak berawal dari eksperimen yang sistematis melainkan melalui pengamatan dan pemikiran yang terbatas seperti dilakukan oleh Richtmeyer dan Jacoub. (Sudarmanto, 2016)

Perkembangan Fisika dibagi menjadi 4 periode diantaranya periode pra sejarah yang berakhir pada tahun 1550 M. Pada zaman ini manusia mengembangkan ilmu pengetahuan dengan pemikiran yang lebih terstruktur, ditandai dengan penemuan di bidang astronomi berupa kalender Masehi dengan perhitungan 1 tahun = 365 hari, selain itu juga terdapat perkembangan ilmu prediksi gerhana dan katalog rasi bintang. Dalam bidang *industry*, telah dikembangkan teori tentang konsep peleburan logam, fabrikasi roda, piramida, pengukuran dan standard berat, serta perhitungan mata uang koin.

Pada periode abad ke-6 M, perkembangan ilmu dan teknologi bersinergi dengan perkembangan ilmu Matematika. Di bidang astronomi, pengamatan gerak benda langit dapat diamati dan dihitung dengan menggunakan hipotesis Democritus yang menyatakan bahwa materi terdiri dari kesatuan atom-atom. Ilmuwan Archimedes mencetuskan konsep teknologi dengan menggabungkan analisis Fisika dan matematika untuk perhitungan katrol dan hukum hidrostatis.

1.2.1 Metode Saintifik

Galileo merupakan ilmuwan Fisika pencetus metode penelitian yang lebih sistematis yang dikenal dengan metode saintifik. Teori Galileo hadir sebagai penyempurna teori mekanika dengan menjelaskan kinematika dan dinamika dengan lebih terstruktur. Temuan ini dilanjutkan oleh Newton hingga melahirkan teori gerak dalam ilmu mekanika yang digunakan sampai sekarang. (Panjaitan, 2005)

Mekanika menyumbang banyak hukum Fisika seperti Bernoulli, teori Kinetik gas, Vibrasi transversal dari batang, kekekalan momentum yang dikenal dengan Fisika Klasik. Ilmuwan yang merumuskan kaidah dan hukum Fisika klasik diantaranya adalah Huygens (1629-1695), Bernoulli (1700-1782), Helmholtz (1821-1894), Joule (1818-1889), dan Maxwell (1831-1879).

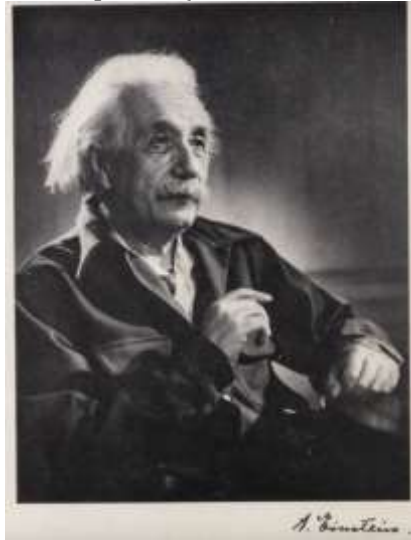
1.2.2 Perkembangan Fisika Modern

Periode Fisika Modern diawali pada tahun 1890 atau akhir abad 19 ditandai dengan penemuan hukum relativitas yang dicetuskan oleh Albert Einstein (1879-1955) dan Max Planck

(1858-1947) sehingga periode ini dilandaskan pada dua teori Relativitas Einstein dan Teori Kuantum Max Planck.

Teori Fisika modern yang berlandaskan relativitas dan kuantum, menjelaskan secara empiris tentang energi radiasi diskrit dalam bentuk kuantum. Berikutnya Einstein melalui dua postulatnya menyelesaikan konflik teori Galileo dan Newton mengenai rumus pertambahan kecepatan dan relativitas. Teori ini menghasilkan kesetaraan massa dan energi yang dipakai sebagai salah satu prinsip dasar transformasi partikel. (Whittaker, 1997)

Berawal dari penemuan Einstein mengenai prinsip relativitas, melahirkan ilmuwan Teori Kuantum Planck dan Bohr yang selanjutnya dikembangkan oleh Schrodinger, Pauli, dan Heisenberg dalam penelitian tentang teori atom, inti, partikel sub atomik, molekul, dan zat padat. (Sudarmanto, 2016)



Gambar 1. Albert Einstein (1879-1955)
(Sumber : (Whittaker, 1997))

1.3 Peran Fisika Dasar di Industri

Ilmu Fisika memiliki peran yang sangat penting dalam dunia industri terutama berfokus pada perancangan, peningkatan dan instalasi sistem yang terintegrasi secara simultan antara manusia, properti material, instrumentasi, dan energi. Kebutuhan ilmu Fisika

dan ilmu pendukung lainnya seperti Matematika serta ilmu sains yang lain sangat diperlukan dalam pelaksanaan metodologi saintifik maupun teknik atau rekayasa. Metodologi ini digunakan untuk menspesifikasi, memprediksi, dan mengevaluasi hasil yang diperoleh dari suatu pengambilan data secara integrasi. Sehingga dibutuhkan dasar keilmuan yang kuat tentang dasar Fisika untuk bisa menganalisis problematika yang terjadi di dunia industri. (Suryantari, 2012)

Ilmu Fisika yang diterapkan di dunia industri erat kaitannya dengan ilmu Kimia, seperti industri farmasi, industri plastik, pupuk dan lain sebagainya (E, 2001). Dalam perkembangannya, industri yang melibatkan unsur Kimia pasti juga akan memanfaatkan peran Fisika dalam proses produksinya, sebagai contoh adalah industri pertambangan yang menggunakan prinsip elektrokimia dalam laboratorium untuk mengukur laju korosi pada pipa (GM Ingo, 2001). Selain itu dalam industri pariwisata, ilmu Fisika juga berperan sangat penting dalam konservasi artefak kuno yang berbahan dasar logam. Sifat-sifat fisis yang terdapat dalam logam bisa dianalisis dengan menggunakan hukum Fisika sehingga mempermudah para sejarawan dan arkeolog untuk penelitian. (Widjajanti, 2009)

1.4 Efektivitas Fisika Dasar Dalam Industri

1.4.1 FOKUS PERMASALAHAN

Beberapa masalah yang terdapat dalam penerapan Fisika Dasar dalam industri diantaranya adalah tingkat efektivitas yang rendah. Menurut penelitian yang dilaksanakan oleh Suryantari, 2012 menunjukkan bahwa Fisika Dasar yang disampaikan dalam pembelajaran perguruan tinggi memiliki tingkat efektivitas yang rendah dan kurang dalam hal relevansi terhadap permasalahan di industri. Hal ini menyebabkan sebagian mahasiswa menganggap bahwa mata kuliah Fisika menjadi kurang menarik dan terkesan monoton.

Sebagai respon terhadap fenomena tersebut, maka dalam perkuliahan perlu adanya peninjauan terhadap permasalahan yang dihadapi oleh mahasiswa terutama terkait dengan *study* kasus di dunia industri. Metode pembelajaran yang disampaikan harus

disesuaikan dengan kebutuhan materi dasar di industri untuk mencapai tingkat relevansi yang tinggi. Prioritas topik Fisika yang disampaikan dalam pembelajaran berfokus pada teori aplikatif yang ada di industri sesuai bidangnya, ditunjang dengan adanya panduan materi berdasarkan materi prioritas yang telah ditentukan. Hal ini bisa dijadikan sebagai salah satu metode untuk meningkatkan efektivitas Fisika Dasar di dunia industri. Selain itu, materi pokok sesuai dengan kaidah standard Fisika juga perlu diperdalam dengan memberi umpan balik pada mahasiswa berupa asesmen agar kemampuan pemahaman materi di akhir semester sesuai dengan kompetensi yang diharapkan.

1.5 Aplikasi Fisika Dasar pada Industri

Fisika merupakan materi dasar yang harus dipahami dalam memecahkan studi kasus dan permasalahan yang ada di dunia industri. Fisika meramu konsep secara teoritis dan aplikatif dengan variabel dan parameter yang banyak digunakan dalam pengukuran instrumentasi dan peralatan di industri. Materi Fisika yang sering digunakan dalam dunia industri diantaranya adalah Mekanika, Listrik dan magnet, getaran dan gelombang, serta Fisika modern yang mencakup fisika energi dan nuklir.

Materi dasar dalam Fisika Teknik industri yang harus dikuasai meliputi besaran dan satuan, operasi vektor dan skalar, serta pengukuran dan teori ketidakpastian.

Kaidah mekanika merupakan materi aplikatif yang paling sering digunakan dalam analisis studi kasus Fisika industri. Penerapan hukum Newton dengan konsep gaya dapat diimplementasikan pada pesawat angkat angkut, fisika bangunan, permesinan, serta kinerja instrumen dan peralatan yang digunakan di industri.

Listrik dan magnet memiliki peran yang sangat krusial dalam dunia industri dimana semua instrumen dan peralatan yang beroperasi telah menggunakan listrik. Mesin dan alat fabrikasi industri terutama yang bergerak di bidang pembangkit dan industri pengolahan bahan mentah membutuhkan teori dasar kelistrikan dan magnet yang harus dikuasai oleh pekerja sebelum

mengoperasikan alat. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya kesalahan atau human error.

Berikutnya adalah getaran dan gelombang, materi tersebut merupakan dasar ilmu Fisika yang erat kaitannya dengan masalah keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di dunia industri. Sebagian besar alat dan instrumen di industri atau perusahaan saat beroperasi mengeluarkan getaran dan gelombang yang jika tidak sesuai dengan standard maka akan menimbulkan gangguan kesehatan bagi para pekerja.

Materi Fisika dasar yang sedang marak digunakan saat ini adalah mengenai energi yang tercantum dalam Fisika modern. Analisis mengenai struktur atomik, partikel dan kemampuan molekul untuk menghasilkan energi sangat berguna bagi perkembangan teknologi yang menunjang efektivitas industri. Dimana energi merupakan isu internasional yang sedang diteliti oleh sebagian besar ilmuwan. Energi yang dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga uap melalui proses termodinamika dan perpindahan panas dan juga proses energi secara atomik yang bersifat reaktif untuk pembangkit energi nuklir.

1.6 Kesimpulan

Fisika dasar memberikan sumbangan ilmu pengetahuan yang sangat besar manfaatnya bagi perkembangan teknologi terutama di dunia industri. Kemampuan mahasiswa perlu ditunjang dengan standard materi Fisika yang tepat guna agar relevansi pembelajaran sesuai dengan kebutuhan di industri. Sehingga diperlukan asesmen pendukung materi Fisika dasar agar capaian pembelajaran sesuai dengan kompetensi yang diharapkan. Peran Fisika dasar sangat besar di dunia industri untuk menganalisis variabel fisis menggunakan kaidah mekanika dalam teori Fisika klasik hingga studi atomik menggunakan kaidah Fisika kuantum dalam teori Fisika modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Rika. (2018). Dr. *Rencana Pembelajaran Semester Fisika Dasar* (pp. 1-8). Fakultas Sains dan Teknologi.
- Suryantari, R. (2012). *Pengajaran Materi Fisika Dasar Untuk Mahasiswa Fakultas Teknologi Industri*. Bandung: Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik Parahyangan.
- Widjajanti, E. (2009). *Peran Kimia Fisika dalam Industri*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
- E, M. C. (2001). *Surface Chemistry*. Oxford: Oxford University Press.
- GM Ingo, E. A. (2001). Contributin of Surface Analytical Techniques for the Microchemical Study of Archeological Artefacts. *Proceeding 9th ECASIA* (p. 34). Avignon: ECASIA.
- Sudarmanto, A. (2016, Maret 6). *Asal usul Perkembangan Fisika yang Tercatat Sejarah*. Retrieved from <https://fst.walisongo.ac.id/wp-content/uploads/2016/03/ASAL-USUL-PERKEMBANGAN-FISIKA-YANG-TERCATAT-SEJARAH.pdf>
- Panjaitan, M. (2005). *Sejarah Fisika, Sains, dan Teknologi*. Pematang siantar: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas HKBP Nommesen.
- Whittaker, E. T. (1997). *Albert Einstein, 1879-1955*. Royal Society.

BAB 2

BESARAN, SATUAN DAN DIMENSI BESARAN

Oleh Rafika Andari

2.1 Pendahuluan

Para insinyur dengan hati-hati memeriksa ukuran, berat, kualitas material, kekuatan pegas sistem rem, dan sebagainya saat membuat mobil. Rangka mobil telah dibuat sedemikian rupa sehingga memiliki bentuk yang menarik, bergaya, dan aerodinamis. Insinyur membuat robot untuk membantu mereka menyelesaikan pekerjaan mereka dengan lebih benar, cepat, efektif, dan efisien seiring kemajuan teknologi. Kita harus ingat bahwa untuk melakukan semua pekerjaan teknik, para insinyur harus terlebih dahulu memahami dasar-dasar fisika. Salah satu hal dasar dalam fisika adalah pemahaman akan konsep besaran dan satuan seperti yang akan dibahas pada bab ini.

Dalam bab ini, kita akan membahas beberapa konsep dasar yang diperlukan untuk mempelajari fisika secara keseluruhan, seperti pengukuran, besaran, satuan, dan dimensi.

2.2 Besaran Fisika

Besaran fisika adalah sifat suatu benda atau gejala alam yang dapat diukur. Sifat-sifat tersebut antara lain panjang, massa, waktu, suhu udara, kekerasan benda, kecepatan mobil, kecerahan cahaya, energi yang tersimpan dalam kapasitor, arus listrik yang mengalir pada alat-alat listrik, tegangan listrik PLN, daya listrik lampu, dan massa jenis air. Akibatnya, semua kualitas ini dinyatakan sebagai besaran fisika (Abdullah, 2016).

Jika semua besaran fisika dihitung saat ini, jumlah totalnya luar biasa besar. Namun, ternyata satu besaran dapat dihasilkan dari sejumlah besar besaran fisika. Besaran massa jenis, misalnya, dapat ditentukan dengan menggunakan besaran massa dan volume. Produk massa dibagi volume didefinisikan sebagai massa jenis zat.

Besarnya gaya dapat dihitung dengan mengalikan besaran massa dengan besar percepatan, di mana gaya adalah hasil kali massa dan percepatan. Volume dapat dihitung dengan mengukur tiga besaran, yaitu panjang, lebar, dan tinggi (Abdullah, 2016).

Besaran fisika diklasifikasikan menjadi beberapa macam. Besaran secara konseptual terdiri dari dua jenis, yaitu besaran pokok dan besaran turunan. Besaran juga diklasifikasikan secara teknis menjadi dua jenis, yaitu besaran skalar dan besaran vektor. Besaran pokok merupakan besaran yang telah didefinisikan berdasarkan ukuran standar dan menjadi dasar Sistem Satuan Internasional (Kurniawati, 2019).

Pada tahun 1971, Konferensi IV tentang Ukuran dan Skala menetapkan tujuh besaran pokok dan dua besaran tambahan. Tabel 1 menunjukkan tujuh besaran pokok sebagaimana didefinisikan oleh buku pegangan *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM). Sudut bidang dalam radian (rad) dan sudut ruangan dalam steradian adalah dua besaran tambahan yang disebutkan (sr) (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

Tabel 1. Besaran Pokok dalam Fisika

No.	Besaran Pokok	Penggunaan
1.	Panjang	Pengukuran panjang benda
2.	Massa	Menentukan massa atau kuantitas materi benda
3.	Waktu	Menghitung waktu yang berlalu antara dua peristiwa
4.	Kuat Arus Listrik	Pengukuran arus listrik
5.	Suhu	Menentukan kalor suatu benda
6.	Intensitas Cahaya	Mengukur banyaknya cahaya yang jatuh pada benda
7.	Jumlah Zat	Menghitung jumlah partikel yang dalam suatu benda

Sumber: Diktat Fisika Dasar I, 2016.

Terlepas dari tujuh besaran pokok yang ditunjukkan pada Tabel 1. besaran turunan mengacu pada semua besaran fisika. Semua besaran turunan adalah besaran yang merupakan gabungan

dari besaran-besaran pokok. Karena banyaknya besaran fisika, maka hampir semua besaran fisika dapat dikatakan besaran turunan. Beberapa contoh besaran turunan adalah luas (gabungan dua besaran pokok panjang), massa (gabungan besaran pokok massa dan besaran turunan volume), volume (gabungan tiga besaran pokok panjang), dan kecepatan (gabungan besaran pokok panjang dan besaran pokok waktu) (Abdullah, 2016).

2.3 Pengukuran dan Satuan

Pengukuran adalah suatu kegiatan membandingkan satu objek dengan objek lain yang dianggap sebagai standar, yang dikenal sebagai satuan. Beberapa persyaratan harus dilengkapi sebelum suatu satuan dapat digunakan sebagai satuan standar, diantaranya adalah:

1. Nilai satuan harus tetap, artinya tidak terpengaruh oleh cuaca baik panas atau dingin, lokasi, waktu dan lainnya.
2. Mudah dipulihkan, artinya memudahkan siapa pun untuk mendapatkan satuan jika perlu mengukur sesuatu.
3. Satuan dapat diterima secara internasional, dan sistem satuan ini dapat digunakan oleh semua orang. (Tim Program Pembekalan Fisika Dasar, 2017).

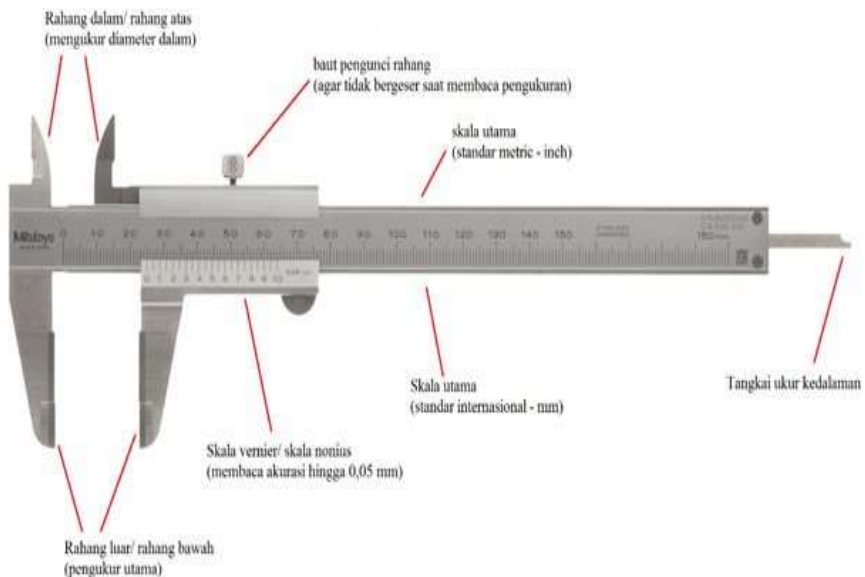
Satuan menjadi suatu hal yang cukup penting dalam fisika. Orang akan bingung dengan data pengukuran yang tidak menyertakan satuan. Dengan menyertakan satuan, hasil pengukuran yang diperoleh akan dipahami secara sama oleh semua orang dimanapun. Jika Anda mengukur besaran fisika, Anda harus menyertakan satuan yang relevan.

2.3.1 Pengukuran Panjang

Ada berbagai macam alat ukur dan metode penggunaannya. Penggaris, jangka sorong, dan mikrometer dasar akan dibahas sebagai alat ukur. Ketepatan pengukuran alat ini bervariasi. Mikrometer adalah yang paling presisi, diikuti dengan jangka sorong, sedangkan penggaris adalah yang paling tidak presisi (Abdullah, 2016).

Pengukuran panjang dapat menggunakan mistar/penggaris atau meteran, Alat ukur panjang ini antara lain digunakan untuk mengukur panjang, lebar dan tinggi (Setiyo and Yulianti, 2012).

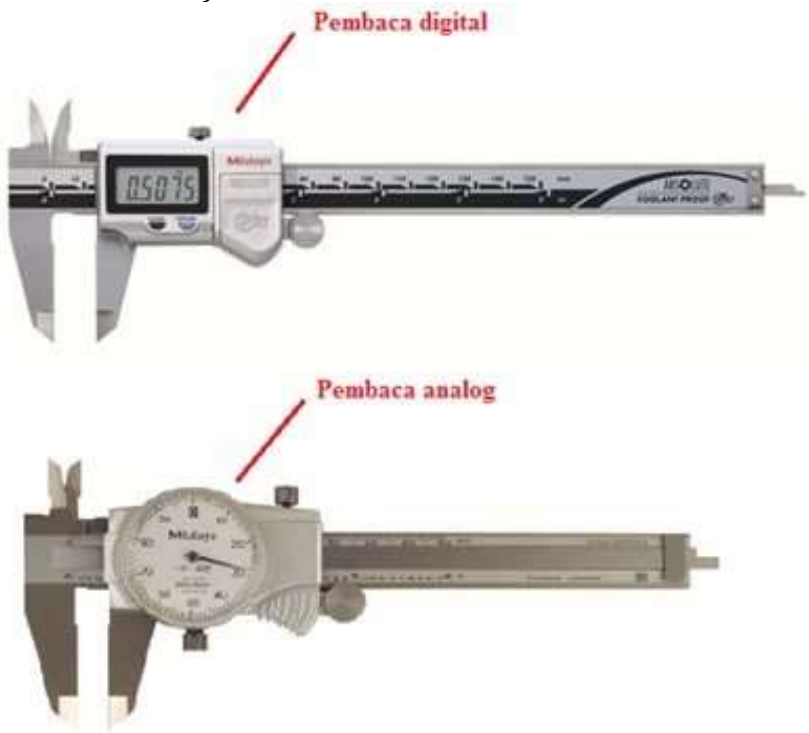
Jangka sorong digunakan untuk mengukur panjang. Dengan menggunakan jangka sorong, dapat diukur dimensi panjang seperti diameter pipa (diameter dalam dan diameter luar) dan kedalaman lubang. Metode pengukuran digambarkan pada Gambar 2, di mana venier pada jangka sorong dilengkapi dengan skala nonius untuk meningkatkan presisi/ketelitian pengukuran.



Gambar 2. Jangka Sorong dan Bagian-bagiannya
(Sumber : <https://www.studiobelajar.com/jangka-sorong/>)

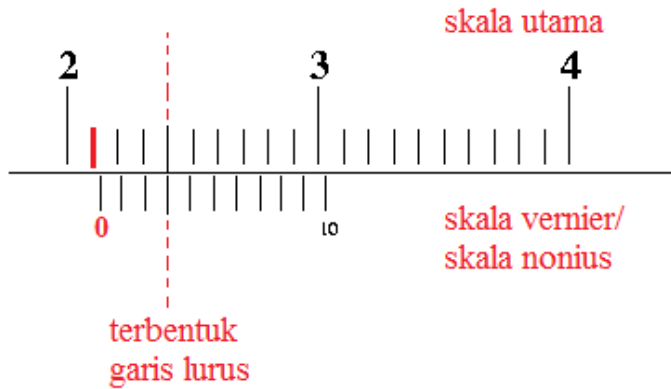
Jangka sorong yang terlihat di atas merupakan salah satu bentuk alat ukur tradisional pada umumnya, kadang disebut juga jangka sorong manual (karena hasil pengukuran harus dihitung secara manual). Selain tipe yang disebutkan di atas, ada dua lagi, yaitu jangka sorong analog dan digital, seperti terlihat pada Gambar 3. Karena hasil pembacaan pengukuran pada kedua alat tersebut langsung disajikan pada tampilan pembaca analog dan digital, maka kedua jenis ini tidak memerlukan perhitungan manual seperti

jangka sorong manual. Namun, kedua jenis alat ini membutuhkan perawatan ekstra dalam penggunaan dan perawatannya (jangan jatuhkan atau rusak).



Gambar 3. Jangka Sorong Analog dan Jangka Sorong Digital
(Sumber : <https://www.studiobelajar.com/jangka-sorong/>)

Cara membaca jangka sorong seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Contoh Pembacaan Jangka Sorong

Pembacaan hasil pengukuran menggunakan jangka sorong membutuhkan dua langkah, yakni:

1. Pembacaan skala utama: pada Gambar 4 menunjukkan angka yang paling dekat dengan garis nol pada skala nonius di sebelah kanan adalah 2, 21 mm atau 2,1 cm (garis merah). Akibatnya, skala utama yang diukur adalah 21 mm (2,1 cm).
2. Pembacaan skala nonius: pada Gambar 4, terdapat satu garis skala utama yang berpotongan dengan satu garis pada skala nonius. Garis lurus tersebut merupakan angka 3 pada skala nonius. Hasilnya, skala nonius yang diukur adalah 0,3 mm (0,03 cm).

Hasil pengukuran akhir diperoleh dengan menambahkan dua angka pengukuran di atas. Jadi, pengukuran tersebut di atas adalah $21 \text{ mm} + 0,3 \text{ mm} = 21,3 \text{ mm}$ atau 2,13 cm.

Mikrometer dapat memberikan hasil pengukuran panjang yang lebih akurat. Mikrometer sekrup memiliki ketelitian 0,01 mm. Namun, jumlah pengukuran yang dapat dilakukan sangat terbatas. Beberapa mikrometer hanya dapat mengukur hingga panjang maksimum kira-kira 1 inci. Gambar 5 menunjukkan berbagai contoh mikrometer dalam penggunaan. Kedua skala pada batang mikrometer dapat dibaca untuk memperoleh hasil

pengukuran, atau angka digital pada layar juga dapat dibaca untuk memperoleh hasil pengukuran.



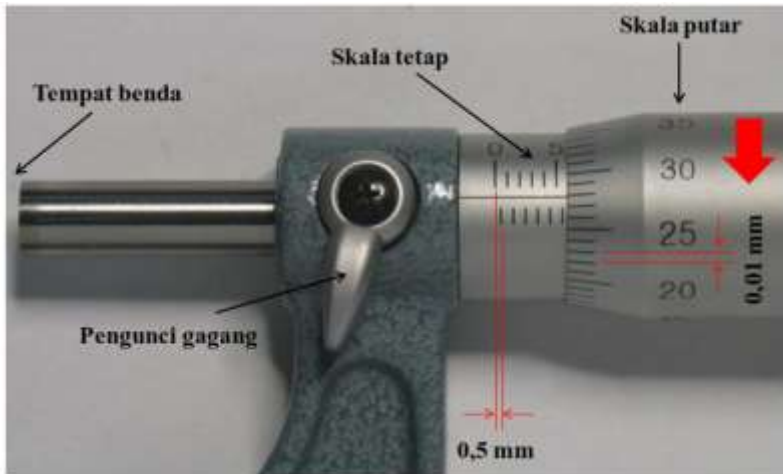
Gambar 5. Beberapa Macam Mikrometer Sekrup
(Sumber : www.mw-import.de, www.indicatorrepair.com,
ecatalog.mitutoyo.com)

Pembacaan pengukuran dengan mikrometer cukup sederhana, yaitu:

- 1) Lihatlah skala tetap yang telah dilalui silinder yang berputar. Skala tetap yang dilalui silinder rotasi pada Gambar 6 adalah 5,5 mm.
- 2) Carilah skala pada silinder berputar yang berhimpit dengan garis horizontal pada skala tetap. Skala ke-28 pada silinder putar berhimpit dengan garis horizontal skala tetap pada Gambar 6.

- 3) Skala silinder rotasi menunjukkan peningkatan panjang sebesar $28 \times 0,01 \text{ mm} = 0,28 \text{ mm}$.
- 4) Panjang pengukuran = skala tetap dilalui + peningkatan panjang silinder putar

Berdasarkan Gambar 6, hasil pengukuran adalah $5,5 \text{ mm} + 0,28 \text{ mm} = 5,78 \text{ mm}$.



Gambar 6. Contoh Pembacaan Skala Mikrometer
(Sumber : en.wikipedia.org, lalu dimodifikasi)

2.3.2 Pengukuran Massa

Pengukuran massa sebuah objek dapat menggunakan alat ukur neraca/timbangan. Pada Gambar 7 adalah pengukuran massa obyek menggunakan neraca/timbangan ohaus.



Gambar 7. Berbagai Jenis Neraca Ohaus

2.3.3 Pengukuran Waktu

Untuk mengukur waktu biasanya digunakan alat ukur seperti arloji, jam dinding, dan stopwatch. Sebuah arloji dan jam dinding umumnya mempunyai ketelitian hanya satu detik, sedangkan stopwatch lebih teliti dengan nilai ketelitian mencapai 0,001 detik.

2.4 Satuan Sistem Internasional

Satuan baku dan tidak baku dapat digunakan untuk mengukur besaran pokok dan besaran turunan. Penggunaan beberapa unit ini kemungkinan besar akan menghasilkan berbagai masalah. Untuk mengatasi hal tersebut, dibuatlah sistem standar satuan yang disepakati di Eropa pada saat itu di Prancis pada tahun 1790 dengan menetapkan standar panjang dalam meter. Metode ini dikenal sebagai sistem metrik, dan dikembangkan sebagai alternatif dari sistem Inggris, yang juga digunakan pada saat itu, khususnya di Inggris. Meskipun sistem metrik ini telah digunakan secara internasional sejak lama, istilah Sistem Internasional (SI) baru digunakan sejak tahun 1970. Karena sistem internasional ini diturunkan dari sistem metrik, maka lebih sering disebut sebagai sistem metrik. Tujuan dari pengembangan sistem seragam internasional adalah untuk mencapai keseragaman pengukuran sehingga dapat digunakan secara global. Akibatnya, Sistem Internasional ini bukanlah sistem yang terbesar. Sistem internasional didasarkan pada kelipatan sepuluh atau sistem desimal (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015). Satuan internasional untuk besaran pokok ditunjukkan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Satuan SI untuk Besaran Pokok

No.	Besaran Pokok	Satuan SI	Singkatan
1.	Panjang	meter	m
2.	Massa	kilogram	kg
3.	Waktu	sekon	s
4.	Kuat arus listrik	ampere	A
5.	Suhu	kelvin	K
6.	Intensitas cahaya	kandela	Cd
7.	Jumlah zat	mol	mol

Sumber: Diktat Fisika Dasar I, 2016.

Untuk mematuhi basis angka yang digunakan di seluruh dunia, sistem internasional diturunkan berdasarkan kelipatan 10 atau sistem desimal. Sistem internasional ini juga mudah diterapkan karena sesuai dengan jumlah jari manusia, memungkinkan penggunaan alat bantu visual sederhana dalam pengajaran, terutama untuk menggambarkan tangga/tingkat konversi. Dalam sistem internasional, hasil pengukuran dengan nilai yang sangat besar atau sangat kecil dapat dinyatakan dengan menambahkan awalan pada sistem besaran pokok. Tabel 3. menunjukkan beberapa awalan yang digunakan dalam sistem internasional.

Tabel 3.Faktor Pengali dan Awalannya

Faktor	Awalan	Simbol	Faktor	Awalan	Simbol
10^{24}	Yotta	Y	10^{-24}	Yotta	y
10^{21}	Zetta	Z	10^{-21}	Zepto	z
10^{18}	Eksa	E	10^{-18}	Atto	a
10^{15}	Peta	P	10^{-15}	Femto	f
10^{12}	Tera	T	10^{-12}	Piko	p
10^9	Giga	G	10^{-9}	Nano	n
10^6	Mega	M	10^{-6}	Micro	μ
10^3	Kilo	k	10^{-3}	Mili	m
10^2	Hekto	h	10^{-2}	Senti	c
10^1	deka	da	10^{-1}	Desi	d

Mekanika adalah cabang fisika pertama yang berkembang. Satu-satunya besaran fisika yang digunakan dalam mekanika adalah panjang, massa, dan waktu. Meter, kilogram, dan sekon adalah satuan SI untuk ketiga besaran tersebut. Kelompok tiga satuan ini dikenal sebagai satuan MKS (M = meter, K = kilogram, dan S = sekon). Satuan lain yang digunakan dalam mekanika untuk tiga besaran termasuk sentimeter untuk panjang, gram untuk massa, dan detik untuk waktu. Ketiga satuan tersebut juga disebut sebagai satuan CGS (C = sentimeter, G = gram, dan S = sekon). Konversi satuan MKS dan CGS sederhana saja, yaitu 1 meter = 100 sentimeter dan 1 kilogram = 1000 gram (Abdullah, 2016).

2.4.1 Satuan Panjang

Seperti yang dinyatakan sebelumnya, Institut Nasional Prancis menciptakan sistem metrik pada tahun 1790. Banyak

negara di Eropa dan Amerika Latin mengadopsi dan menggunakan sistem metrik hingga, pada tahun 1875, dua puluh di antaranya bersidang pada Konvensi Meter. Pakta Meter ditandatangani sebagai hasil dari pertemuan ini. Selain itu, tiga lembaga didirikan untuk mengawasi pelaksanaannya. Ketiga Lembaga tersebut adalah sebagai berikut:

- (1) *Conférence Générale des Poids et Mesures* (CGPM). Konferensi yang diadakan setiap empat hingga enam tahun ini mempertemukan perwakilan dari negara-negara yang telah menandatangani konvensi. Tujuan utama dari pertemuan ini adalah untuk menyebarkan dan memajukan Sistem Internasional (SI).
- (2) *Comité International des Poids et Mesures* (CIPM). Manajemen CIPM terdiri dari delapan belas spesialis dari berbagai negara. CGPM diusulkan untuk manajemen CIPM. CIPM bertemu setahun sekali, dan tugasnya adalah mempertimbangkan CGPM. CIPM ini dibagi menjadi subbagian yang menangani beberapa bidang. CCU (Consultative Committee for Units) adalah salah satu bidang CIPM yang bertugas memberikan saran kepada CIPM mengenai unit dan pengukuran.
- (3) *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), yang menyimpan pengelolaan kilo dan meter. BIPM telah menetapkan proses untuk melindungi artefak. BIPM juga menyediakan layanan kepada negara-negara yang ingin membuat ulang prototipe standar untuk digunakan di negara mereka sendiri. (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

Meter adalah satuan panjang dalam sistem metrik, dan pada awalnya didefinisikan sebagai sepersepuluh juta (10) dari jarak di permukaan bumi dari Kutub Utara ke Khatulistiwa dengan melewati kota Paris di Prancis. Satuan ini dibentuk secara legal pada tahun 1799. Jarak antara dua pukulan pada meteran standar yang terbuat dari campuran platina dan iridium pada 0 °C kemudian ditentukan sebagai satu meter,

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.(Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).



Gambar 8. Standar Meter yang saat ini tidak digunakan lagi
(Sumber : commons.wikimedia.org)

Meter standar ini sudah tidak digunakan lagi sejak tahun 1960 karena berbagai alasan, salah satunya adalah ketelitian yang dibutuhkan untuk mendukung kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi pada saat itu. Lebih lanjut, para ahli memahami bahwa menggunakan meteran standar yang terbuat dari paduan platinum-iridium tidak praktis dan ekspansi kecil, sehingga mereka menginginkan meteran standar yang dapat digunakan setiap saat. (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

Definisi baru ukuran panjang disepakati pada konferensi tahun 1960 yang membahas topik berat dan ukuran. Pada pertemuan tersebut, ditemukan bahwa satu meter memiliki panjang yang setara dengan 1.650.763,73 panjang gelombang cahaya merah-oranye dalam ruang hampa yang dipancarkan oleh atom-atom gas krypton-86. Mengapa gas krypton-86 digunakan? Dibandingkan dengan bahan kimia lainnya, krypton-86 mampu menghasilkan garis interferensi yang tajam dan berbeda. Namun, pada tahun 1983, definisi meter diubah sekali lagi menjadi jarak yang ditempuh cahaya dalam ruang hampa dalam $1/299/792.458$ detik. Definisi terakhir ini tampaknya lebih luar biasa (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

2.4.2 Satuan Massa

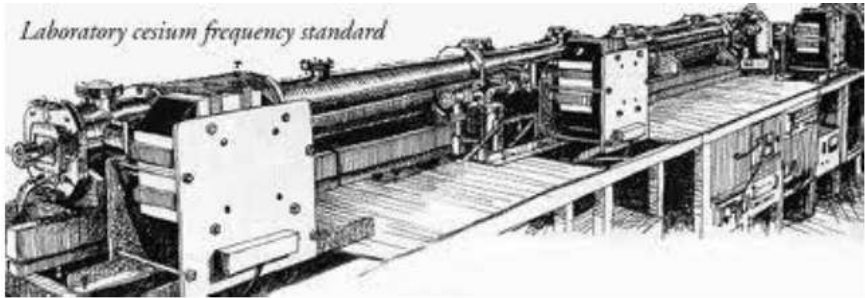
Kilogram adalah satuan standar massa (kg). Massa standar adalah silinder platinum-iridium dengan massa tepat 1 kg yang disimpan di Biro Berat dan Ukuran Internasional di Sevres, dekat Paris, Prancis. Gambar 9. Berikut ini adalah referensi massa standar. Semua ukuran massa harus mematuhi standar yang diakui secara internasional (Pandiangan, 2011).



Gambar 9. Duplikat massa standar yang disimpan di National Institute of Standard and Technology (NIST), Amerika Serikat
(Sumber : zelnio.org, museum.nist.gov)

2.4.3 Satuan Waktu

Satuan waktu dalam SI adalah detik/sekon. Satu detik didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan atom Cesium-133 untuk bergetar sebanyak 9.192.631.770 kali (Kurniawati, 2019). Untuk menghasilkan waktu standar, dibuatlah jam berdasarkan getaran gelombang yang dipancarkan oleh atom Cesium-133. Jam ini disebut jam atom. Contoh jam atom pertama yang disimpan di NIST, Amerika ditunjukkan pada Gambar 2.9. Jam atom menghasilkan akurasi yang sangat tinggi. Kesalahan yang terjadi kurang dari 1 detik dalam 30.000 tahun (Abdullah, 2016).



Gambar 10. Jam atom dari frekuensi gelombang yang dipancarkan atom Cesium-133
(Sumber : nist.gov)

2.4.4 Satuan Kuat Arus Listrik

Muatan listrik yang bergerak didefinisikan sebagai arus. Arus adalah laju pergerakan muatan listrik melalui suatu daerah tertentu per satuan waktu (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

Menurut kesepakatan internasional, standar kuat arus listrik ditetapkan pada ampere (A). Satu ampere didefinisikan sebagai jumlah arus yang mengalir melalui setiap kawat dari dua kawat paralel berdiameter kecil tak terhingga yang dipisahkan oleh jarak satu meter dalam ruang hampa, akan memberikan gaya 2×10^{-7} newton antara dua kawat. untuk setiap meter panjang kawat (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

2.4.5 Satuan Suhu

Kelvin (K) adalah satuan suhu internasional. Kelvin digunakan sebagai satuan standar karena suatu zat mempunyai molekul yang tidak bergetar atau berputar pada 0 K. Dan untuk setiap kenaikan suhu 1 K, suhu naik $\frac{1}{273,16}^{\circ}\text{C}$ (Kurniawati, 2019).

2.4.6 Satuan Intensitas Cahaya

Satuan standar untuk intensitas cahaya adalah candela (Cd). Daya yang dipancarkan oleh sumber cahaya dalam arah tertentu per satuan sudut diukur sebagai intensitas cahaya. Dalam optik dan fotometri, intensitas cahaya diukur. Candela adalah intensitas

sumber cahaya yang memancarkan radiasi monokromatik pada frekuensi 540×10^{12} Hz dan intensitas pancaran $1/683$ watt per steradian dalam satu arah (Kurniawati, 2019).

2.4.7 Satuan Jumlah Zat

Satuan standar internasional Untuk jumlah zat dikenal sebagai mol (*mole*). Satu mol zat adalah jumlah suatu zat dalam suatu sistem termasuk sejumlah besaran pokok seperti atom dalam 0,012 kilogram atom karbon-12 (Pandiangan, 2011).

2.5 Dimensi

Dalam fisika, istilah dimensi memiliki dua arti yang berbeda. Yang pertama berkaitan dengan kebebasan gerak suatu objek. Manik-manik yang ditinggalkan sendirian di atas meja dapat bergerak lebih bebas daripada manik-manik yang digantung pada kawat keras. Manik-manik yang digantung pada kawat kaku hanya akan bergerak sepanjang kawat. Manik-manik yang digantung diyakini ada di alam dimensi yang lebih rendah daripada manik-manik yang dibiarkan bebas di atas meja. Manik-manik yang dirangkai dikatakan “hidup” dalam ruang satu dimensi, sedangkan manik-manik yang dibiarkan lepas di atas meja dianggap “hidup” dalam ruang dua dimensi jika tidak dapat diangkat dari permukaan meja. Konsep dimensi kedua berkaitan dengan kuantitas. Ini akan menjadi topik diskusi pada bagian ini (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

Jarak gugus bintang dari Bumi adalah ukuran panjang dalam satuan apa pun. Jarak gugusan bintang masih berupa metrik panjang, baik diukur dalam meter, tahun cahaya, maupun satuan tradisional seperti inci, sedepa, dan sebagainya. Akibatnya, jarak memiliki dimensi panjang. Demikian pula, interval waktu dapat dinyatakan dalam satuan apa pun, apakah itu detik, menit, jam, atau satuan waktu lainnya; selang waktu tetaplah selang waktu. Ini memiliki dimensi waktu untuk itu (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

Awalnya, dimensi merupakan nama yang diberikan untuk setiap besaran yang terukur. Kemudian, dalam perkembangan selanjutnya, dimensi dipandang sebagai suatu teknik untuk

menyusun suatu besaran dengan memanfaatkan huruf atau simbol tertentu (Rosyid, Firmansah and Prabowo, 2015).

Dimensi besaran dinyatakan dengan simbol seperti M, L, T, yang merupakan singkatan dari massa (*mass*), panjang (*length*), dan waktu (*time*). Dimensi diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu dimensi primer dan dimensi sekunder. M (untuk satuan massa), L (untuk satuan panjang), dan T (untuk satuan waktu) adalah contoh dimensi primer. Dimensi sekunder adalah semua dimensi dari besaran turunan yang direpresentasikan dalam dimensi primer. Contoh : Dimensi Gaya : $M L T^{-2}$ atau dimensi Percepatan : $L T^{-2}$ (Setiyo and Yulianti, 2012).

Dimensi dalam Fisika memiliki manfaat diantaranya : (1) dapat digunakan untuk membuktikan dua besaran sama atau tidak. Dua besaran sama jika keduanya memiliki dimensi yang sama atau keduanya termasuk besaran vektor atau skalar, (2) dapat digunakan untuk menentukan persamaan yang pasti salah atau mungkin benar, (3) dapat digunakan untuk menurunkan persamaan suatu besaran fisis jika kesebandingan besaran fisis tersebut dengan besaran-besaran fisis lainnya diketahui (Setiyo and Yulianti, 2012).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2016). *Fisika Dasar I*. Institut Teknologi Bandung.
<https://fmipa.itb.ac.id/wp-content/uploads/sites/7/2017/12/Diktat-Fisika-Dasar-I.pdf>.
- Kurniawati, I. D. (2019). *Fisika Dasar Berbasis Masalah* (Estuning Dewi Hapsari (Ed.); Cetakan Pe). UNIPMA Press. Universitas PGRI Madiun.
- Pandiangan, P. (2011). Pengukuran dan Sistem Satuan dalam Fisika. *Alat Ukur Dasar Dan Ketidakpastian Pengukuran*, 1–43.
- Rosyid, M. F., Firmansah, E., & Prabowo, Y. D. (2015). *Fisika Dasar Jilid I: Mekanika*. Penerbit Periuk.
- Setiyo, Y., & Yulianti, N. L. (2012). *Fisika Dasar* (pp. 1–72). Universitas Udayana.
- Tim Program Pembekalan Fisika Dasar. (2017). *Materi Program Pembekalan Fisika Dasar*. Program Studi Teknik Industri, Universitas Ahmad Dahlan.

BAB 3

VEKTOR DAN SKALAR

Oleh Primasari Cahya Wardhani

3.1 Pengertian Vektor dan Skalar

Dalam ilmu fisika, yang merupakan ilmu dasar sains, mampu mengkaji seluruh aspek kehidupan, baik dari benda hidup hingga bidang astronomi, dan perkembangan teknologi. Pada dasarnya dalam mendefinisikan suatu besaran dalam fisika haruslah dapat diakui secara internasional. Dalam besaran fisika dikenal menjadi dua macam, besaran skalar dan besaran vektor. Besaran skalar merupakan besaran yang didefinisikan secara lengkap oleh bilangan tunggal dengan satuan yang sesuai. Besaran skalar juga dapat didefinisikan sebagai besaran yang hanya memiliki besar (nilai) saja tanpa memedulikan arah. Beberapa contoh besaran yang termasuk dalam besaran skalar adalah waktu, luas, volume, panjang, massa, dan masih banyak lainnya. Sedangkan besaran vektor merupakan besaran yang didefinisikan sebagai besaran yang memiliki besar (nilai) dan arah. Contoh dari besaran vektor adalah gaya, kecepatan, percepatan, momentum, dan sebagainya. (Halliday, Resnick and Walker, 2013)

Coba sebutkan 3 besaran skalar dan vektor yang diketahui selain yang telah disebutkan diatas!

3.2 Vektor

Besaran vektor merupakan besaran yang didefinisikan sebagai besaran yang memiliki besar (nilai) dan arah (Spiegel, Lipschutz and Liu, 2009; Stroud and Booth, 2020). Contoh dari besaran vektor adalah gaya, kecepatan, percepatan, momentum, dan sebagainya. Dalam penulisan suatu nilai dan arah suatu perpindahan atau pergerakan benda dalam fisika dapat dituliskan dengan beberapa notasi yang sudah digunakan secara umum. Pada subbab notasi vektor akan dijelaskan lebih lanjut mengenai bagaimana penulisan vektor.

3.3 Operasi Perhitungan Vektor

Sama halnya dengan skalar atau besaran, pada vektor juga dapat dilakukan berbagai operasi perhitungan seperti jumlahan, pengurangan, dan perkalian dari dua atau lebih jumlah vektor. Dalam penyelesaian operasi perhitungan vektor ada beberapa metode, seperti metode matematis dan metode grafis. Sebelum melakukan operasi perhitungan vektor, perlu Anda ketahui terlebih dahulu notasi atau istilah penulisan vektor yang akan dibahas pada subbab 3.3.1.

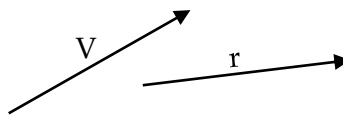
3.3.1 Notasi vektor

Vektor grafis oleh segmen garis yang memiliki arah yang sama dengan vektor (ditunjukkan dengan panah) dan panjang yang sebanding dengan besarnya.

Ketika ditulis, simbol yang dicetak tebal seperti V atau dengan panah, karena $\vec{V}$ menunjukkan vektor (yaitu, besaran plus arah), sedangkan V hanya mengacu pada besaran (kadang-kadang, bagaimanapun, besarnya akan ditunjukkan oleh $|V|$). Vektor satuan adalah vektor yang besarnya satu. Sebuah vektor V yang sejajar dengan vektor satuan u dapat dinyatakan dalam bentuk. (Alonso and Finn, 1967)

$$V = uV$$

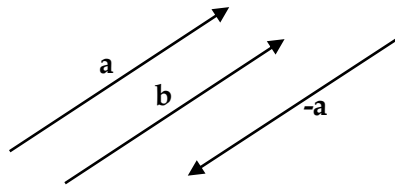
Secara geometris, vektor juga dapat direpresentasikan menjadi sebuah garis yang memiliki panjang sesuai dengan nilai besar dari vektor tersebut dan juga memiliki tanda panah sesuai arah vektor, seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Vektor V dan Vektor r

Dalam notasi vektor terdapat istilah kesamaan dan ketidaksamaan dari 2 buah vektor. Dua buah vektor dinyatakan memiliki kesamaan apabila memiliki besar dan arah yang sama, sehingga dapat dinyatakan sebagai $\mathbf{a}=\mathbf{b}$, ditunjukkan pada Gambar 12. Apabila terdapat vektor dengan besar yang sama nilainya

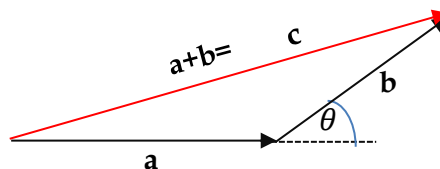
dengan vektor a namun memiliki arah yang berbeda, maka dapat dituliskan sebagai $-a$ ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Vektor $a=b$ dan Vektor $-a$

3.3.2 Penjumlahan dan Pengurangan Vektor

Pada penjumlahan dua buah vektor bersifat komutatif dan asosiatif. Apabila Anda memiliki dua buah vektor maka dapat dijumlahkan kedua vektor tersebut, jumlahan atau resultan vektor a dan b adalah vektor c . Apabila digunakan metode geometris sebagai metode penyelesaian untuk jumlahan vektor a dan b , maka vektor a diletakkan di pangkal awal vektor b kemudian jumlahan dari vektor a dan b dapat ditarik sebuah garis dari awal pangkal vektor a hingga menyentuh akhir panah dari vektor b , resultan vektor a dan b adalah vektor c , (Tipler, A and Mosca, 2008) Anda dapat melihat geometris secara jelas dari **Gambar 13**.

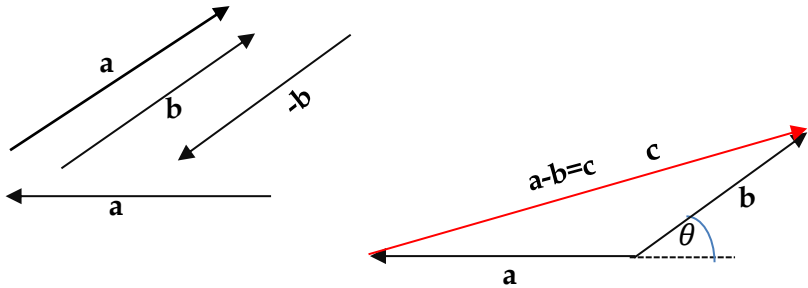


Gambar 13. Penjumlahan dua vektor dengan metode geometris

Maka nilai atau besar dari vektor c dapat dicari dengan rumus:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \cos \theta}$$

Pada pengurangan vektor dilakukan seperti pada vektor penjumlahan biasa, tetapi memiliki arah vektor memiliki arah yang berlawanan untuk vektor pengurangnya. Apabila dapat diambil contoh, vektor a - vektor $b = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$. Dalam hal ini, vektor $-b$ ($-\vec{B}$) merupakan vektor b dengan arah yang berlawanan (Spiegel, Lipschutz and Liu, 2009; Kristanto, 2020), **Gambar 14**.



Gambar 14. Pengurangan Vektor dengan Metode Geometris

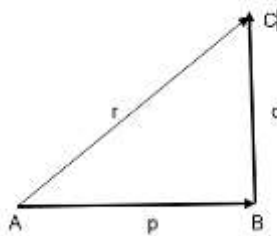
Contoh soal 1:

Jika diketahui p = gaya 40N, bekerja ke arah timur

q = gaya 30N, bekerja ke arah utara

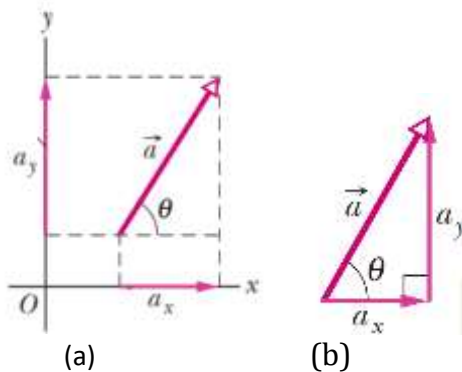
maka untuk menentukan besar dan arah vektor r dari kedua garis vektor ini adalah :

$$\begin{aligned} r^2 &= p^2 + q^2 \\ &= 1600 + 900 \\ &= \sqrt{2500} = 50 \text{ N} \end{aligned}$$



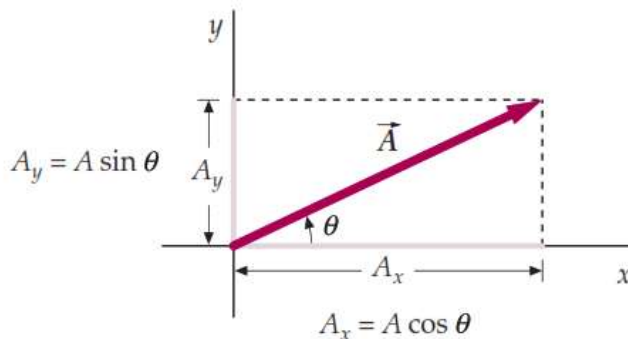
3.3.3 Komponen Vektor

Komponen vektor merupakan proteksi vektor ke sumbu pada arah tertentu. Komponen vektor dapat ditemukan dengan cara menarik garis tegak lurus dari ujung vektor ke sumbu. Dalam penentuan komponen vektor bergantung pada arah tertentu, apabila vektor $\vec{A}$ tersebut diproyeksikan terhadap sumbu x maka dapat dituliskan $\mathbf{a_x}$ ($\mathbf{A_x}$), begitu juga apabila vektor tersebut diproyeksikan ke sumbu y dan z , maka dapat dituliskan $\mathbf{a_y}$ ($\mathbf{A_y}$) dan $\mathbf{a_z}$ ($\mathbf{A_z}$), dapat dilihat pada **Gambar 15**. Dalam proses pencarian setiap komponen vektor terhadap sumbu proyeksi tersebut disebut sebagai *resolving vektor* (penyelesaian vektor) (Tipler, A and Mosca, 2008; David Halliday, Robert Resnick, 2014).



Gambar 15. (a) Komponen vektor $\vec{a}$ pada sumbu x ($\vec{a}_x$) dan sumbu y ($\vec{a}_y$). (b) Komponen vektor membentuk segitiga siku-siku dengan sisi miring adalah besarnya nilai vektor
(**sumber** : David Halliday, Robert Resnick, 2014)

Pada vektor dua dimensi yang terletak pada bidang datar (Cartesian), komponen vektor penyusunnya dapat dicari dengan menggunakan prinsip geometri segitiga siku-siku untuk menemukan komponen dari suatu vektor, **Gambar 16.**



Gambar 16. Komponen persegi panjang dari sebuah vektor. θ adalah sudut antara arah vektor dan arah.

Pada Gambar 16, proyeksi dari vektor A terhadap sumbu x dan y dapat dituliskan menjadi,

$$A_x = A \cos \theta \text{ dan } A_y = A \sin \theta$$

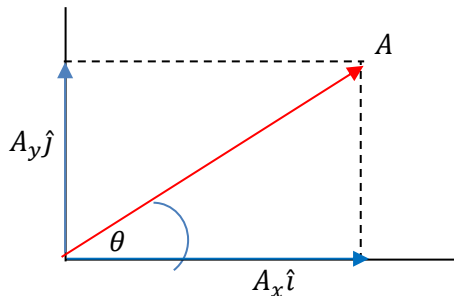
Apabila suatu kondisi diketahui hanyalah nilai dari komponen vektor ataupun nilai vektornya saja, dapat tetap diketahui nilai sudut θ dengan menggunakan hubungan antara nilai komponen vektor dengan nilai vektor tersebut.

$$A = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \text{ dan } \tan \theta = \frac{a_y}{a_x}$$

3.3.4 Unit Vektor

Unit vektor adalah sebuah vektor yang tidak berdimensi dengan besar nilainya tepat sama dengan 1. Unit vektor dalam matematika digunakan untuk membantu menggambarkan arah dalam spasial. Unit vektor sering dituliskan dengan huruf kecil dengan tanda topi (sirkumfleksa) di atas huruf tersebut. Misalkan sebuah vektor $\mathbf{A}$ ($\overrightarrow{A}$) yang berada pada posisi arah sumbu-x positif dan sumbu-y positif, maka dapat dinyatakan $A_x \hat{i}$ dan $A_y \hat{j}$. $A_x \hat{i}$ merupakan vektor A_x dikalikan dengan vektor satuan $\hat{i}$, begitu pula dengan $A_y \hat{j}$ merupakan hasil kali antara vektor A_y dengan vektor satuan $\hat{j}$. Apabila vektor $A_x \hat{i}$ dan $A_y \hat{j}$ digambarkan dalam sumbu koordinat dua dimensi ditunjukkan pada Gambar 17.

Pada vektor juga dapat digambarkan dalam sumbu koordinat tiga dimensi, apabila digambarkan dalam sumbu koordinat tiga dimensi maka vektor satuannya pun akan memiliki tiga arah sumbu-x, sumbu-y, dan sumbu-z. Vektor yang digambarkan dalam sistem sumbu koordinat tiga dimensi, maka dalam penulisan vektor dengan vektor satuannya menjadi $A_x \hat{i}$, $A_y \hat{j}$, dan $A_z \hat{k}$.



Gambar 17. Vektor satuan dalam sumbu koordinat dua dimensi

3.3.5 Penjumlahan Komponen Vektor

Dalam sistem penjumlahan komponen vektor dapat dilakukan seperti penjumlahan sederhana dengan cara menjumlahkan antara vektor satuan yang sama.

Contoh soal 2:

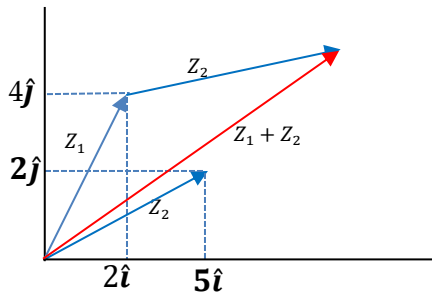
$$Z_1 = 2\hat{i} + 4\hat{j} \text{ dan } Z_2 = 5\hat{i} + 2\hat{j}$$

Gambarkan kedua vektor dalam sumbu koordinat X dan Y

Penyelesaian dari contoh diatas:

$$Z_1 + Z_2 = (2\hat{i} + 4\hat{j}) + (5\hat{i} + 2\hat{j}) = 7\hat{i} + 6\hat{j}$$

Apabila digambarkan dengan cara menggunakan metode geometris akan seperti ditunjukkan pada gambar 18.



Gambar 18. Diagram vektor contoh soal 2

3.3.6 Perkalian Vektor

Dalam perkalian vektor terdapat tiga jenis operasi perkalian vektor yaitu perkalian vektor dengan skalar, perkalian vektor titik (*dot product*), perkalian silang vektor (*cross product*).

1. Perkalian vektor dengan skalar

Pada perkalian vektor dengan skalar merupakan hasil kali antar suatu nilai skalar dengan suatu vektor. Pada perkalian antara vektor dengan nilai skalar berlaku sifat perkalian komutatif. Pada hasil perkalian antara skalar dengan vektor menghasilkan vektor baru yang merupakan hasil kali antar skalar dengan vektor tersebut. Pada perkalian vektor dengan skalar akan berlaku arah yang sama apabila nilai dari skalar berupa nilai positif dan berlawanan arah dengan vektor semula apabila nilai skalar bernilai negatif.

2. Perkalian vektor titik (*dot product*)

Pada perkalian vektor titik merupakan hasil perkalian antara dua vektor. Pada perkalian vektor titik antara vektor $\vec{A} \cdot \vec{B}$ maka diuraikan dengan rumus:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = AB \cos \theta$$

Nilai θ adalah sudut antara vektor $\vec{A}$ dan $\vec{B}$.

Apabila dinyatakan dalam komponen pembentuknya masing-masing maka dapat dituliskan:

$$\vec{A} = A_x \hat{i} + A_y \hat{j} + A_z \hat{k}$$

$$\vec{B} = B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}$$

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = (A_x B_x) + (A_y B_y) + (A_z B_z)$$

Untuk vektor satuan yang tak sejenis akan bernilai 0 dan vektor satuan yang sejenis bernilai 1 sehingga dapat dituliskan

$$\hat{i} \cdot \hat{i} = \hat{j} \cdot \hat{j} = \hat{k} \cdot \hat{k} = 1$$

$$\hat{i} \cdot \hat{j} = \hat{j} \cdot \hat{k} = \hat{k} \cdot \hat{i} = 0$$

Contoh soal 3:

Diketahui dua buah vektor dalam bentuk $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$

$$\vec{p} = 3\hat{i} - 2\hat{j} + \hat{k} \text{ dan } \vec{q} = 4\hat{i} + \hat{j} + 6\hat{k}$$

Maka nilai perkalian dua vektor tersebut adalah ...

Penyelesaian

$$\vec{p} \cdot \vec{q} = 12\hat{i} - 2\hat{j} + 6\hat{k} = 12 - 2 + 6 = 16$$

3. Perkalian vektor silang (*cross product*)

Perkalian silang dua vektor yaitu perkalian antar $\vec{A} \times \vec{B}$.

Besar nilai perkalian dua vektor pada perkalian silang yaitu

$$C = AB \sin \theta$$

Sedang arahnya adalah searah gerak sekrup yang diputar dari A ke B lewat sudut terkecil. Pada perkalian silang, dapat dilihat dengan mudah bahwa nilai dari $\vec{A} \times \vec{B} \neq \vec{B} \times \vec{A}$, sehingga dapat dikatakan bahwa sifatnya **tidak komutatif** dan dapat dinamakan sebagai perkalian vektor. Hal ini dikarenakan hasil dari perkalian

silang adalah vector karena hasilnya vector dalam bentuk komponen – komponen.

$$\vec{A} \times \vec{B} = AB \sin \theta$$

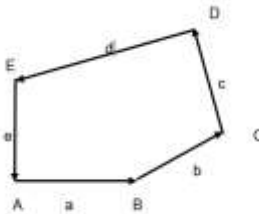
$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

Dengan menggunakan metode determinan diatas maka dapat diperoleh nilai dari

$$\vec{A} \times \vec{B} = (A_y B_z - A_z B_y) \hat{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \hat{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \hat{k}$$

3.4 Soal dan Penyelesaian

1. Apabila diketahui vektor **a, b, c, d, e** seperti pada **Gambar 19**. Berapakah jumlah vektor tersebut?



Gambar 19. Penjumlahan vektor dengan metode poligon

Penyelesaian: dalam gambar 19, jumlah vektor tersebut adalah **0**, hal ini dikarenakan tidak ada resultan yang terjadi. Pada titik akhir vektor e terjadi pada titik E yang artinya kembali lagi ke titik awalnya yaitu titik A.

2. Tentukan sudut antara vektor:

$$\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k} \text{ dan } \vec{B} = -\hat{i} + \hat{j} + 2\hat{k}$$

Penyelesaian:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = 2(-1) + 3(1) + (-1)2 = -1$$

$$A = \sqrt{2^2 + 3^2 + 1^2} = \sqrt{14}$$

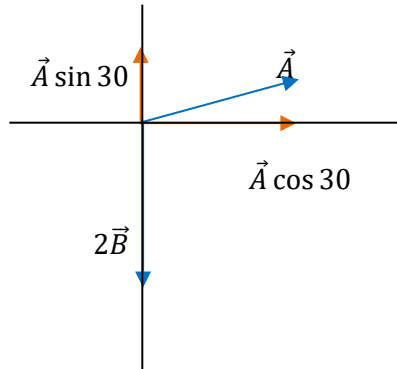
$$B = \sqrt{1^2 + 1^2 + 2^2} = \sqrt{6}$$

$$AB = \sqrt{14 \cdot 6} = \sqrt{84} = 9,17$$

$$\text{Maka, } \cos \theta = \frac{\vec{A} \cdot \vec{B}}{AB} = \frac{-1}{9,17} = -0,109$$

$$\theta = 96,3^\circ$$

3. Tentukan nilai besar dan arah dari vektor $\vec{A} - 2\vec{B}$ seperti pada Gambar 20 berikut. Apabila diketahui nilai $\vec{A} = 30$ dan $\vec{B} = 30$.



Penyelesaian:

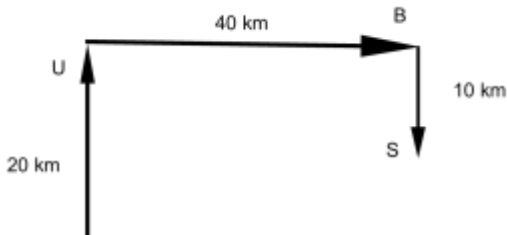
$$R_x = \vec{A} \cos 30 = 30 \cos 30 = 26,1$$

$$R_y = \vec{A} \sin 30 - 2\vec{B} = 30 \sin 30 - 60 = -45$$

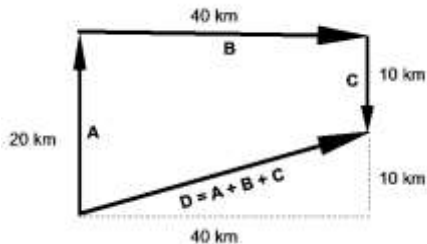
$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{2706,2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x} = \tan^{-1} \frac{-45}{26,1} = -59,8^\circ$$

4. Sebuah mobil bergerak ke utara sejauh 20 km, kemudian bergerak ke barat sejauh 40 km dan bergerak ke selatan sejauh 10 km. Tentukan jarak perpindahan mobil itu!



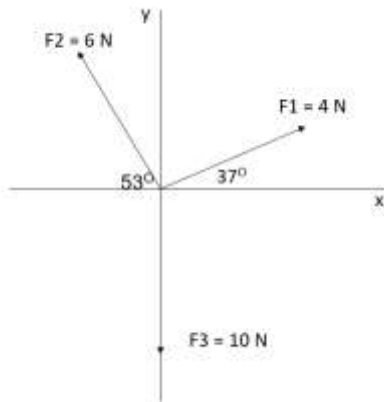
Penyelesaian:



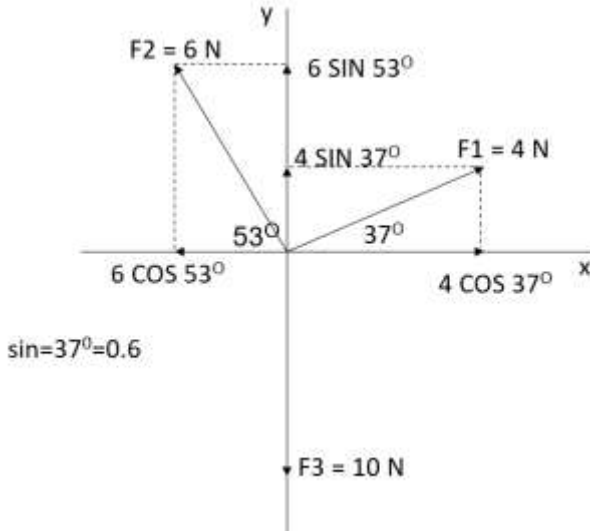
Jika perpindahan pertama dinyatakan vektor A, perpindahan kedua dinyatakan vektor B, dan perpindahan ketiga dinyatakan vektor C, maka perpindahan total dinyatakan vektor D.

Dari gambar di atas dapat diketahui panjang vektor D adalah $\sqrt{40^2 + 10^2} = 10\sqrt{17}$

5. Hitunglah ketiga resultan vektor gaya yang bekerja seperti pada gambar berikut dan juga tentukan arah vektor gaya terhadap sumbu-x



Penyelesaian:



F	ΣF_x	ΣF_y
F1	$4 \cos 37^\circ$ $= 3,2$	$4 \sin 37^\circ$ $= 2,4$
F2	$-6 \cos 53^\circ$ $= -3,6$	$6 \sin 53^\circ$ $= 4,8$
F3	0	-10
	$\Sigma F_x = -0,4$	$\Sigma F_y = -2,8$

$$R = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2} = \sqrt{0,4^2 + 2,8^2}$$

$$R = 2,83 \text{ N}$$

$$\tan \theta = \frac{\sum F_x}{\sum F_y} = \frac{2,8}{0,4} = 7$$

$$\theta = 81,86^\circ$$

6. Hitung perkalian vektor dari

$$\vec{A} = 2\hat{i} + 3\hat{j} - \hat{k} \text{ dan } \vec{B} = -\hat{i} + \hat{j} + 2\hat{k}$$

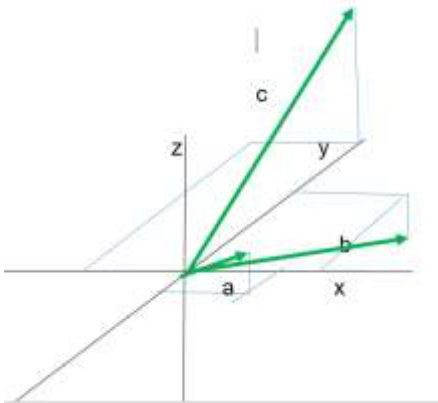
Penyelesaian:

$$\vec{A} \times \vec{B} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 2 & 3 & -1 \\ -1 & 1 & 3 \end{vmatrix} = 7\hat{i} - 3\hat{j} + 5\hat{k}$$

7. Carilah vector satuan yang tegak lurus terhadap kedua vector $2\hat{i} - \hat{j} + \hat{k}$ dan $3\hat{i} + 4\hat{j} - \hat{k}$ dengan $\hat{i}, \hat{j}, \hat{k}$ merupakan vector satuan yang ketiganya saling tegak lurus hitunglah sinus sudut kedua vector tersebut. Vektor satuan yang ketiganya saling tegak lurus dan cari sudut antara 2 vektor.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \vec{A} \times \vec{B} &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 2 & -1 & 1 \\ 3 & 4 & -1 \end{vmatrix} \\ \vec{A} \times \vec{B} &= (\hat{i} + 3\hat{j} + 8\hat{k}) - (4\hat{i} - 2\hat{j} - 3\hat{k}) \\ &= -3\hat{i} + 5\hat{j} + 10\hat{k} \end{aligned}$$



Gambar 20. menggambar vektor pada tiga dimensi

3.5 Latihan Soal

1. Sebuah kapal berangkat untuk berlayar ke suatu titik 120 km ke utara. Badai tak terduga menghempaskan kapal ke suatu titik 100 km sebelah timur dari awalnya titik.
(a) Berapa jauh dan (b) dalam ke arah mana sekarang harus berlayar mencapai tujuan awalnya?
2. Suatu gaya yang bekerja diketahui sebesar $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$. Apabila diketahui nilai $q=2$, dan nilai $\vec{v} = 2\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k}$ dan $\vec{F} = 4\hat{i} - 20\hat{j} + 12\hat{k}$. Berapakah nilai dari $\vec{B}$ dalam notasi unit vektor apabila nilai dari $B_x = B_y$?
3. Sebuah vektor yang diketahui bernilai $\vec{S} = 2\hat{i} - \hat{j} + \hat{k}$ dan $\vec{P} = 3\hat{i} + 4\hat{j} - \hat{k}$. Hitunglah nilai dari
 - a. $\vec{S} \times \vec{P}$
 - b. $(\vec{S} \times \vec{P}) \cdot \vec{S}$
 - c. $(\vec{S} + \vec{P}) \cdot \vec{S}$
 - d. $(\vec{S} - \vec{P})$

DAFTAR PUSTAKA

- Alonso, M. and Finn, E.J. (1967) *Fundamental university physics*. Addison-Wesley Reading, MA.
- David Halliday, Robert Resnick, and J.Walker. (2014) *Fundamentals of Physics*, Wiley.
- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2013) *Fundamentals of physics*. John Wiley & Sons.
- Kristanto, P. (2020) *Fisika Dasar-Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Penerbit Andi.
- Spiegel, M.R., Lipschutz, S. and Liu, J. (2009) *Schaum's Outlines: Mathematical Handbook of Formulas and Tables*. McGraw-Hill.
- Stroud, K.A. and Booth, D.J. (2020) *Engineering mathematics*. Bloomsbury Publishing.
- Tipler, A. P. and Mosca, G. (2008) *Physics For Scientists and Engineers*. 6th editio, Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents. 6th editio.

BAB 4

OPERASI YANG BERLAKU PADA VEKTOR DAN SKALAR

Oleh Enggar Alfianto, S.Si., M.Si.

4.1 Pendahuluan

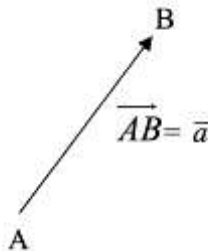
Vektor merupakan suatu kuantitas atau besaran yang memiliki besar dan arah. Besar suatu vektor ditentukan oleh panjang atau pendeknya potongan garis, sedangkan arah vektor ditunjukkan dengan tanda anak panah. Operasi vektor dan skalar dalam teknik industri merupakan materi Fisika dasar yang harus dikuasai, dengan capaian kompetensi meliputi kemampuan menggambar vektor dengan sistem satuan, menghitung perkalian, penambahan vektor dengan aturan segitiga, aturan jajar genjang, dan aturan poligon serta pengurangan vektor. Selain itu juga menguasai kemampuan perhitungan panjang vektor dalam ruang tiga dimensi. Hal ini bertujuan untuk memudahkan analisis sistem mekanik yang terdapat di industri dan instrumen pendukungnya. (Perencanaan)

Kaidah Fisika Dasar yang erat kaitannya dengan analisis gerak adalah Operasi Vektor dan Skalar. Besaran gerak didefinisikan sebagai suatu besaran fisis yang mendeskripsikan gerak benda. Besaran fisis tersebut mencakup posisi, perpindahan, jarak tempuh, kecepatan, laju, momentum sudut, torka, dan lain sebagainya. Besaran gerak tersebut ada yang berupa besaran Vektor dan besaran skalar. Analisis besaran gerak dapat menggunakan dua metode yaitu metode Vektor dan Skalar, dimana penggunaan metode Vektor dapat menyederhanakan analisis perhitungan jika dibandingkan dengan menggunakan metode skalar. (Abdullah, 2016)

4.2 Operasi Skalar dan Vektor

Besaran Fisika terbagi menjadi dua komponen dasar utama yaitu Konseptual dan Matematis, dimana Konseptual merupakan suatu kerangka untuk mendefinisikan variabel fisis dalam suatu system. Kerangka tersebut terdiri dari Besaran pokok yang merupakan suatu besaran yang ditetapkan dengan standar ukuran dan Besaran turunan yang dirumuskan dari besaran-besaran pokok. (Hadiwidjojo, 1989)

Berikutnya adalah besaran Fisika Matematis yang terbagi dalam Skalar dan Vektor. Skalar adalah suatu kuantitas yang memiliki besaran tapi tidak memiliki arah. Skalar merupakan suatu bilangan yang riil dan dapat ditulis dengan huruf kecil sebagai symbol. Operasi skalar mengikuti aturan operasi aljabar elementer. Diantaranya adalah massa, waktu, suhu, dan panjang. Skalar tidak tergantung system koordinat. Sedangkan vektor merupakan suatu kuantitas yang memiliki besaran dan arah seperti kecepatan, percepatan, gaya, momentum, medan listrik. Berbeda dengan skalar, vektor tergantung pada system koordinat. (Maharani, 2012)



Gambar 21. Vektor (Perencanaan)

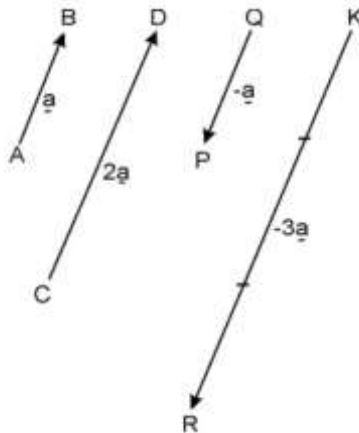
Dalam gambar 21 titik **A** disebut sebagai titik awal atau initial point, dan titik **B** disebut sebagai titik terminal atau terminal point. Vektor dapat dituliskan dengan $\overrightarrow{AB}$, $\vec{a}$, $\vec{a}$, atau α . Sedangkan panjang vektor dapat ditulis dengan $|\overrightarrow{AB}|$, $|\vec{a}|$, atau $|\alpha|$. Sebagai contoh, suatu partikel bergerak dari titik **A** ke titik **B**, maka dapat dikatakan bahwa partikel itu mengalami perpindahan.



Gambar 22. Perpindahan partikel A ke B (Effendi)

4.2.1 Aljabar Vektor

1. PERKALIAN VEKTOR



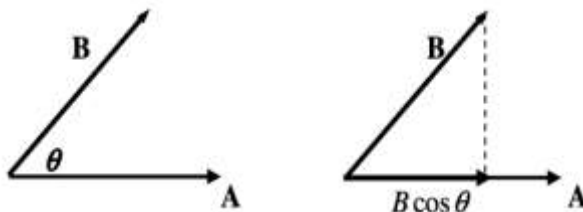
Gambar 23. Vektor sejajar (Sukirman, 2022)

Terdapat 4 vektor sejajar ditunjukkan oleh gambar 23, yaitu $\mathbf{AB} = \mathbf{a}$, $\mathbf{CD} = 2\mathbf{a}$, $\mathbf{QP} = -\mathbf{a}$, dan $\mathbf{KR} = -3\mathbf{a}$. Sehingga dapat diketahui $\mathbf{CD} = 2 \mathbf{AB}$ dan $\mathbf{KR} = 3\mathbf{QP}$ atau $\mathbf{KR} = -3\mathbf{AB}$.

Dari $\mathbf{CD} = 2\mathbf{AB}$ dapat diketahui bahwa $|\mathbf{CD}| = 2 |\mathbf{AB}|$ dan $\mathbf{CD} // \mathbf{AB}$. Demikian juga dari $\mathbf{KR} = -3\mathbf{AB}$ maka $|\mathbf{KR}| = |-3 \mathbf{AB}| = 3 |\mathbf{AB}|$ dan $\mathbf{KR} // \mathbf{AB}$. Apabila dua vektor memiliki arah yang sama maka dua vektor tersebut adalah sejajar. Namun, jika dua vektor sejajar maka tidak dapat disimpulkan bahwa kedua vektor tersebut memiliki arah yang sama. Jika sebuah vektor dikalikan dengan suatu skalar maka akan diperoleh sebuah vektor baru, jika $\mathbf{A}$ dan $\mathbf{B}$ adalah vektor dan k adalah sebuah skalar maka $\mathbf{B} = k \mathbf{A}$. Besar

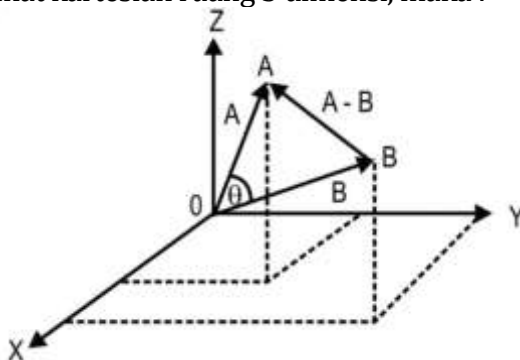
vektor **B** adalah k kali besar vektor **A**. Jika vektor **B** memiliki arah yang sama dengan vektor **A** jika k positif dan berlawanan arah jika k negatif.

Perkalian vektor dengan vektor diklasifikasikan menjadi dua yaitu perkalian titik (*dot product*) dan perkalian vektor (*cross product*). Perkalian dot product atau titik disebut juga dengan perkalian skalar sebagai hasil dari operasi perkalian. Hasil skalar ini tetap berlaku meskipun komponen pengali merupakan vektor. Perkalian skalar antara dua vektor dinyatakan sebagai $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$. definisi perkalian skalar dapat dijabarkan dalam geometri dengan menggambarkan kedua vektor dengan ekor terletak pada titik yang sama. (Nurohman, 2022)



Gambar 24. Perkalian scalar dua vektor (Nurohman, 2022)

Bila **C** merupakan hasil perkalian (resultan) skalar antara vektor **A** dan **B**, maka $\mathbf{C} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = AB \cos \theta$. Jika dinyatakan dalam suatu koordinat kartesian ruang 3 dimensi, maka :



Gambar 25. Perkalian vektor dalam koordinat kartesian (Arkudanto, 2021)

Dalam gambar tersebut, vektor **A** ditunjukkan oleh anak panah $0A$ dan vektor **B** adalah anak panah $0B$ dengan sudut antara

dua vektor θ dengan $0 \leq \theta \leq \pi$. Vektor $(\mathbf{A} - \mathbf{B})$ merupakan selisih dua vektor. Dengan menerapkan hukum kosinus dalam trigonometri, maka :

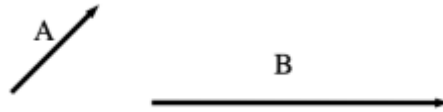
$$|\mathbf{BA}|^2 = |\mathbf{OA}|^2 + |\mathbf{OB}|^2 - 2|\mathbf{OA}||\mathbf{OB}| \cos \theta$$

Atau

$$|\vec{A} - \vec{B}|^2 = |\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 - 2|\vec{A}||\vec{B}| \cos \theta$$

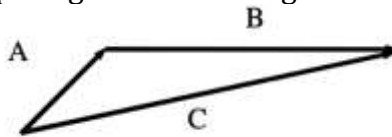
2. PENJUMLAHAN VEKTOR

Operasi vektor yang sering digunakan adalah penjumlahan vektor. Penjumlahan vektor merupakan operasi aljabar matematis dengan menggabungkan dua vektor yang memiliki besar dan arah yang berbeda.



Gambar 26. Vektor A (kiri), dan vektor B (kanan)
(Nurohman, 2022)

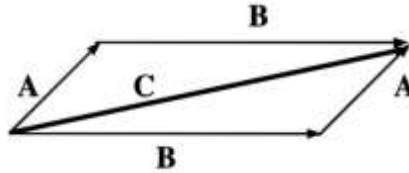
Dalam penjumlahan dua vektor $(\mathbf{A} + \mathbf{B})$, dihasilkan vektor baru yakni Vektor $(\mathbf{C})$ yang merupakan resultan vektor $\mathbf{A}$ dan $\mathbf{B}$. Tanda positif (+) pada vektor memiliki arti "*dilanjutkan*". Sehingga $\mathbf{A} + \mathbf{B}$ didefinisikan sebagai vektor $\mathbf{A}$ dilanjutkan oleh vektor $\mathbf{B}$, secara geometri dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 27. Penjumlahan dua vektor $\mathbf{A}$ dan $\mathbf{B}$
(Nurohman, 2022)

Penjumlahan vektor dapat diselesaikan dengan dua metode yakni komutatif dan asosiatif. Jika sebuah partikel mengalami perpindahan sejauh $\mathbf{A}$, dilanjutkan dengan perpindahan sejauh $\mathbf{B}$, maka hasil akhir dari kedua perpindahan tersebut adalah $\mathbf{C}$. Jika partikel tersebut terlebih dahulu mengalami perpindahan $\mathbf{B}$,

dilanjutkan dengan perpindahan **A**, maka hasil akhir dari perpindahan tersebut adalah **C**. Hal ini menunjukkan bahwa dalam hukum komutatif, urutan suku dalam operasi penjumlahan vektor tidaklah berpengaruh pada hasil akhir atau resultan.



Gambar 28. Penjumlahan dua vektor **A** dan **B** dengan hukum Komutatif (Sukirman, 2022)

Penjumlahan vektor dengan metode komutatif lebih dikenal dengan penjumlahan dengan aturan jajar genjang. Metode kedua dalam operasi penjumlahan vektor adalah menggunakan hukum Asosiatif. (Sukirman, 2022)

Hukum asosiatif dinyatakan dalam :

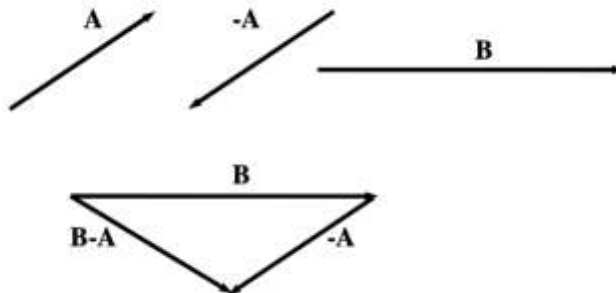
$$(\mathbf{A} + \mathbf{B}) + \mathbf{C} = \mathbf{A} + (\mathbf{B} + \mathbf{C}) = \mathbf{R}$$

Vektor **A** dan **B** dapat dijabarkan dalam komponen vektor secara analitik untuk menerapkan operasi penjumlahan dan pengurangan komponen yang searah.

3. SELISIH DUA VEKTOR

Operasi pengurangan vektor merupakan penjabaran dari operasi penjumlahan vektor dengan vektor negatif

$$\mathbf{B} - \mathbf{A} = \mathbf{B} + (-\mathbf{A})$$

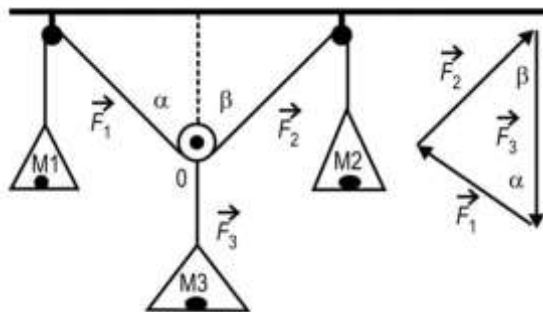


Gambar 29. Selisih dua vektor **A** dan **B** (Sukirman, 2022)

4.3 Penerapan Operasi Vektor

Operasi vektor merupakan aljabar matematis dasar yang umum diterapkan di dunia industri. Kita ambil contoh perumusan gaya pada suatu sistem mekanika yang melibatkan katrol, perlu diingat kembali konsep vektor yang merupakan variabel fisis yang memiliki besar atau magnitudo dan arah dalam suatu ruang yang dapat dikombinasikan dengan vektor lain menurut aturan penjumlahan segitiga maupun jajaran genjang. (Kreyszig, 1979)

Definisi tersebut digunakan sebagai acuan untuk menentukan suatu besaran/variabel fisis merupakan vektor atau skalar. Jika kita tinjau sistem gaya yang bekerja dalam kesetimbangan katrol, maka gaya tersebut memiliki nilai / besaran yang dapat diukur dengan instrumen (dalam satuan Newton, N) dan arahnya dapat ditentukan berdasarkan kerangka acuan.



Gambar 30. Vektor gaya dalam sistem katrol (Arkudanto, 2021)

Gambar diatas merupakan sistem katrol yang terdiri dari tiga gaya. Menurut konsep dasar vektor dalam aljabar vektor segitiga, jika dua gaya dikenakan pada sebuah titik secara simultan, maka harus ada gaya tunggal yang ekuivalen dengan resultan kedua gaya tersebut. Diagram vektor tersebut dapat ditinjau dengan menggunakan koordinat kartesian untuk memudahkan analisis.

Dalam gambar, titik O merupakan titik pertemuan antara ketiga gaya yang bekerja dalam sistem katrol ($\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$) dengan $\vec{F}_3$ merupakan sistem katrol bebas yang bisa diatur dan disesuaikan sehingga terjadi kesetimbangan pada sistem. Besar dan arah vektor $\vec{F}_1$ dan $\vec{F}_2$ dapat diatur dengan mengubah gaya berat M_1 dan M_2 sekaligus dapat digunakan untuk menentukan sudut α dan β . Besar

$\vec{F}_3$ memiliki arah ke bawah, searah dengan gravitasi dan dapat diatur dengan mengubah berat M_3 hingga mencapai kesetimbangan. (Arkudanto, 2021)

Ketiga vektor yang berada dalam kesetimbangan dan saling menyeimbangkan dalam suatu sistem memenuhi persamaan $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = 0$. Sifat vektor suatu gaya dalam sistem katrol dibuktikan dengan menyusun semua gaya hingga tercapai titik kesetimbangan, sehingga ketiga vektor dapat direpresentasikan dengan vektor segitiga. Sehingga dalam analisis sistem dengan melibatkan vektor, diperlukan suatu kondisi kesetimbangan untuk menentukan resultan gaya dari sistem tersebut. (Spiegel, 1974)

DAFTAR PUSTAKA

Bibliography

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar I*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Perencanaan, J. P. (n.d.). *Vektor*. Retrieved Mei 2022, from uny.ac.id: <http://staffnew.uny.ac.id/upload/131808335/pendidikan/VEKTOR.pdf>
- Maharani, D. M. 2012, September 17. Retrieved Juni 2022, from <http://dewimayamaharani.lecture.ub.ac.id/files/2012/09/2.-BESARAN-SKALAR-VEKTOR.pdf>
- Effendi, A. (n.d.). Analisis Vektor. In *Fisika 1*.
- Nurohman, S. (2022). Operasi Vektor. In *Modul Kuliah Fisika Dasar I*. Yogyakarta.
- Sukirman. 2022. Vektor dan Operasi Dasarnya. In *Analisis Vektor*.
- Arkudanto, A. 2021. Vektor dan Penggunaan Vektor. In *Materi Kurikuler Fisika*.
- Kreyszig, E. 1979. *Advanced Mathematics Fourth Edition*. New York: Addison-Wiley & Sons .
- Spiegel, M. 1974. *Theory and Problems of Vector Analysis and an Introduction to Tensor Analysis. S1 (Metric) Edition*. New York: Mc Graw-Hill International Book Company.
- Hadiwidjojo, M. 1989. *Vektor dan Transformasi Geometri*. Yogyakarta: FPMIPA IKIP.

BAB 5

TEORI KETIDAKPASTIAN, NILAI PENDEKATAN, & KAIDAH ANGKA PENTING

Oleh Muhammad Roy Asrori

5.1 Pendahuluan

Ilmu sains sangat erat dengan kegiatan pengukuran, bahkan aplikasi pengukuran dapat dilihat di kehidupan sehari-hari. Sains menuntut kebenaran hakiki dari suatu fenomena alam yang dipelajari. Pasti, kebenaran tersebut diperoleh dengan menyakini hasil pengukuran yang benar. Tetapi, fakta nyata dalam pengukuran memberikan pelajaran bahwa kebenaran pengukuran tidak terpisahkan dengan bagian kesalahan pengukuran. Bagian tersebut relatif kecil, sehingga dikenal dengan istilah “ketidakpastian”. Ketidakpastian tidak mungkin dihindari, karena hal tersebut diluar kemampuan manusia. Fakta ini memberi arti bahwa tidak ada hasil pengukuran yang mencapai 100%, yang pasti memiliki sifat keterbatasan. Inilah alasan pengukur, mengapa pengukuran selalu ada ketidakpastian.

Ketidakpastian (*uncertainty*) menjadi perhatian penting dari hasil analisis kuantitatif. Jika pengukur tidak menguasai ilmu ketidakpastian, maka kesimpulan suatu hasil analisis data belum dapat dikatakan sempurna. Arti ketidakpastian adalah “ragu-ragu”, “kekurangpercayaan” dan “derajat ketidakyakinan”. Arti tersebut sebagai cara agar saintis/analisis tidak salah dalam melakukan pengukuran. Jadi, ketidakpastian ini digunakan untuk mencegah bias analisis data dalam sains.

Pengukuran selalu memiliki ketidakpastian. Jika kamu mengukur ketebalan suatu sampul buku menggunakan penggaris, dan pengukuranmu hanya layak untuk milimeter terdekat, misalnya hasil pengukuran sebesar 1 mm. Hal tersebut akan menjadi salah untuk menyatakan hasil tersebut sebesar 1,00 mm.

Berikan batasan dari alat pengukuran. Kamu tidak bisa mengatakan apakah ketebalan sebenarnya adalah 1,00 mm, 0,85 mm, atau 1,11 mm. Namun, jika kamu menggunakan micrometer sekrup, alat yang mengukur jarak pada 0,01 mm terdekat, hasil pengukuran akan menjadi 0,91 mm. Jadi, perbedaan di antara dua pengukuran adalah dalam ketidakpastiannya. Pengukuran yang menggunakan micrometer sekrup, menunjukkan tingkat ketidakpastian yang lebih kecil, makanya pengukuran tersebut dapat lebih akurat.

Dalam beberapa kasus, ketidakpastian dari suatu bilangan tidak dinyatakan secara eksplisit. Bahkan, ketidakpastian diindikasikan dengan bilangan dari digit yang bermakna (*significant figure*) dalam nilai yang terukur. Kita memberikan ketebalan sampul buku sebesar 0,91 mm, yang mana memiliki 2 angka penting. Dengan ini, kita mengartikan bahwa satu digit pertama setelah koma diketahui benar, sedangkan digit kedua adalah ketidakpastian. Digit terakhir adalah tempat bilangan ratusan, maka ketidakpastian adalah sebesar 0,01 mm.

Ketika kamu menggunakan bilangan yang memiliki ketidakpastian untuk menghitung bilangan lainnya, bilangan terhitung tersebut juga ketidakpastian. Ketika bilangan dikalikan atau dibagi, bilangan dari angka penting dalam hasil bisa lebih besar dari faktor angka penting. Contohnya, $3,1316 \times 2,34 \times 0,58 = 4,3$. ketika kita menambahkan dan mengurangi bilangan, lokasi dari koma yang bermasalah, bukan bilangan angka penting. Contohnya, $123,62 + 8,9 = 132,5$. Meskipun 123,62 memiliki ketidakpastian sebesar 0,01, 8,9 juga memiliki ketidakpastian sebesar 0,1. Jadi, penjumlahannya memiliki ketidakpastian sebesar 0,1 dan harus ditulis 132,5, bukan 132,52.

Berdasarkan ulasan di atas, materi dalam bab ini cukup memiliki dampak yang signifikan di segala kegiatan analisis pengukuran. Materi dimulai dari teori ketidakpastian, aproksimasi, dan kaidah angka penting. Materi akan dibahas dengan cara sederhana dengan harapan pembaca dapat memahami inti materi dengan mudah dan cepat.

5.2 Teori Ketidakpastian

Ketidakpastian merupakan penyimpangan nilai ukur dari nilai benar. Ketidakpastian (*uncertainty*) dapat dikenal juga dengan kata “ralat (*error*)”, yakni suatu perbedaan nilai antara yang terukur dengan yang sesungguhnya (nilai yang benar), atau simpangan/selisih nilai antara yang terukur dengan nilai rata-rata kuantitas pengukuran.

Pengukuran biasanya juga menghasilkan hasil ukuran yang tidak sebenarnya. Kita harus mencermati bahwa makna ralat (*error*) bukanlah berarti salah ukur, tapi hal tersebut lebih merepresentasikan deviasi hasil ukur terhadap nilai benar yang diukur. Deviasi berarti seberapa dekat nilai terukur dengan nilai rata-rata kuantitas hasil ukur. Walaudemikian, ada buku yang menyebutkan ralat dengan kata “kesalahan” karena relevan dengan kata “*error*”. Karena pengukur tidak mengetahui nilai yang sebenarnya, maka hasil ukur harus dinyatakan dalam interval/rentang. Dengan ini, misalnya dalam mengukur tegangan, hasilnya dinyatakan dengan $1,6 \leq V \leq 1,8$ Volt atau $V = (1,7 \pm 0,1)$ Volt. Sebuah rentang nilai pengukuran ditulis sekaligus dengan ketidakpastian (*uncertainty*) hasil ukur, sehingga “ralat” seringkali tidak berbeda dengan “ketidakpastian”.

Ralat (*error*) akan menyebabkan bias. Ralat juga dipicu adanya sumber-sumber ralat, yaitu: kondisi pengukur (pengamat), alat ukur, obyek yang ukur, faktor lingkungan, dan model teoritis (konsep). Jadi, ralat dapat berasal dari tiga hal berikut.

- a. Ralat alat, adalah ralat yang terjadi karena batasan terbesar/terkecil dari hasil nilai rentang pengukuran dari suatu alat.
- b. Ralat ukur, adalah ralat yang terjadi sebagai akibat pengukuran secara langsung, karena perlakuannya berulang pada benda yang sama dan menggunakan alat yang sama juga.
- c. Ralat hasil ukur, adalah ralat pada hasil suatu pengukuran.

Dampak daripada ralat adalah muncul kesalahan pengukuran. Kesalahan pengukuran dapat dikategorikan menjadi tiga (3) sebagai berikut.

- a. Kesalahan keteledoran/umum (*grass error*)
Kesalahan ini dapat berasal dari pengukur (*manusia*), penggunaan instrument yang tidak sesuai, dan pengaturan instrument yang tidak tepat. Contoh-contoh yang termasuk kesalahan umum, yaitu:
- 1) kekeliruan penaksiran atau pencatatan suatu skala nilai,
 - 2) keterampilan penggunaan alat yang kurang,
 - 3) kesalahan dalam membaca skala nilai,
 - 4) penguasaan alat yang tidak tepat/tidak sesuai,
 - 5) mata kurang fokus saat membaca skala yang halus, dan
 - 6) metode yang salah.
- b. Kesalahan rambang/acak (*random error*)
kesalahan ini memang tidak sengaja, tidak terkendali secara tuntas dalam pengukuran. Kesalahan ini banyak disebabkan kondisi lingkungan yang tidak menentu. Kesalahan acak berasal dari hal berikut:
- 1) naik-turunnya (fluktuasi) tegangan listrik, seperti tegangan dari PLN dan aki,
 - 2) bising elektronik (*noise*),
 - 3) gerakan Brown dari molekul-molekul di udara (O_2 , CH_4 , SO_2 , dan lain-lain), gerak ini sifatnya acak, sebab gerakan tidak menentu dan tidak teratur yang dapat mengganggu kegiatan pengukuran,
 - 4) radiasi *background*, seperti radiasi gelombang elektromagnetik dari Hape, radio, antenna dan sejenisnya, dan
 - 5) getaran landasan, seperti alat seismograf (alat ukur gempa) yang mudah terganggu oleh getaran bumi.
- c. Kesalahan dari alat ukur (*systematic error*)
Kesalahan ini disebabkan oleh alat ukur sendiri yang dapat mengakibatkan hasil ukur berbeda dari hasil benar. Beberapa kesalahan sistematis ini, antara lain:
- 1) kesalahan kalibrasi alat, kesalahan ini karena produk alat mengalami cacat pada nilai skala alat, sehingga pengukuran selalu menghasilkan nilai yang tidak sesuai,
 - 2) obyek ukurnya tidak teratur,

- 3) kesalahan pada titik nol, yakni kesalahan karena tanda titik nol skala tidak lurus dengan tanda titik nol penunjuk, atau tanda penunjuk pada alat ukur tidak kembali tepat pada tanda titik angka nol,
- 4) salah tafsiran nilai skala terkecil (*least count*),
- 5) Waktu respon ukur yang tidak tepat, yaitu waktu pengukuran tidak bersamaan dengan data yang seharusnya diukur. Seperti pengukur mengamati periode getar suatu beban dengan stopwatch. Selang waktu ukur seringkali tidak tepat karena cepat atau lambatnya tombol *stopwatch* untuk ditekan.
- 6) kesalahan pengamatan & pengukuran karena perbedaan kondisi kalibrasi dan kondisi saat mengamati % mengukur. Ini sering disebut kesalahan karena lingkungan (*environmental errors*). Seperti efek kelembaban udara, tekanan udara, perubahan suhu, dan ruang yang berbeda,
- 7) Gesekan pada bagian alat ukur yang bergerak,
- 8) kesalahan arah pandang (*paralaks*), kesalahan saat membaca nilai skala, pengukur berpindah tempat/tidak tepat melihat nilai skala/obyek ukur berbeda dengan obyek awalnya, dan
- 9) Kelelahan suatu alat, terjadi saat alat digunakan terus menerus, dan suatu ketika alat tersebut tidak berfungsi kembali dengan baik, seperti pegas yang mengendur,

5.2.1 Akurasi dan Presisi

Kita sering mengindikasikan akurat dari nilai terukur, yaitu, seberapa dekat suatu nilai kepada nilai sebenarnya. Dengan penulisan bilangan, simbol $\pm$, dan bilangan sekunder mengindikasikan bahwa ketidakpastian pengukuran.

Jika diameter suatu batang baja adalah $65,23 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$, artinya bahwa nilai sebenarnya menjadi kurang dari 56.45 mm atau lebih besar dari $65,23 \text{ mm}$. Dalam notasi ringkas biasanya, bilangan $6,6114(31)$ artinya $6,6114 \pm 0,0031$. Bilangan dalam kurung tersebut ketidakpastian dalam digit final dari bilangan utama.

Kita bisa mengekspresikan akurasi dalam istilah maksimum seperti *error* fraksional atau persen *error* (juga disebut ketidakpastian fraksional atau persen ketidakpastian). Sebuah resistor berlabel "47 ohm $\pm 10\%$ " mungkin memiliki resistansi sebenarnya yang berbeda dari 47 ohm dengan tidak lebih 10% dari 47 ohm, yaitu 5 ohm. Resistansi tersebut mungkin di antara 42 dan 52 ohm. Untuk diameter batang baja, *error* fraksionasi adalah 0,02 mm/65,47 mm, atau sebesar 0,0004; persen *error* adalah (0,0004)(100%), atau sebesar 0,04%. Kadangkala persen *error* yang kecil dapat menjadi sangat penting (*significant*).

Alat ukur dapat dikatakan "telah tepat" jika menunjukkan suatu "akurasi" (*accuracy*) yang baik. Artinya, hasil ukur telah menunjukkan suatu ketidakpastian sekecil mungkin. Jadi, akurasi dapat dimengerti bahwa seberapa dekat hasil ukuran dengan nilai yang sebenarnya.

Alat ukur dapat dikatakan "presisi (*precission*)" jika pengukuran diulang, maka alat ukur tersebut akan menunjukkan hasil ukur yang sama seperti sebelumnya. Contoh pengukuran tegangan dengan voltmeter menghasilkan 4,75 Volt, jika pengukuran diulang berkali-kali, maka hasilnya tetap 4,75 Volt. Jadi, presisi suatu alat ukur bergantung pada resolusi dan stabilitas suatu alat ukur.

5.2.2 Ketidakpastian Mutlak dan Relatif

Ketidakpastian mutlak merupakan ketidakpastian terbesar yang dapat timbul dari suatu pengukuran. Pernyataan hasil suatu pengukuran dapat dituliskan seperti berikut.

pengukuran tunggal:

$$A = (a \pm \Delta a) [A]$$

Lalu, pengukuran berganda:

$$A = (\bar{a} \pm \Delta a) [A]$$

Informasi:

X = simbol dari besaran yang diukur

$a \pm \Delta a$ = hasil dari pengukuran tunggal dan ketidakpastian mutlak

$\bar{a} \pm \Delta a$ = hasil dari pengukuran nilai rata (pengukuran berganda) dan ketidakpastian mutlak

[A] = satuan besaran A (satuan SI)

Pengukuran tunggal (satu kali pengukuran) berlaku ketidakpastian mutlak:

$\Delta a = \frac{1}{2} \cdot \text{nilai skala terkecil dari alat}$

Pengukuran berulang (seperti tiga kali pengukuran), berlaku nilai rata-rata dari hasil pengukuran, misal a_1 , a_2 , dan a_3 . Hitungan ditentukan seperti berikut:

$$\delta a_1 = |a_1 - \bar{a}|; \delta a_2 = |a_2 - \bar{a}|; \delta a_3 = |a_3 - \bar{a}|$$

dengan $\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$, jadi Δa yang digunakan adalah:

$$\Delta a = \delta_{\text{maks}}$$

$\Delta a = \delta_{\text{maks}}$ ini berlaku untuk 3 kali pengukuran, dan diambil sebagai deviasi maksimum (δ_{maks}). Deviasi yaitu selisih tiap hasil pengukuran dengan nilai rata-ratanya. Kemudian, pengukuran yang sebanyak 10 kali/lebih, dihitung dengan rumus standar deviasi (simpangan baku S_a) yaitu:

$$S_a = \frac{1}{N} \sqrt{\frac{N \sum a_i^2 - (\sum a_i)^2}{N - 1}}$$

Ketidakpastian relatif (KR) merupakan suatu ketidakpastian mutlak yang dibagi dengan hasil pengukuran dalam persen. Ketidakpastian relatif dinyatakan dengan rumus berikut.

Pengukuran tunggal:

$$KR = \frac{\Delta a}{a} \times 100\%$$

Pengukuran berganda:

$$KR = \frac{\Delta a}{\bar{a}} \times 100\%$$

Δa disebut sebagai ketidakpastian mutlak dari suatu nilai hasil ukur. Nilai tersebut dapat merepresentasikan kualitas suatu alat ukur tergolong baik atau tidak. Maknanya, semakin kecil ketidakpastian mutlak suatu pengukuran, maka semakin baik kualitas suatu alat ukur. Ketidakpastian mutlak berhubungan dengan “presisi” (ketepatan) suatu pengukuran, yakni semakin kecil suatu ketidakpastian mutlak, maka semakin tepat suatu pengukuran. Ketidakpastian relatif juga berhubungan dengan akurasi (ketelitian) suatu pengukuran, yakni semakin kecil suatu

ketidakpastian *relative*, maka semakin tinggi hasil ketelitian suatu pengukuran.

Efek dari ketidakpastian mutlak dan relatif, kita perlu adanya tingkat kepercayaan dan toleransi kesalahan agar pengukuran dapat memberikan hikmah atau makna yang menyenangkan. Level kepercayaan pengukuran merupakan selisih nilai harga seratus persen (100%) atau harga ideal dengan suatu hasil ketidakpastian relatif dalam persen. Maknanya, semakin tinggi suatu level kepercayaan, maka semakin dekat suatu hasil benar pengukuran. Level kepercayaan suatu pengukuran dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Level kepercayaan} = 100\% - \text{KR} (\%)$$

Toleransi kesalahan pengukuran untuk memberikan nilai batas yang dapat diterima sebagai data informasi. Toleransi kesalahan pengukuran dinyatakan sebagai berikut.

$$\text{Toleransi} = (\text{batas atas}) - (\text{batas bawah})$$

$$\text{Toleransi} = (\text{hasil ukur} + \text{ketidakpastian mutlak}) - (\text{hasil ukur} - \text{ketidakpastian mutlak})$$

$$\text{Toleransi} = 2 \times \text{ketidakpastian mutlak}$$

5.3 Nilai Pendekatan

Kesalahan (*error*) dapat dimaknai sebagai selisih nilai sebenarnya dengan nilai hasil suatu pengukuran. Karena pengukuran selalu ada error tertentu, maka muncullah konsep nilai pendekatan. Nilai pendekatan dikenal dengan istilah aproksimasi. Aproksimasi merupakan pembulatan suatu nilai atas hasil pengukuran dan nilai ini tidak berlaku untuk hasil yang eksak (seperti hasil membilang atau menghitung).

Ada tiga cara pendekatan dalam pembulatan suatu hasil pengukuran, berikut:

a. Pembulatan ke satuan ukuran terkecil/terdekat

- 1) Angka lebih dari 5 (>5), maka angka di depannya ditambah satu,
- 2) Angka kurang dari 5 (<5), maka angka dihilangkan dan bilangan di depannya tetap.

- 3) suatu angka tepat 5, dibulatkan ke atas jika angka sebelumnya ganjil dan dibulatkan tetap jika angka sebelumnya genap

Contoh:

$$3,16 \text{ m} = 3,2 \text{ m}$$

$$3,14 \text{ m} = 3,1 \text{ m}$$

$$3,48 \text{ m} = 3,5 \text{ m}$$

$$3,15 \text{ m} = 3,2 \text{ m}$$

$$3,25 \text{ m} = 3,2 \text{ m}$$

- b. Pembulatan bergantung angka atau tempat desimal

Cara ini digunakan untuk memudahkan dalam menyederhanakan perhitungan, sesuai dengan ketelitian yang diinginkan.

Contoh:

Pembulatan 52,12637 centigram sampai dengan empat tempat desimal dan sampai dengan satu tempat desimal.

$$52,12637 \text{ mm} = 52,3563 \text{ mm} \quad (\text{dibulatkan empat desimal})$$

$$52,12637 \text{ mm} = 52,1 \text{ mm} \quad (\text{dibulatkan satu desimal})$$

- c. Pembulatan ke banyaknya angka penting (signifikan)

Semua angka yang didapat dari suatu hasil pengukuran dikenal sebagai angka penting, yaitu angka pasti dan angka terakhir yang ditaksir. Pembulatan ke angka penting mengacu pada kaidah angka penting.

5.4 Kaidah Angka Penting

Angka penting yaitu semua angka yang didapat dari suatu hasil pengukuran. Angka penting ini terdiri atas angka pasti dan angka akhiran yang ditaksir. Adanya angka penting untuk memberikan data pengukuran yang dapat diperoleh secara berulang-ulang. Untuk itu, kaidah angka penting ini akan memberikan suatu kesepakatan bersama.

Aturan penulisan angka penting dapat mengikuti panduan berikut ini:

1. Semua angka yang bukan angka nol adalah angka penting. Contoh: 72,723 (terdapat lima angka penting)
2. Semua angka nol yang terletak di antara angka-angka bukan nol adalah angka penting. Contoh: 10,01 (terdapat empat angka penting)
3. Semua angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir, tetapi terdapat tanda desimal adalah angka penting. Contoh: 30,0 (terdapat tiga angka penting)
4. Semua angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol dan di belakang tanda desimal adalah angka penting. Contoh: 1,500 (terdapat empat angka penting)
5. Angka nol yang terletak di belakang angka bukan nol yang terakhir dan tidak dengan tanda desimal adalah angka tidak penting. Contoh: 230000 (terdapat dua angka penting)
6. Angka nol yang terletak di depan angka bukan nol yang pertama adalah angka tidak penting. Contoh: 0,001 (terdapat satu angka penting).

Notasi ilmiah juga terlibat dalam kaidah angka penting. Notasi ilmiah memberikan informasi angka yang lebih ringkas. Dalam hal ini, notasi ilmiah hanya memberikan jumlah angka penting. Penulisan notasi ilmiah dinyatakan sebagai berikut.

$$A \times 10^x$$

Dengan: A = angka penting dalam rentang $1 \leq A < 10$; X = bilangan bulat positif/negatif

Contoh:

$$16000000 = 1,6 \cdot 10^7 \quad (2 \text{ angka penting})$$

$$0,000000123 = 1,23 \cdot 10^{-7} \quad (3 \text{ angka penting})$$

Operasi matematika dengan memperhatikan angka penting dapat diamati pada Tabel 4. berikut.

Tabel 4. Kaidah Operasi Matematika dengan Angka Penting

Operasi Matematika	Angka Penting dalam Hasil
Perkalian atau pembagian	Ditentukan oleh bilangan dengan angka penting terkecil Contoh: $(0.745 \times 2.2)/3.885 = 0.42$ $(1.32578 \times 10^2) \times (4.11 \times 10^{-3}) = 5.45 \times 10^4$
Penjumlahan atau pengurangan	Ditentukan oleh bilangan dengan ketidakpastian terbesar (di antaranya, digit terkecil pada kanan desimal) Contoh: $27.153 + 138.2 - 11.74 = 153.6$

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2016). Fisika Dasar I. Bandung: ITB.
- Faradiba. (2020). Buku Materi Pembelajaran Metode Pengukuran Fisika. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia.
- Halliday, D., Resnick, R., and Walker, J. (2011). Fundamentals of Physics. 9th Edition, New York: John Wiley & Sons, Inc.,
- Serway, R. A., and Jewett, J. W. (2008). Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, 7th Edition, United States: Thomson Learning, Inc.

BAB 6

KESEIMBANGAN BENDA TEGAR

Oleh Zulkarnaini

6.1 Pendahuluan

Selama ini mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam memahami materi fisika, khususnya kesetimbangan benda tegar. Penyebabnya bisa bermacam-macam, salah satunya adalah banyak persamaan matematik dan gambar dalam berbagai bentuk dimensi di dalam materi ini. Oleh karena itu, penulis mencoba menjelaskan secara mendalam tentang bagaimana memahami kesetimbangan benda tegar di dalam fisika.

Di sisi lain, ada tuntutan bagi mahasiswa non-IPS yang harus mengerti dan memahami berbagai materi fisika terutama mahasiswa fakultas Teknik dengan berbagai jurusan didalamnya. Justru materi kesetimbangan benda tegar ini masuk dalam sebuah mata kuliah mekanika Teknik dan dianggap sedikit agak rumit.

Namun, pembahasan terkait dengan kesetimbangan benda tegar dalam bab ini hanya dibahas berkisar tentang pusat massa, titik berat, jenis-jenis kesetimbangan, persamaan kesetimbangan benda tegar, syarat-syarat benda dalam keadaan setimbang, dan penerapan kesetimbangan benda tegar.

6.2 Keseimbangan Benda Tegar

Konsep keseimbangan benda tegar terdiri dari dua bagian yaitu keseimbangan dan benda tegar. Keseimbangan adalah suatu keadaan benda yang berada dalam posisi seimbang, sehingga benda tetap stabil. Menurut Mekayanti, dkk dalam (Kua *et al.*, 2021) keseimbangan adalah kemampuan relatif untuk mengontrol pusat massa benda (*center of mass*) atau pusat grafitasi (*center of gravity*) terhadap titik tumpu (*base of support*). Keseimbangan dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu keseimbangan statis dan kesimbangan dinamis. Keseimbangan statis pada benda terjadi jika jumlah gaya total yang bekerja pada benda yang berada dalam

keadaan diam tersebut sama dengan nol, sehingga benda yang diam akan tetap diam. Sedangkan, keseimbangan dinamis pada benda terjadi jika benda diberikan gaya ketika benda tersebut bergerak, namun benda tetap bergerak konstan secara translasi maupun rotasi.

Kesetimbangan mekanis adalah keadaan di mana jumlah semua gaya yang bekerja pada objek yang diinginkan adalah nol. Agar ini terjadi, semua kekuatan harus seimbang, dimana ketika tidak ada gaya total yang bekerja pada suatu benda untuk berubah dalam gerakan bahwa benda-benda yang diam tetap diam dan benda yang bergerak akan melanjutkan gerakannya tanpa batas waktu. Selain itu, ketika suatu sistem dalam keadaan kesetimbangan mekanis maka semua bagian internal sistem adalah dalam keseimbangan mekanis. Seperti pada gambar 9.1, dimana pejalan kaki diatas tali dapat kita perhatikan bahwa dia seimbang di tali, tidak berayun dari kiri ke kanan, dan pot di kepalanya juga keseimbangan mekanis, tidak jatuh. Kesetimbangan mekanis adalah cara untuk mengatakan bahwa semua kekuatan dalam sistem yang diinginkan adalah seimbang. Konsep ini digunakan dalam analisis percobaan dan penyelidikan. Meskipun gaya yang bekerja pada suatu benda dapat disebut dengan nama yang berbeda, namun keadaan kesetimbangan mekanis selalu mensyaratkan bahwa gaya total yang bekerja pada objek yang diinginkan berjumlah nol (de Hemptinne, 1992).



Gambar 31. Kesetimbangan mekanis (de Hemptinne, 1992)

Sementara, benda tegar adalah benda yang umumnya berbentuk padat dan tidak akan mengalami perubahan bentuk (deformasi) ketika mendapatkan gaya eksternal. Suatu benda dikatakan sebagai benda tegar, jika jarak antara setiap bagian benda itu selalu tetap. Dalam hal ini, Praginda mengatakan setiap benda

dapat dianggap tersusun dari partikel-partikel atau titik-titik, di mana jarak antara setiap titik yang tersebar di seluruh bagian benda selalu tetap (Kua *et al.*, 2021).

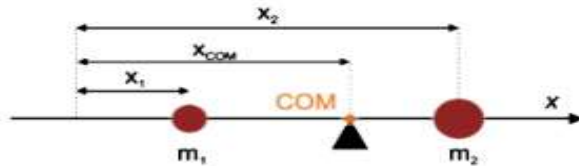
Berdasarkan penjelasan di atas maka dikatakan keseimbangan benda tegar adalah kedudukan benda yang seimbang dalam mengontrol pusat massa benda terhadap titik tumpu yang jika diberikan gaya luar, maka benda tersebut tidak akan mengalami perubahan bentuk.

Adapun, konsep yang penting dalam benda tegar yang perlu diketahui adalah sebagai berikut.

6.2.1 Pusat Massa

Pusat massa benda adalah titik di mana seluruh massa benda atau sekumpulan partikel dianggap terkonsentrasi. Dengan kata lain, jika titik tersebut diberikan gaya, maka akan menyebabkan percepatan linier dan tidak ada percepatan sudut.

Jika suatu benda memiliki massa jenis yang sama, maka pusat massanya terletak di pusat massa benda. Pada Gambar 9.1 terlihat pusat massa sebagai pengungkit atau jungkat-jungkit, dengan massa di setiap ujungnya.



Gambar 32. Pusat massa sebagai pengukit (Pamula dalam (Kua *et al.*, 2021))

Jika terdapat dua benda dengan massa yang sama, maka pusat massanya berada pada setengah dari jarak di antara keduanya. Tetapi apa yang terjadi jika di salah satu ujungnya terdapat benda yang lebih besar? Di mana letak pusat massa? Secara intuitif kita tahu bahwa pusat massa akan lebih dekat dengan benda yang lebih berat. Untuk mengetahui pusat massanya, maka dapat digunakan persamaan pusat massa, yaitu sebagai berikut:

$$y_1 X_{pm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2} \quad (6-1)$$

Persamaan tersebut jika kita uraikan dalam sistem tak hingga tiga dimensi dapat ditulis sebagai berikut:

Pada sumbu x

$$X_{pm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i} \quad (6-2)$$

Pada sumbu y

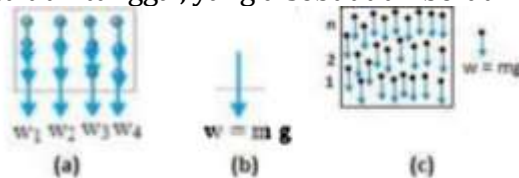
$$Y_{pm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum m_i y_i}{\sum y_i} \quad (6-3)$$

Dengan cara yang sama koordinat z dari pusat massa sistem didapatkan dari :

$$Z_{pm} = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots} = \frac{\sum m_i z_i}{\sum z_i} \quad (6-4)$$

6.2.2 Titik Berat

Setiap partikel pada suatu benda tegar memiliki berat. Berat keseluruhan benda adalah resultan dari semua gaya gravitasi berarah ke bawah dari semua partikel dan resultan ini bekerja melalui suatu titik tunggal, yang disebut titik berat.



Gambar 33. Arah gaya gravitasi pada partikel penyusun benda
(Praginda dalam (Kua *et al.*, 2021))

Pada Gambar 33 (a) partikel-partikel diwakili oleh titik-titik. Tanda panah menunjukkan arah gaya gravitasi yang bekerja pada tiap-tiap partikel. Pada Gambar 33 (a) juga dikatakan bahwa gaya gravitasi atau gaya berat pada partikel ke-1 adalah $W_1 = m_1 \cdot g$, pada partikel ke-2 adalah $W_2 = m_2 \cdot g$ dan seterusnya. Arah gaya berat setiap partikel juga sejajar menuju ke permukaan bumi. Pada kasus seperti Gambar 33 (b), gaya berat pada masing-masing partikel dapat diganti dengan sebuah gaya berat tunggal ($= mg$) yang bekerja pada titik pusat massa benda. Jadi gaya berat ini mewakili semua gaya berat partikel. Kemudian pada Gambar 33 (c), partikel 1 yang bermassa m_i memiliki g lebih besar, sedangkan partikel terakhir yang bermassa m , memiliki g yang lebih kecil. Huruf n

merupakan simbol partikel terakhir. Menurut Praginda bahwa jumlah partikel sangat banyak dan tidak tahu secara pasti berapa jumlah partikel, sehingga cukup disimbolkan dengan huruf n (Kua *et al.*, 2021).

Apabila suatu benda dengan kerapatan sebagian benda sama atau benda tersusun dari bahan sejenis (homogen) dan bentuk benda simetris (misalnya persegi, persegi panjang, lingkaran) maka titik berat benda berhimpit dengan pusat massa benda yang terletak di tengah-tengah benda tersebut. Namun, jika benda yang bentuknya tidak teratur, maka untuk menentukan titik beratnya dapat menggunakan persamaan berikut.

Pada sumbu x :

$$X_G = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i} \quad (6-5)$$

Pada sumbu y :

$$Y_G = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots} = \frac{\sum w_i y_i}{\sum w_i} \quad (6-6)$$

6.3 Jenis Keseimbangan

Keseimbangan setiap benda berbeda, tergantung dari gerak dan kedudukan titik berat benda ketika diberikan gangguan. Adapun jenis-jenis keseimbangan adalah sebagai berikut:

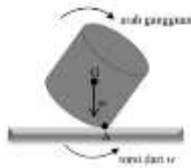
6.3.1 Keseimbangan stabil

Keseimbangan stabil adalah keseimbangan benda ketika benda diberikan gaya atau gangguan kecil yang kemudian dihilangkan, maka benda itu akan segera kembali ke posisi semula.



Gambar 34. Keseimbangan stabil (Kua *et al.*, 2021)

Untuk lebih jelas memahami penyebab benda dalam keseimbangan stabil, perhatikan gambar berikut (Kanginan, 2004).



Gambar 35. Penyebab keseimbangan stabil (Kua *et al.*, 2021)

Pada Gambar 35 ditunjukkan sebuah kaleng yang memiliki titik berat G dengan poros A . Arah gangguan yang diberikan searah jarum jam terhadap poros A . Ketika gangguan ini dihilangkan, maka gaya berat w yang bekerja di titik berat G akan menghasilkan torsi putar yang berlawanan arah jarum jam terhadap poros A . Karena torsi putar berlawanan dengan arah gangguan, maka torsi putar akan mengembalikan kaleng pada posisi keseimbangan asalnya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya keseimbangan stabil.

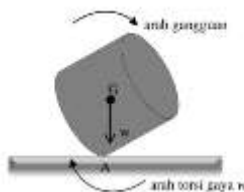
6.3.2 Keseimbangan labil

Keseimbangan labil adalah keseimbangan benda ketika benda diberikan gaya atau gangguan kecil yang kemudian dihilangkan, maka benda itu tidak dapat kembali ke posisi semula.



Gambar 36. Keseimbangan labil (Kua *et al.*, 2021)

Untuk lebih jelas memahi penyebab benda dalam keseimbangan stabil, perhatikan gambar berikut (Kanginan, 2004) dalam (Kua *et al.*, 2021)



Gambar 37. Penyebab keseimbangan labil (Kua *et al.*, 2021)

Pada Gambar 37 ditunjukkan sebuah kaleng yang memiliki titik berat G dengan poros A. Arah gangguan yang diberikan searah jarum jam terhadap titik tumpu A. Ketika gangguan ini dihilangkan, maka gaya berat w yang bekerja di titik berat G akan menghasilkan torsi putar yang searah jarum jam terhadap poros A. Karena torsi putar searah dengan arah gangguan, maka torsi putar tidak akan mengembalikan kaleng pada posisi keseimbangan asalnya. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya keseimbangan labil.

6.3.3 Keseimbangan netral

Keseimbangan netral atau biasa juga disebut keseimbangan indeferen adalah jika sebuah benda diberikan sedikit gangguan, maka benda tersebut tidak akan mengalami perubahan titik berat benda (keseimbangan benda).



Gambar 38. Keseimbangan netral (Kua *et al.*, 2021)

6.4 Persamaan Keseimbangan Benda Tegar

Terdapat beberapa persamaan di dalam keseimbangan benda tegar. Adapun persamaan-persamaannya adalah sebagai berikut.

6.4.1 Momen gaya

Momen gaya dalam fisika didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya (F) dengan jarak lengan gaya (d).

$$\tau = F \times d \quad (6-7)$$

Keterangan:

F = gaya (Newton)

d = jarak (yang tegak lurus) gaya ke poros (meter)

τ = momen gaya atau torsi (Nm)

6.4.2 Penguraian gaya

$$F_x = F \cos \theta \quad (6-8)$$

$$F_y = F \sin \theta \quad (6-9)$$

Keterangan:

θ = sudut antara gaya F terhadap sumbu X

6.4.3 Gerakan translasi dan rotasi

Keseimbangan Translasi

$$\Sigma F_x = 0 \quad (6-10)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad (6-11)$$

Keseimbangan rotasi

$$\Sigma \tau = 0 \quad (6-12)$$

6.4.4 Gaya gesek

Gaya gesek adalah gaya yang muncul ketika terdapat dua buah benda yang bersentuhan dan bergerak berlawanan arah

$$f = \mu \times N \quad (6-13)$$

Keterangan:

f = gaya gesek (N)

μ = koefisien gesekan

N = gaya normal (N)

6.4.5 Gaya berat

Gaya berat adalah gaya yang dipengaruhi oleh gravitasi dan gaya massa benda.

$$W = m \times g \quad (6-14)$$

Keterangan:

W = berat benda (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

6.5 Syarat-syarat Benda Dalam Keadaan Setimbang

Suatu benda tegar akan mengalami keadaan setimbang ketika memenuhi dua syarat. Adapun kedua syarat tersebut adalah sebagai berikut:

6.5.1 Keseimbangan translasi

Syarat benda agar berada dalam keadaan setimbang, maka benda harus memenuhi persamaan Hukum Newton. Hukum II Newton menjelaskan bahwa jika terdapat gaya total yang bekerja pada sebuah benda (benda dianggap sebagai partikel tunggal), maka benda bergerak lurus searah gaya total (Praginda, 2017) dalam (Kua *et al.*, 2021). Gaya total adalah jumlah semua gaya yang

bekerja pada sebuah benda. Sementara, Hukum II Newton dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\Sigma F = m \times a \quad (6-15)$$

Jika sebuah benda dalam keadaan diam, itu artinya benda tidak mengalami percepatan (a) dengan kata lain $a = 0$. Jika $a = 0$, maka persamaanya menjadi:

$$\Sigma F = m \times 0 \quad (6-16)$$

$$\Sigma F = 0 \quad (6-17)$$

Dimana jika diuraikan kedalam koordinat (x, y, z) :

$$\Sigma F_x = 0 \quad \text{Persamaan 1}$$

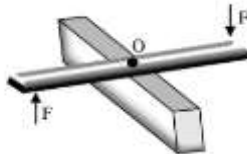
$$\Sigma F_y = 0 \quad \text{Persamaan 2}$$

$$\Sigma F_z = 0 \quad \text{Persamaan 3}$$

Jika gaya-gaya hanya bekerja pada arah horisontal saja (satu dimensi), maka cukup menggunakan Persamaan 1. Huruf x menunjuk sumbu horisontal pada koordinat kartesius (koordinat x, y, z). Sementara, jika gaya-gaya hanya bekerja pada arah vertikal saja (satu dimensi), maka cukup menggunakan persamaan 2. Huruf y menunjuk sumbu vertikal pada koordinat kartesius. Menurut Praginda jika gaya-gaya bekerja pada bidang (dua dimensi), maka kita menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2. Sebaliknya, jika gaya-gaya bekerja dalam ruang tiga dimensi, maka kita menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 (Kua *et al.*, 2021).

6.5.2 Keseimbangan rotasi

Sebuah benda akan dikatakan setimbang jika resultan gaya yang dialami benda adalah nol. Tapi hal itu saja tidak cukup karena benda masih dapat berotasi, seperti pada gambar berikut.



Gambar 39. Mistar di atas sebuah balok (Kua *et al.*, 2021)

Gambar 69 adalah sebuah mistar yang diletakkan di atas sebuah balok. Jika di kedua ujung mistar tersebut diberi gaya F yang

sama besar dan arahnya berlawanan, maka mistar akan mengalami gerak rotasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jika benda ingin berada dalam keadaan seimbang, ia tidak hanya dapat memenuhi hukum Newton saja, tetapi benda juga harus berada dalam keadaan resultan torsi yang dipilih sebagai porosnya sama dengan nol. Secara matematis dapat dituliskan.

$$\Sigma \tau = 0 \quad (6-18)$$

Berdasarkan analisis kedua syarat di atas, maka dapat disimpulkan bahwa benda dikatakan dalam keseimbangan (benda tegar) jika benda berada dalam keadaan diam serta resultan yang bekerja pada benda dan resultan torsi yang dipilih sebagai porosnya sama dengan nol.

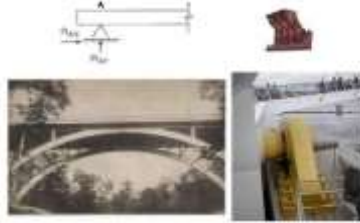
Adapun langkah langkah yang dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan yang berkaitan dengan keseimbangan benda tegar adalah sebagai berikut:

1. Menggambar sketsa kondisi soal berdasarkan informasi dan data yang diberikan oleh soal.
2. Memisahkan benda tegar yang akan ditinjau kemudian menggambarkan dan memberikan nama pada gaya-gaya yang bekerja pada benda tegar tersebut.
3. Menguraikan komponen-komponen setiap gaya ke dalam sistem koordinat sumbu - X dan sumbu - Y.
4. Memilih satu titik poros yang dapat memudahkan menghitung gaya-gaya yang ditanyakan kemudian dapat digunakan persamaan keseimbangan rotasi dengan persamaan: $\Sigma \tau = 0$
5. Menggunakan syarat keseimbangan translasi dengan persamaan: $\Sigma F_x = 0$ dan $\Sigma F_y = 0$ (9-19)
6. Menurut (Nurhudayah, 2019) dikatakan syarat kesetimbangan adalah: $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$ dan $\Sigma \tau = 0$

6.6 Penerapan Keseimbangan Benda Tegar

Adapun beberapa aplikasi keseimbangan benda tegar dalam kehidupan sehari-hari adalah sebagai berikut:

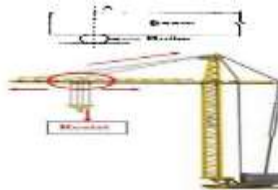
6.6.1 Engsel penyangga



Gambar 40. Penggunaan engsel penyangga(Brainkart dalam (Kua *et al.*, 2021)

Engsel penyangga mampu menahan gaya yang bekerja ke segala arah bidang. Penyangga ini tidak memberikan perlawanan apa pun terhadap rotasi. Komponen reaksi horizontal dan vertikal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan kesetimbangan. Engsel penyangga juga dapat digunakan pada jembatan melengkung. Selain itu engsel penyangga juga digunakan di pintu untuk menghasilkan rotasi di pintu. Engsel penyangga berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap gempa bumi.

6.6.2 Rol penyangga pada jembatan

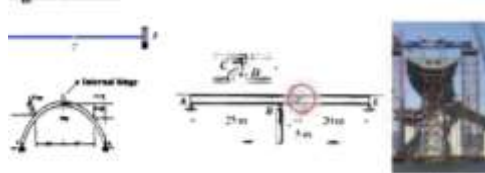


Gambar 41. Rol penyangga pada jembatan (Brainkart dalam (Kua *et al.*, 2021)

Rol penyangga dapat bebas berputar di sepanjang permukaan tempat rol bersandar. Permukaannya bisa horizontal, vertikal atau miring di sembarang sudut. Rol penyangga biasanya terletak di salah satu ujung jembatan panjang dalam bentuk bantalan-bantalan. Penyangga ini memungkinkan struktur jembatan untuk mengembang dan berkontraksi dengan perubahan suhu. Penyangga ini tidak dapat memberikan perlawanan terhadap gaya lateral. Rol penyangga juga digunakan pada *frame crane* di

industri berat seperti yang ditunjukkan pada gambar. Penyangga dapat bergerak ke kiri, kanan dan berputar dengan menahan beban vertikal sehingga beban berat dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain secara horizontal.

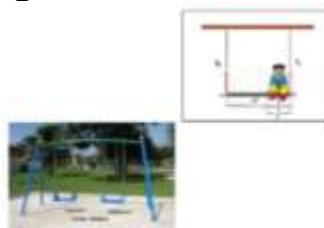
6.6.3 Engsel interior



Gambar 42. Kegunaan engsel interior (Brainkart dalam (Kua *et al.*, 2021)

Engsel interior sering digunakan untuk menyambungkan bahan yang lentur pada sebuah titik selain penyangga. Misalnya, pada gambar di atas, dua bagian lengkungan disambungkan dengan bantuan engsel internal. Dalam beberapa kasus, engsel interior ini sengaja dimasukkan agar dapat mengatur beban yang berlebih sehingga tidak merusak elemen struktural lainnya.

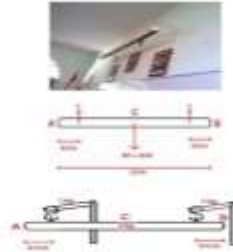
6.6.4 Pada ayunan yang diam



Gambar 43. Keseimbangan benda tegar pada ayunan (Donv dalam (Kua *et al.*, 2021)

Aplikasi keseimbangan benda tegar dapat diterapkan pada ayunan yang diam (tidak sedang berayun). Hal sesuai dengan syarat-syarat kesetimbangan benda di mana resultan gaya atau torsi yang bekerja pada benda tersebut sama dengan nol ($t = 0$). Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat sketsa ayunan beserta torsi dan gaya yang bekerja pada ayunan.

6.6.5 Pada LCD yang digantung



Gambar 44. Keseimbangan benda tegar pada layer LCD yang digantung (Kua *et al.*, 2021)

Layar LCD yang digantung dapat dikatakan sebagai aplikasi dari keseimbangan benda tegar karena kedua kawat tempat tergantungnya roll layar, dapat menahan roll tersebut ketika dikenai gaya dengan B sebagai poros.

6.6.6 Lampu lalu lintas



Gambar 45. Keseimbangan benda tegar pada lampu lalu lintas (Donv dalam (Kua *et al.*, 2021)

Lampu lalu lintas termasuk dalam benda tegar karena pengaruh gaya dan torsi sama dengan nol. Hal itu dapat di buktikan dari gambar di atas. Gaya berat dari W dan W . disamakan oleh gaya gesek (f_s) dan gaya tegang tali (T). Gaya W dan W yang arahnya ke bawah searah jarum jam disamakan oleh gaya gesek (f) dan gaya tegangan tali (T) yang arahnya ke atas berlawanan jartin jam.

6.7 Kesimpulan

1. Kesetimbangan adalah suatu kondisi benda dengan resultan gaya dan resultan momen gaya sama dengan nol.
2. Momen gaya merupakan besaran vektor yang nilainya sama dengan hasil kali antara gaya dengan jarak dari titik poros arah tegak lurus garis kerja gaya
3. Syarat kesetimbangan: $\Sigma F_x=0$, $\Sigma F_y=0$ dan $\Sigma \tau= 0$
4. Jenis kesetimbangan yaitu labih, stabil, dan indiferen.
5. Beberapa aplikasi keseimbangan benda tegar dalam kehidupan sehari-hari, berupa engsel penyangga, rol penyangga pada jembatan, engsel interior, ayunan yang diam dan pada LCD yang digantung serta lampu lalu lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- de Hemptinne, X. 1992. 'Mechanical Equilibrium', *Non-Equilibrium Statistical Thermodynamics*, pp. 32–37. doi: 10.1142/9789814355902_0005.
- Kua, M. Y. *et al.* 2021. 'Teori dan Aplikasi Fisika Dasar'. Edited by S. Hayati, p. 172.
- Nurhudayah. 2019. 'E Modul Dinamika Rotasi dan Keseimbangan Benda Tegar', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 1689–1699.

BAB 7

GERAK MELINGKAR

Oleh Jan Setiawan

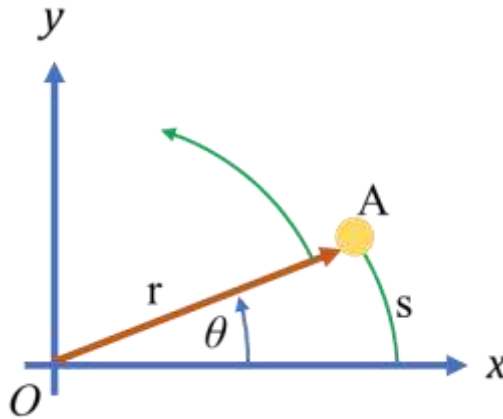
7.1 Besaran Sudut

Gerakan benda yang mengelilingi suatu titik pusat tertentu dikatakan sebagai gerak melingkar. Gerakan planet-planet yang mengelilingi matahari, dan bulan yang bergerak mengelilingi bumi merupakan contoh dari gerak melingkar. Contoh lainnya seperti pada kendaraan yang bergerak pada jalan menikung, dan bola yang terikat seutas tali lalu diputar. Pada benda yang bergerak melingkar setiap partikel dalam benda tersebut akan bergerak dengan lintasan melingkar yang berbeda satu dengan lainnya, namun terpusat pada satu titik sumbu rotasi.

Benda tegar merupakan benda ketika bergerak melingkar dapat mempertahankan setiap bagiannya dan tidak mengalami perubahan bentuk. Titik sumbu rotasi merupakan pusat dari gerakan melingkar. Perlu diketahui, secara umum gerakan dari benda tegar merupakan kombinasi dari gerak translasi dan gerak melingkar. Benda tegar yang hanya bergerak translasi setiap titik pada benda akan bergerak dengan jarak linier yang sama setiap saat. Sedangkan untuk benda tegar yang hanya bergerak melingkar setiap titik pada benda akan bergerak dengan posisi sudut yang sama setiap saat. Oleh kesamaan tersebut besaran pada gerak melingkar padanan dengan besaran pada gerak translasi. Beberapa besaran yang perlu diketahui dalam gerak melingkar adalah posisi sudut, perpindahan sudut, kecepatan sudut dan percepatan sudut.

7.1.1 Posisi Sudut

Gerak melingkar berlawanan dengan arah jarum jam oleh benda tegar A terhadap sumbu rotasi dititik O di mana benda tegar A berada sejauh r dari titik O, diilustrasikan pada Gambar 46. Lintasan linier gerakan benda tegar A ini adalah busur s yang bergerak dari sumbu- x . Posisi sudut θ yang ditentukan secara relatif ke arah positif pada sumbu- x , merupakan sudut yang dibentuk antara Ox dengan OA .



Gambar 46. Gerak melingkar benda tegar A ditampilkan dari atas.

Secara matematis sudut θ dapat ditentukan dengan,

$$\theta = \frac{s}{r}.$$

Besaran posisi sudut (θ) dalam radian. Namun besaran inipun dapat dituliskan dalam satuan putaran (revolusi). Satu putaran utuh gerak melingkar diketahui sebanding dengan 2π radian, sehingga konversi radian dengan putaran dapat dituliskan dengan,

$$1 \text{ putaran} = 360^\circ = 2\pi \text{ rad}.$$

Apabila posisi sudut ini berubah setiap saat, akan menjadi fungsi dari waktu. Posisi sudut sebagai fungsi waktu dapat dituliskan dengan $\theta(t)$.

Contoh:

1. Ubah 180° menjadi dalam radian.

Jawab

$$\theta = 180^\circ \cdot \frac{2\pi}{360^\circ} = \pi \text{ rad}.$$

2. Tentukan $\pi/16$ dalam satuan derajat.

Jawab

$$\theta = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{360^\circ}{2\pi} = 11,25^\circ.$$

7.1.2 Perpindahan Sudut

Dalam gerak melingkar perubahan posisi sudut dari benda tegar yang bergerak sepanjang lintasan berupa busur pada gerak melingkar dikenal sebagai perpindahan sudut. Menurut konvensi secara umum, perpindahan sudut dari benda yang bergerak searah dengan jarum jam diberi nilai negatif, dan pergerakan yang berlawanan arah jarum jam diberi nilai positif. Penentuan searah atau berlawanan arah jarum jam ini ditentukan dari sudut pandang tertentu yang disepakati. Tentunya bila dilihat dari satu sisi pergerakan terlihat searah jarum jam, maka saat dilihat dari sisi lainnya akan tampak berlawanan arah jarum jam. Apabila posisi awal sebuah benda tegar yang bergerak melingkar adalah θ_1 dan posisi akhir setelah bergerak adalah θ_2 , dengan demikian perpindahan sudut dituliskan dengan,

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1.$$

7.1.3 Kecepatan Sudut

Apabila benda tegar diposisi θ_1 pada saat t_1 , dan diposisi θ_2 pada saat t_2 dapat didefinisikan kecepatan sudut rata-ratanya ($\omega_{\text{rata-rata}}$) pada rentang waktu Δt dari t_1 ke t_2 yang dituliskan sebagai,

$$\omega_{\text{rata-rata}} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t},$$

Dengan $\Delta\theta$ adalah perpindahan sudut selama rentang waktu Δt . Untuk kecepatan sudut sesaat (ω) secara matematis merupakan limit dari kecepatan sudut rata-rata ketika Δt mendekati nol. Kecepatan sudut sesaat dituliskan dengan,

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt},$$

Satuan rad per detik (rad/s) atau putaran per detik diberikan untuk kecepatan sudut. Satuan lainnya yang populer adalah putaran per menit (rpm). Kecepatan sudut pada benda tegar yang bergerak berlawanan arah jarum jam bernilai positif dan yang searah jarum jam bernilai negatif. Kecepatan sudut merupakan besaran vektor. Nilai dari kecepatan sudut adalah kelajuan sudut yang juga disimbolkan dengan ω .

Pada sebuah titik yang bergerak secara melingkar dengan jari-jari atau jarak ke sumbu rotasi sejauh r , jarak linier yang

ditempuh sepanjang gerak melingkar dengan perpindahan sudut sebesar $\Delta\theta$ (dalam radian) adalah sebesar panjang busur s , yang ditulis dengan

$$s = r|\Delta\theta| = r|\theta_2 - \theta_1|.$$

Untuk kelajuan linier (rata-rata) setiap titik yang bergerak dapat ditentukan dari jarak yang ditempuh dibagi dengan waktu tempuhnya,

$$v_{\text{rata-rata}} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{r|\Delta\theta|}{\Delta t} = r|\omega_{\text{rata-rata}}|.$$

Dengan demikian hubungan antara kelajuan linier dengan kelajuan sudut dituliskan dengan

$$v = r|\omega|.$$

7.1.4 Periode dan Frekuensi Pada Besaran Sudut

Besaran berikutnya adalah periode (T) yang menyatakan waktu tempuh yang dibutuhkan benda tegar untuk bergerak melingkar satu putaran penuh. Secara matematis periode (T) dapat ditulis sebagai,

$$T = \frac{2\pi}{|\omega|}.$$

Periode menyatakan waktu yang butuhkan suatu benda tegar bergerak melingkar untuk menempuh satu putaran penuh sebanding dengan jarak tempuh lintasan yang melingkar sejauh satu putaran atau 2π rad dibagi dengan kelajuan sudutnya. Sedangkan besaran frekuensi (f) adalah banyaknya putaran yang ditempuh per detik (*Physics I Workbook For Dummies*. 3rd edn, 2022) dapat ditentukan dari periode dengan hubungan berikut,

$$f = \frac{1}{T}.$$

Satuan hertz (Hz) diberikan untuk besaran frekuensi, di mana 1 Hz sebanding dengan 1 putaran/s. Hubungan antara kelajuan sudut, kelajuan linier dengan periode dan frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut,

$$|\omega| = \frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f.$$

Contoh:

1. Sebuah alat sentrifugal berputar dengan kelajuan sudut sebesar 5400 putaran/menit (a) tentukan periode dan frekuensi dari gerakannya. (b) Jika jari-jari dari sentrifugalnya sebesar 14 cm, seberapa cepat pergerakan benda yang bergerak di tepi terluarnya?

Jawab

- (a) Frekuensi dari putaran alat tersebut adalah 7200 putaran/menit atau rpm. Apabila dikonversi ke satuan Hz menjadi,

$$f = 7200 \frac{\text{putaran}}{\text{menit}} \cdot \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} = 120 \text{ putaran/s} = 120 \text{ Hz}.$$

Untuk periodenya adalah,

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{120} = 0,00833 \text{ s}.$$

- (b) Untuk menentukan kelajuan liniernya, tentukan dahulu kelajuan sudutnya dalam rad/s

$$|\omega| = 2\pi f = 2\pi(120) = 240\pi \text{ rad/s}.$$

Ubah jari-jari sentrifugal ke dalam satuan meter menjadi 0,14 m. Kelajuan liniernya ditentukan dengan,

$$v = r|\omega| = 0,14 (240\pi) = 105,5 \text{ m/s}.$$

2. Mesin pengering pakaian berputar sebanyak 54 putaran/menit. Jika jari-jari tabungnya sebesar 20 cm, tentukan kelajuan linier sisi terluar dari tabung tersebut?

Jawab

Frekuensi dari putaran tabung mesin pengering diubah ke satuan Hz menjadi,

$$f = 54 \frac{\text{putaran}}{\text{menit}} \cdot \frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ s}} = 0,9 \text{ putaran/s} = 0,9 \text{ Hz}.$$

Ubah jari-jari tabung ke dalam satuan meter menjadi 0,2 m. Untuk kelajuan liniernya ditentukan dengan,

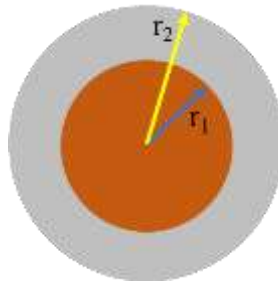
$$v = r|\omega| = r(2\pi f) = 0,2 (2\pi(0,9)) = 1,1 \text{ m/s}.$$

7.2 Hubungan Roda-Roda

Pada hubungan roda-roda yang bergerak melingkar dapat dianalisis kelajuan linier dan kelajuan sudut dari roda-roda tersebut. Mode hubungan roda-roda tersebut antara lain:

(1) Hubungan roda-roda seporos

Pada hubungan roda-roda ini, terdapat dua roda yang saling terhubung oleh sumbu rotasi yang sama. Hubungan roda-roda seporos ini diilustrasikan pada Gambar 47.



Gambar 47. Hubungan roda-roda seporos.

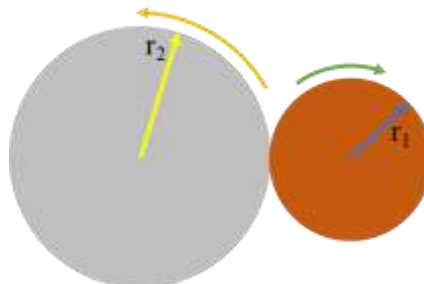
Dua roda dengan ukuran jari-jari berbeda bergerak melingkar dengan sumbu rotasi yang sama. Pada mode hubungan roda-roda ini berlaku,

$$|\omega_1| = |\omega_2|$$
$$\frac{v_1}{r_1} = \frac{v_2}{r_2}.$$

Kedua roda-roda tersebut akan bergerak ke arah putar yang sama.

(2) Hubungan roda-roda bersinggungan

Hubungan roda-roda ini berupa hubungan dua roda yang sisi terluarnya saling bersinggungan satu dengan lainnya. Pada hubungan roda-roda ini, arah putar roda akan saling berlawanan arah. Ilustrasi dari hubungan roda-roda ini diberikan pada Gambar 48.



Gambar 48. Hubungan roda-roda bersinggungan.

Dalam hubungan roda-roda bersinggungan ini, berlaku hubungan besaran kelajuan linier sebagai berikut,

$$v_1 = v_2$$

$$r_1|\omega_1| = r_2|\omega_2|.$$

Apabila roda-roda ini memiliki gigi, jari-jari roda yang lebih besar akan memiliki jumlah gigi (n) yang lebih banyak dibandingkan dengan jari-jari roda yang lebih kecil. Dalam hubungan roda-roda bersinggungan ini, jari-jari dapat langsung digantikan dengan jumlah giginya. Oleh karena itu dalam hubungan roda-roda bersinggungan ini dapat dituliskan sebagai,

$$n_1|\omega_1| = n_2|\omega_2|,$$

dengan n_1 dan n_2 berturut-turut adalah jumlah gigi pada roda 1 dan roda 2.

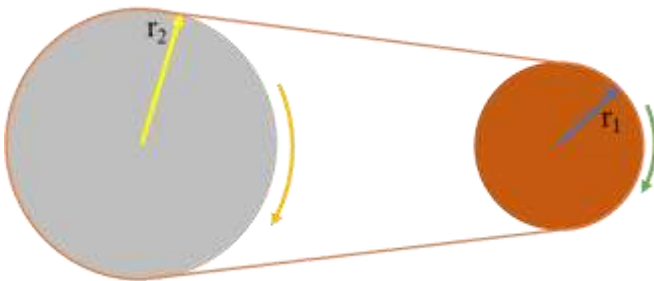
- (3) Hubungan roda-roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk atau rantai.

Mode hubungan roda-roda berikut ini merupakan roda-roda yang dihubungkan dengan tali, sabuk atau rantai. Serupa dengan hubungan roda-roda bersinggungan secara matematis besaran kelajuan liniernya dituliskan sebagai,

$$v_1 = v_2$$

$$r_1|\omega_1| = r_2|\omega_2|.$$

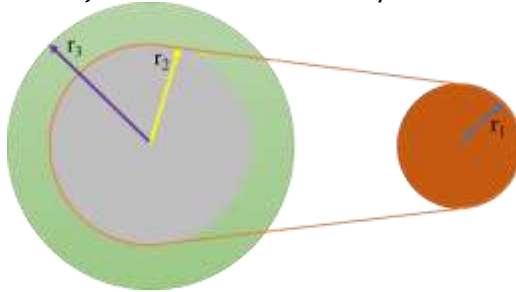
Perbedaan mendasar dengan hubungan roda-roda bersinggungan adalah arah putar pada mode ini antara roda-roda yang saling berhubungan adalah searah. Ilustrasi dari hubungan roda-roda ini diberikan pada Gambar 49.



Gambar 49. Hubungan roda-roda yang dihubungkan sabuk atau rantai.

Contoh:

Apabila sistem roda terdiri dari tiga buah roda seperti pada Gambar 50. Diketahui masing-masing ukuran jari-jarinya adalah 10 cm, 15 cm dan 18 cm. Tentukan kelajuan sudut dari roda pertama jika roda ketiga memiliki kelajuan linier sebesar 6 m/s.



Gambar 50. Ilustrasi hubungan roda-roda dalam gerak melingkar.

Jawab:

Dari Gambar 50 dapat dituliskan hubungan roda ketiga dengan kedua adalah hubungan roda-roda seporos yang secara matematis hubungan besarannya adalah,

$$|\omega_2| = |\omega_3|,$$

Sedangkan hubungan roda kedua dengan roda pertama adalah hubungan roda-roda dihubungkan dengan sabuk atau rantai yang secara matematis hubungan besarannya adalah,

$$v_1 = v_2.$$

Penyelesaiannya sebagai berikut,

$$1) |\omega_2| = |\omega_3|$$

$$\frac{v_2}{r_2} = \frac{v_3}{r_3}$$

$$\frac{v_2}{0,15} = \frac{6}{0,18}$$

$$\frac{v_2}{0,15} = \frac{6}{0,18}$$

Diperoleh

$$v_2 = \frac{6}{0,18} \cdot 0,15 = 5 \text{ m/s.}$$

$$2) v_1 = v_2$$

$$r_1 |\omega_1| = r_2 |\omega_2|$$

$$0,10 |\omega_1| = 5$$

$$|\omega_1| = \frac{5}{0,10} = 50 \text{ rad/s.}$$

7.3 Percepatan Dalam Gerak Melingkar

Apabila benda tegar yang memiliki kecepatan sudut ω_1 pada saat t_1 , dan berubah menjadi ω_2 pada saat t_2 dapat didefinisikan percepatan sudut rata-ratanya ($\alpha_{\text{rata-rata}}$) pada rentang waktu Δt dari t_1 ke t_2 yang dituliskan sebagai,

$$\alpha_{\text{rata-rata}} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t},$$

dengan $\Delta\omega$ adalah perpindahan sudut selama rentang waktu Δt . Untuk percepatan sudut sesaat (α) secara matematis merupakan limit dari percepatan sudut rata-rata ketika Δt mendekati nol. Percepatan sudut sesaat dituliskan dengan,

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt},$$

7.2.1 Gerak Melingkar Berubah Beraturan

Persamaan dalam gerak melingkar berubah beraturan (GMBB) dapat diturunkan identik dengan persamaan dalam gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Secara umum persamaan GMBB diberikan pada Tabel 5.

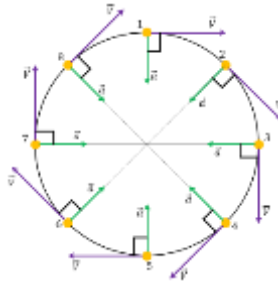
Tabel 5. Persamaan Gerak Melingkar Berubah Beraturan (Walker, Halliday and Resnick, 2014; Kua *et al.*, 2021; Mazur, 2021)

Persamaan Sudut	Variabel yang tidak ada
$\omega = \omega_0 + \alpha t$	$\theta - \theta_0$
$\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$	ω
$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$	t
$\theta - \theta_0 = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega)t$	α
$\theta - \theta_0 = \omega t - \frac{1}{2} \alpha t^2$	ω_0

7.2.2 Percepatan Linier Pada Gerak Melingkar

Benda tegar yang bergerak melingkar berubah beraturan, besar dari vektor kecepatan liniernya bernilai konstan, namun arahnya berubah-ubah sesuai dengan posisinya. Sedangkan besar

dan arah dari vektor percepatan liniernya selalu konstan. Arah dari vektor percepatan liniernya ini mengarah ke sumbu rotasi (Mazur, 2021). Ilustrasi vektor kecepatan dan percepatan linier setiap posisi dalam gerak melingkar tersebut diberikan pada Gambar 51.



Gambar 51. Percepatan dan kecepatan linier dalam beberapa posisi pada gerak melingkar.

Vektor percepatan linier ini memiliki dua komponen, yaitu yang mengarah ke sumbu rotasi dan yang searah dengan vektor kecepatan liniernya. Percepatan yang mengarah ke sumbu rotasi dikenal dengan percepatan radial atau percepatan sentripetal (a_r) (Walker, Halliday and Resnick, 2014; Giambattista, Richardson and Richardson, 2020; Griffith and Brosing, 2022) yang besarnya adalah,

$$a_r = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r ,$$

percepatan ini akan timbul selagi kecepatan sudutnya tidak bernilai nol. Apabila mempertimbangkan arahnya, percepatan radial ini diberi tanda negatif, yang menunjukkan arahnya ke sumbu rotasi (ke dalam) (Verma, 2008). Sedangkan percepatan yang searah dengan kecepatan liniernya dikenal sebagai percepatan tangensial (a_t) yang besarnya dapat ditentukan dengan,

$$a_t = \alpha r ,$$

Percepatan tangensial akan ada selagi percepatan sudutnya tidak bernilai nol.

Contoh:

1. Sebuah mesin gerinda berputar dengan percepatan sudut sebesar $0,4 \text{ rad/s}^2$. Pada saat $t = 0$ memiliki

kecepatan sudut sebesar $-5,0 \text{ rad/s}$ dengan sudut awal terhadap sumbu horizontalnya adalah nol derajat. (a) Tentukan waktu yang diperlukan untuk melakukan 8 putaran? (b) Kapan gerinda berhenti sementara dan berputar ke arah yang berlawanan dengan arah jarum jam?

Jawab

Diketahui $\alpha = 0,4 \text{ rad/s}^2$, $\theta_0 = 0$, $\omega_0 = -5 \text{ rad/s}$.

(a) Untuk menentukan waktu yang dibutuhkan digunakan persamaan,

$$\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2,$$

ubah posisi akhir 8 putaran ke dalam satuan radian dengan mengalikan 2π sehingga menjadi $16\pi \text{ rad}$.

$$16\pi - 0 = (-5,0)t + \frac{1}{2}(0,4)t^2$$

$$16\pi = 0,2t^2 - 5,0t$$

$$t = 32,7 \text{ s} \approx 33 \text{ s}.$$

(b) Untuk sampai benar-benar berhenti ($\omega_0 = 0$) diperlukan waktu yang ditentukan dengan persamaan

$$t = \frac{\omega - \omega_0}{\alpha} = \frac{\omega = \omega_0 + \alpha t}{0,4} = \frac{0 - (-5,0)}{0,4} = 12,5 \text{ s} \approx 13 \text{ s}.$$

2. Sebuah bola terikat pada tali dan diputar dengan kecepatan 12 rad/s lalu dipercepat menjadi 24 rad/s dengan percepatan 18 rad/s^2 . Tentukan total perpindahan sudut bola tersebut selama proses percepatan ini?

Jawab

$$\begin{aligned} \omega^2 &= \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0) \\ (24)^2 &= (12)^2 + 2(18)\Delta\theta \\ 576 &= 144 + 36\Delta\theta \\ 36\Delta\theta &= 432 \\ \Delta\theta &= 12 \text{ rad.} \end{aligned}$$

3. Sebuah benda bergerak melingkar terhadap sumbu rotasi yang berjari-jari sejauh $15,0 \text{ m}$ dengan kecepatan

liniernya sebesar 300 m/s. Tentukan percepatan sentripetal pada benda tersebut?

Jawab

$$a_r = \frac{v^2}{r} = \frac{300^2}{15} = 6000 \text{ m/s}.$$

DAFTAR PUSTAKA

- Giambattista, A., Richardson, B.M. and Richardson, R.C. (2020) *Physics*. 5th edn. New York: McGraw-Hill Education.
- Griffith, W.T. and Broising, J.W. (2022) *The Physics of Everyday Phenomena : A Conceptual Introduction To Physics*. 10th edn. New York: McGraw-Hill Education.
- Kua, M.Y. *et al.* (2021) *Teori dan Aplikasi Fisika Dasar*. Edited by S.D. Narpila. Aceh: Yayasan Penerbit Muhammad Zaini.
- Mazur, E. (2021) *Principles & Practice Of Physics*. 2nd edn. Boston: Pearson Education.
- Physics I Workbook For Dummies*. 3rd edn (2022). New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Verma, H.C. (2008) *Concept of Physics Part 1*. 4th edn. New Delhi: Bharati Bhawan (Publishers & Distributors).
- Walker, J., Halliday, D. and Resnick, R. (2014) *Fundamentals of Physics*. 10th edn. Danvers: John Wiley & Sons, Inc.

BAB 8

USAHA OLEH GAYA KONSTAN DAN BERUBAH

Oleh Richard A.M. Napitupulu

8.1 Pendahuluan

Sebuah anak panah dilepaskan dari busurnya; bisakah diketahui kecepatan anak panah tersebut pada saat baru saja terlepas dari busur? Mampukah hukum gerak newton dapat digunakan untuk memecahkan masalah ini? Masalah semacam ini dan beberapa masalah lainnya memang sulit jika harus dihitung dengan menggunakan hukum gerak newton. Hal ini karena beban yang terjadi pada tali busur karena anak panah berbeda-beda bergantung pada posisi. Lalu... bagaimana hal itu dapat dinilai? Jangan khawatir... selain hukum gerak newton, masih ada teori yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan gerak seperti ini.

8.2 Usaha

Fenomena gerak, disamping bisa dipecahkan dengan memakai perumusan hukum newton, juga bisa diselesaikan dengan memakai teori usaha-energi. Seperti halnya hukum newton, teori ini menghubungkan pengaruh gaya dari luar dengan keadaan gerak benda. Perbedaannya dengan teori hukum newton, usaha dan tenaga adalah besaran skalar. Oleh sebab itu, untuk beberapa hal, teori usaha-tenaga dapat lebih mudah digunakan untuk mengetahui keadaan gerak suatu benda akibat pengaruh gaya dari luar.

8.2.1 Definisi Gaya

Setiap orang dapat memahami tentang pengertian gaya dari pengalamannya sehari-hari. Saat orang tersebut mendorong pintu ruangan, maka orang tersebut memberikan gaya pada pintu itu. Demikian pula ketika dia mengerahkan gaya pada bola saat dia melempar atau menendangnya. Dari kedua contoh ini, kekuatan gaya dikaitkan dengan kegiatan otot dan beberapa perubahan dalam laju benda. Tapi gaya tidak selalu menyebabkan

perpindahan. Misalnya, saat kita duduk membaca buku, gaya gravitasi bekerja pada tubuh kita namun kita tetap diam. Sebagai contoh berikutnya, ketika kita dapat mendorong (dengan kata lain, mengerahkan gaya) pada batu besar dan tidak dapat memindahkannya.

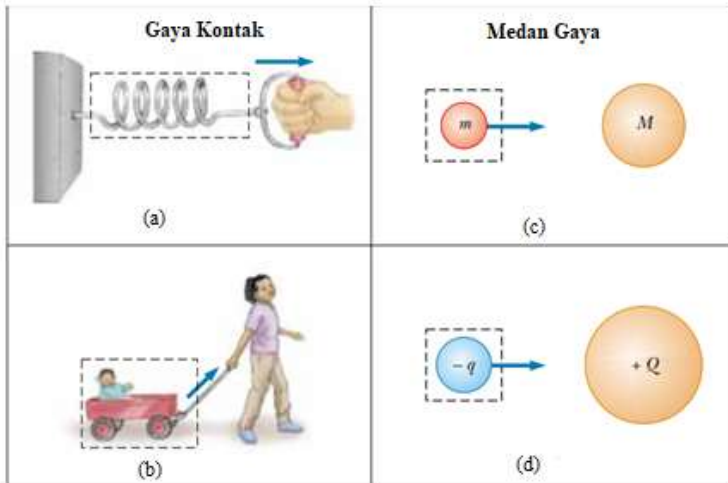
Jika ada, gaya apa yang menyebabkan Bulan mengorbit Bumi? Newton menjawab ini dengan mengatakan bahwa gaya adalah sesuatu yang menyebabkan perubahan laju dari sebuah benda. Maka jika suatu benda berpindah dengan gerakan beraturan (kecepatan konstan), tidak ada gaya yang dibutuhkan untuk mempertahankan gerakan. Kecepatan Bulan tidak konstan karena bergerak dalam orbit yang hampir melingkar mengelilingi bumi. Sekarang kita ketahui bahwa perubahan kecepatan ini karena gaya yang diberikan Bumi pada Bulan.

Apa yang akan terjadi jika ada beberapa gaya yang bekerja secara bersamaan pada suatu benda? Dalam penerapannya, benda dipercepat hanya jika gaya keseluruhan yang bekerja padanya tidak sama dengan nol. Resultan gaya yang bekerja pada suatu benda didefinisikan sebagai jumlah vektor dari semua gaya yang bekerja pada objek. Jika resultan gaya yang bekerja pada suatu benda adalah nol, maka percepatannya adalah nol dan kecepatannya tetap. Hal ini dapat berarti bahwa jika resultan total yang bekerja pada benda adalah nol, maka benda tersebut tetap di diam atau terus bergerak dengan kecepatan tetap. Jika kecepatan suatu benda adalah konstan (termasuk kasus di mana objek tetap diam), benda dikatakan berada dalam keseimbangan.

Ketika pegas melingkar ditarik seperti pada gambar 52a, pegas meregang. Ketika sebuah kereta yang diam ditarik cukup keras sehingga gesekan diatasi, seperti pada gambar 52b, gerobak bergerak. Situasi ini semua adalah contoh dari jenis gaya yang disebut gaya kontak. Artinya, mereka melibatkan kontak fisik antara dua objek. Contoh lainnya gaya kontak adalah gaya yang diberikan oleh molekul gas pada dinding wadah dan gaya yang diberikan oleh kaki Anda di lantai.

Jenis gaya lainnya adalah yang dikenal sebagai medan gaya yang tidak melibatkan kontak fisik antara dua objek tetapi bertindak melalui ruang kosong. Gaya gravitasi tarik menarik

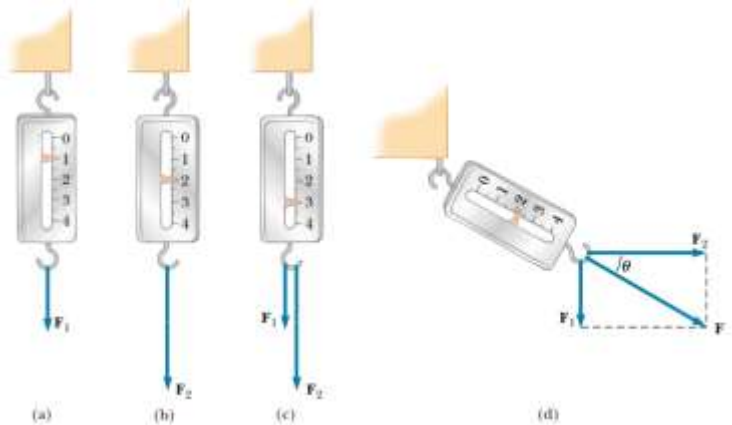
antara dua objek, diilustrasikan pada gambar 52c, adalah contoh gaya medan. Gaya gravitasi ini membuat benda-benda terikat pada Bumi. Planet-planet Tata Surya kita terikat ke Matahari oleh aksi gaya gravitasi. Contoh umum lain dari medan gaya adalah gaya listrik yang menyisip gaya listrik yang bekerja pada muatan yang lain, seperti yang ditunjukkan pada gambar 52d. Perubahan ini memungkinkan elektron dan proton membentuk atom hidrogen.



Gambar 52. Beberapa contoh penerapan gaya pada benda [1].

Sebagai contoh yang lebih mudah adalah dengan menggunakan deformasi pegas untuk mengukur gaya. Misalkan kita mengenakan gaya vertikal ke skala pegas yang mempunyai ujung atas tetap, seperti yang ditunjukkan pada gambar 53a. Pegas bertambah panjang ketika gaya dikenakan, dan jarum pada skala membaca nilai gaya yang dikenakan. Kita dapat mengkalibrasi pegas dengan mendefinisikan satuan gaya F_1 sebagai gaya yang menghasilkan pembacaan penunjuk sebesar 1,00 cm. (Karena gaya adalah besaran vektor, digunakan simbol yang dicetak tebal $\mathbf{F}$.) Jika sekarang dikenakan gaya yang berbeda ke arah bawah F_2 yang besarnya 2 satuan, seperti terlihat pada Gambar 53b, jarum bergerak ke angka 2,00 cm. Gambar 53c memperlihatkan bahwa efek gabungan dari kedua gaya sejajar tersebut adalah jumlah dari besar masing-masing gaya.

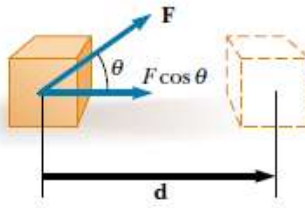
Sekarang anggaplah kedua gaya dikenakan secara bersamaan dengan F_1 ke bawah dan F_2 horizontal, seperti pada gambar 53d. Dalam hal ini, jarum membaca skala $\sqrt{5} \text{ cm}^2 = 2,24 \text{ cm}$. Gaya tunggal F yang akan menghasilkan pembacaan yang sama adalah jumlah resultan dari vektor F_1 dan F_2 , seperti yang dijelaskan pada Gambar 53d. Maka $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 2,24 \text{ cm}^2$ dengan arah $\theta = \tan^{-1}(-0.500) = -26,6^\circ$. Karena gaya adalah besaran vektor, maka kita harus menggunakan aturan penjumlahan vektor untuk mendapatkan gaya total yang bekerja pada suatu benda.



Gambar 53. Sifat vektor suatu gaya diuji dengan skala pegas [1].

8.2.2 Usaha oleh Gaya Konstan

Istilah usaha dalam fisika agak berbeda dengan istilah usaha yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, meskipun ada beberapa kesamaan. Sebagai istilah fisika, usaha yang dilakukan oleh suatu gaya didefinisikan sebagai *hasil perkalian skalar antara vektor gaya dengan vektor perpindahan benda*, atau hasil kali komponen gaya yang searah dengan perpindahan benda dengan besar perpindahan benda.



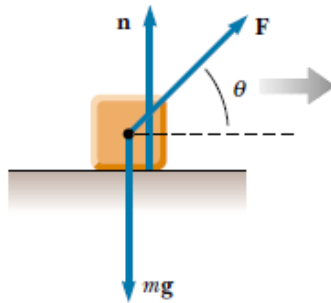
Gambar 54. Jika suatu benda mengalami perpindahan d di bawah aksi gaya konstan F , usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut adalah $(F \cos \theta) d$ [1].

Usaha W yang dikenakan pada sebuah benda yang diberikan suatu gaya konstan adalah produk dari komponen gaya dalam arah perpindahan dan besarnya perpindahan:

$$W = Fd \cos \theta \quad (8.1)$$

Sebagai contoh perbedaan antara definisi usaha ini dan definisi dari pemahaman kita sehari-hari terhadap kata usaha ini, pertimbangkanlah untuk memegang kursi yang berat di lengan kita selama 3 menit. Pada akhir interval waktu ini, lengan kita yang lelah dapat membawa kita berpikir bahwa kita telah melakukan banyak usaha di kursi itu. Namun, menurut definisi fisika, kita tidak melakukan apa pun untuk itu. Kita mengerahkan kekuatan untuk memegang kursi di lengan kita, tetapi kita tidak memindahkannya. Gaya tidak bekerja pada suatu benda jika benda tidak bergerak. Hal ini dapat dilihat dengan mengacu ke persamaan 8.1 yang memberikan $W = 0$ di situasi yang diperlihatkan pada gambar 8.1

Perhatikan juga bahwa dari persamaan 8.1 usaha yang dilakukan oleh gaya pada benda yang bergerak adalah nol ketika gaya yang diterapkan tegak lurus terhadap perpindahan benda. Artinya, jika $\theta = 90^\circ$, maka $W = 0$ karena $\cos 90^\circ = 0$. Sebagai contoh, pada gambar 55, usaha yang dilakukan oleh gaya normal $\mathbf{n}$ pada benda dan usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi $\mathbf{g}$ pada benda keduanya adalah nol karena kedua gaya tegak lurus terhadap perpindahan dan memiliki komponen nol pada arah $\mathbf{d}$.



Gambar 55. Ketika sebuah benda diletakkan pada permukaan horizontal tanpa gesekan, gaya normal n dan gaya gravitasi g tidak melakukan usaha pada benda. Dalam kondisi ini, F adalah satu-satunya gaya yang melakukan usaha pada benda [1].

Tanda usaha juga bergantung pada arah F relatif terhadap d . Usaha yang dilakukan oleh gaya yang diberikan adalah positif jika vektor yang berhubungan dengan komponen $F \cos \theta$ searah dengan perpindahan. Misalnya, ketika sebuah benda diangkat, usaha yang dilakukan oleh gaya yang diberikan adalah positif karena arah gaya itu ke atas, yaitu searah dengan perpindahan. Ketika vektor yang terkait dengan komponen $F \cos \theta$ berada dalam arah berlawanan dengan perpindahan, W negatif. Misalnya, ketika sebuah benda diangkat, usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi pada benda tersebut adalah negatif. Faktor $\cos \theta$ dalam definisi W (persamaan 8.1) secara otomatis mempengaruhi tanda (positif atau negatif). Penting untuk dicatat bahwa usaha adalah suatu transfer energi; jika energi ditransfer ke sistem (benda), W positif; jika energi ditransfer dari sistem, W negatif.

Jika gaya F bekerja sepanjang arah perpindahan, maka $\theta = 0$ dan $\cos 0 = 1$. Dalam hal ini, persamaan 8.1 memberikan :

$$W = Fd$$

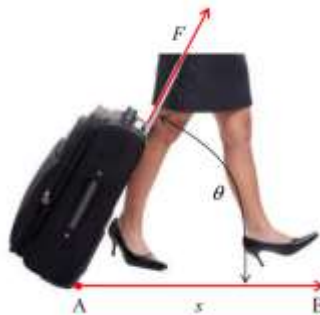
Usaha adalah besaran skalar, dan satuannya adalah gaya dikalikan dengan panjang. Oleh karena itu, satuan kerja SI adalah newton meter (N m). Kombinasi satuan ini begitu sering digunakan sehingga diberi nama sendiri yaitu joule (J).

Pertanyaan Umum: Dapatkah komponen gaya yang memberikan percepatan sentripetal pada suatu benda melakukan kerja pada benda tersebut? (Salah satu gaya tersebut adalah yang diberikan oleh Matahari di Bumi yang menahan Bumi dalam orbit melingkar mengelilingi Matahari.)

Solusi: Secara umum, sebuah partikel dapat bergerak dengan kecepatan konstan atau bervariasi di bawah pengaruh beberapa gaya. Dalam kasus ini, karena kerja adalah besaran skalar, kerja total yang dilakukan saat partikel mengalami perpindahan adalah jumlah aljabar dari jumlah kerja yang dilakukan oleh semua gaya.

Contoh soal :

Seorang pramugari menarik koper di koridor bandara dengan gaya yang setara dengan berat benda yang memiliki massa 5 kg. Arah gaya adalah $\theta = 60^\circ$ terhadap horizontal (gambar 56). Koper berpindah sejauh $s = 100$ meter. Berapa kerja yang dilakukan pramugari tersebut?



Gambar 56. Koper ditarik dengan sudut $30,0^\circ$ dengan horizontal [3].

Solusi: Untuk penyelesaiannya, kita dapat menggunakan definisi usaha sebagaimana persamaan 8.1 yaitu:

$$W = (F \cos \theta) d$$

dimana $F = m \cdot g = 5 \times 10 = 50 \text{ N}$

maka $W = (50 \text{ N})(\cos 60,0^\circ)(100 \text{ m}) = 2500 \text{ N.m}$
 $= 2500 \text{ J}$

Satu hal yang harus kita pelajari dari masalah ini adalah bahwa gaya normal n , gaya gravitasi $F_g = mg$, dan komponen ke atas dari gaya yang diberikan $(50,0 \text{ N}) (\sin 30,0^\circ)$ tidak bekerja pada koper karena gaya-gaya ini tegak lurus terhadap perpindahannya.

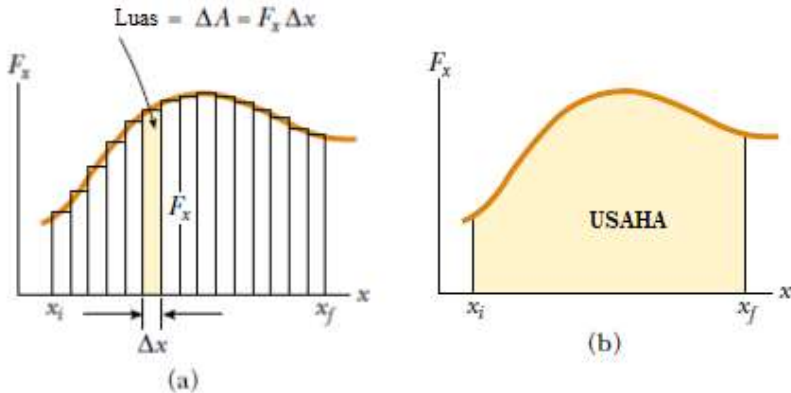
8.2.3 Usaha oleh Gaya Tidak Konstan

Pertimbangkan sebuah partikel yang dipindahkan sepanjang sumbu x di bawah aksi gaya yang bervariasi. Partikel dipindahkan searah x yang meningkat dimulai dari $x = x_i$ ke $x = x_f$. Dalam situasi seperti itu, kita tidak dapat menggunakan $W = (F \cos \theta) d$ untuk menghitung kerja yang dilakukan oleh gaya karena hubungan ini hanya berlaku jika $\mathbf{F}$ konstan dalam besar dan arah. Namun, jika kita membayangkan bahwa partikel mengalami perpindahan Δx yang sangat kecil, yang ditunjukkan pada gambar 57a, maka komponen x dari gaya F_x kira-kira konstan selama interval ini; untuk perpindahan kecil ini, kita dapat menyatakan kerja yang dilakukan oleh gaya sebagai

$$\Delta W = F_x \Delta x$$

Ini hanyalah area persegi panjang yang diarsir pada gambar 11.5a. Jika kita membayangkan bahwa kurva F_x versus x dibagi menjadi sejumlah besar interval seperti itu, maka total kerja yang dilakukan untuk perpindahan dari x_i ke x_f kira-kira sama dengan jumlah sejumlah besar suku-suku seperti:

$$W \approx \sum_{x_i}^{x_f} F_x \Delta x$$



Gambar 57. (a) Usaha yang dilakukan oleh komponen gaya F_x untuk perpindahan kecil Δx adalah $F_x \Delta x$, yang sama dengan luas persegi panjang yang diarsir. Usaha total yang dilakukan untuk perpindahan dari x_i ke x_f kira-kira sama dengan jumlah luas semua persegi panjang. (b) Usaha yang dilakukan oleh komponen F_x dari gaya yang berubah-ubah ketika partikel bergerak dari x_i ke x_f sama persis dengan luas area di bawah kurva ini [1].

Jika perpindahan dibiarkan mendekati nol, maka jumlah suku dalam jumlah meningkat tanpa batas tetapi nilai jumlah mendekati nilai tertentu yang sama dengan luas yang dibatasi oleh kurva F_x dan sumbu x dan dinyatakan dengan:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{x_i}^{x_f} F_x \Delta x = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx$$

Integral tertentu ini secara numerik sama dengan luas di bawah kurva F_x -versus- x antara x_i dan x_f . Oleh karena itu, kita dapat menyatakan usaha yang dilakukan oleh F_x ketika partikel bergerak dari x_i ke x_f sebagai:

$$W = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx \quad (8.2)$$

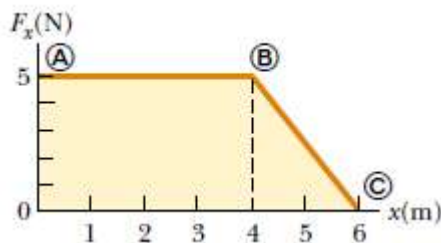
Persamaan ini direduksi menjadi persamaan 8.1 ketika komponen $F_x = F \cos \theta$ konstan.

Jika lebih dari satu gaya bekerja pada sebuah partikel, kerja total yang dilakukan hanyalah kerja yang dilakukan oleh gaya resultan. Jika kita menyatakan gaya resultan dalam arah x sebagai F_x , maka kerja total, atau kerja total, yang dilakukan saat partikel bergerak dari x_i ke x_f adalah

$$\Sigma W = W_{net} = \int_{x_i}^{x_f} (\Sigma f_x) dx \quad (8.3)$$

Contoh: Suatu gaya yang bekerja pada partikel bervariasi sesuai dengan perubahan x , seperti yang ditunjukkan pada gambar 58. Hitung kerja yang dilakukan oleh gaya saat partikel bergerak dari $x = 0$ ke $x = 6,0$ m.

Solusi: Usaha yang dilakukan oleh gaya sama dengan luas daerah di bawah kurva dari $x_A = 0$ sampai $x_C = 6,0$ m. Luas ini sama dengan luas penampang persegi panjang dari A sampai B ditambah luas penampang segitiga dari B sampai C. Luas persegi panjang adalah $(4,0) \times (5,0) \text{ N.m} = 20 \text{ J}$, dan luas segitiga adalah $\frac{1}{2} \times (2,0) \times (5,0) \text{ N.m} = 5,0 \text{ J}$. Jadi, usaha total yang dilakukan adalah 25 J .



Gambar 58. Gaya yang bekerja pada sebuah partikel adalah konstan untuk gerakan $4,0$ m pertama dan kemudian berkurang secara linier searah x dari $x_B = 4,0$ m ke $x_C = 6,0$ m. Usaha bersih yang dilakukan oleh gaya ini adalah luas daerah di bawah kurva [1].

8.2.4 Usaha Yang Dilakukan Oleh Pegas

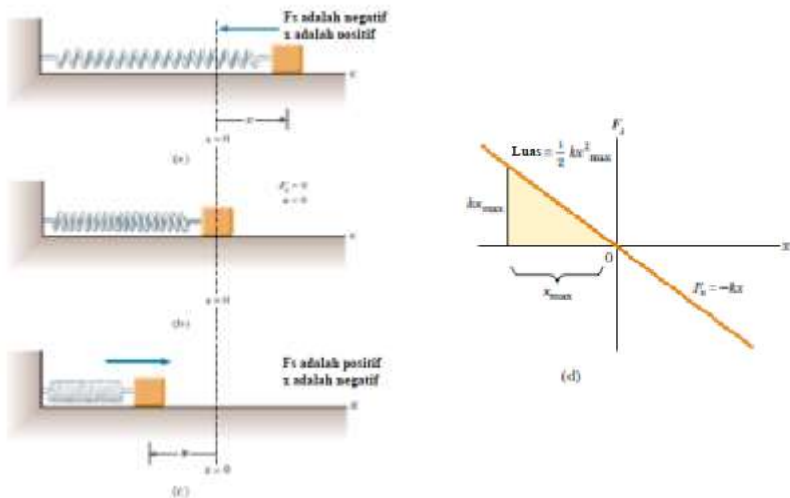
Sebuah sistem fisik umum yang gayanya bervariasi dengan posisi ditunjukkan pada gambar 59. Sebuah balok pada permukaan horizontal tanpa gesekan dihubungkan dengan pegas. Jika pegas

diregangkan atau ditekan pada jarak kecil dari konfigurasi tidak teregang (kesetimbangan), pegas memberikan gaya pada balok dengan sebesar:

$$F_s = - kx \quad (8.4)$$

di mana x adalah perpindahan balok dari posisi semula ($x = 0$) dan k adalah konstanta positif yang disebut konstanta gaya pegas. Dengan kata lain, gaya yang dibutuhkan untuk meregangkan atau menekan pegas sebanding dengan besarnya regangan atau kompresi x . Hukum gaya untuk pegas ini, yang dikenal sebagai hukum Hooke, hanya berlaku dalam kasus pembatasan perpindahan kecil. Nilai k adalah ukuran kekakuan pegas. Pegas kaku memiliki nilai k besar, dan pegas lunak memiliki nilai k kecil.

Tanda negatif pada persamaan 8.4 menandakan bahwa gaya yang diberikan oleh pegas selalu berlawanan arah dengan perpindahan. Ketika $x > 0$ seperti pada gambar 59a, gaya pegas diarahkan ke kiri, dalam arah x negatif. Ketika $x < 0$ seperti pada gambar 59c, gaya pegas diarahkan ke kanan, dalam arah x positif. Ketika $x = 0$ seperti pada gambar 59b, pegas tidak meregang dan $F_s = 0$. Karena gaya pegas selalu bekerja menuju posisi setimbang ($x = 0$), kadang-kadang disebut gaya pemulih. Jika pegas ditekan sampai balok berada pada titik $-x_{\max}$ dan kemudian dilepaskan, balok bergerak dari $-x_{\max}$ melalui titik nol ke $+x_{\max}$. Jika pegas malah diregangkan sampai balok berada di titik $x_{\max}$ dan kemudian dilepaskan, balok bergerak dari $+x_{\max}$ melalui titik nol ke $-x_{\max}$. Kemudian berbalik arah, kembali ke $+x_{\max}$, dan terus berosilasi bolak-balik.



Gambar 59. Gaya yang diberikan oleh pegas pada sebuah balok bervariasi dengan perpindahan balok sejauh x dari posisi setimbang $x = 0$. (a) Ketika x positif (pegas regangan), gaya pegas diarahkan ke kiri. (b) Ketika x adalah nol (panjang alami pegas), gaya pegas adalah nol. (c) Ketika x negatif (pegas terkompresi), gaya pegas diarahkan ke kanan. (d) Grafik F_s versus x untuk sistem balok-pegas. Usaha yang dilakukan oleh gaya pegas saat balok bergerak dari $-x_{\max}$ ke 0 adalah luas segitiga yang diarsir, $\frac{1}{2}kx_{\max}^2$ [1]

Misalkan balok didorong ke kiri sejauh $x_{\max}$ dari kesetimbangan dan kemudian dilepaskan. Maka kita dapat menghitung usaha W_s yang dilakukan oleh gaya pegas ketika balok bergerak dari $x_i = -x_{\max}$ ke $x_f = 0$. Menerapkan Persamaan 8.2 dan dengan asumsi balok dapat diperlakukan sebagai partikel, kita peroleh :

$$W_s = \int_{x_i}^{x_f} F_s dx = \int_{-x_{\max}}^0 (-kx) dx = \frac{1}{2} kx_{\max}^2 \quad (8.5)$$

di mana kita telah menggunakan integral $\int x^n dx = x^{n+1}/(n+1)$ dengan $n = 1$. Usaha yang dilakukan oleh gaya pegas adalah positif karena gaya searah dengan perpindahan (keduanya ke kanan). Ketika kita mempertimbangkan pekerjaan yang dilakukan oleh gaya pegas ketika balok bergerak dari $x_i = 0$ ke $x_f = x_{\max}$, kita menemukan

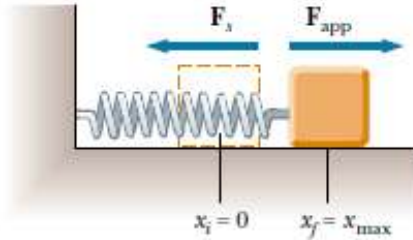
bahwa $W_s = -\frac{1}{2}kx_{\max}^2$ karena untuk bagian gerak ini perpindahannya ke kanan dan gaya pegas ke kiri. Oleh karena itu, usaha total yang dilakukan oleh gaya pegas saat balok bergerak dari $x_i = -x_{\max}$ ke $x_f = x_{\max}$ adalah nol.

Gambar 59d adalah plot F_s versus x . Usaha yang dihitung dalam Persamaan 8.5 adalah luas segitiga yang diarsir, sesuai dengan perpindahan dari $-x_{\max}$ ke 0. Karena segitiga memiliki alas $x_{\max}$ dan tinggi $kx_{\max}$, luasnya adalah $\frac{1}{2}kx_{\max}^2$, yaitu usaha yang dilakukan oleh pegas seperti yang diberikan oleh Persamaan 8.5.

Jika balok mengalami perpindahan sembarang dari $x = x_i$ ke $x = x_f$, usaha yang dilakukan oleh gaya pegas adalah

$$W_s = \int_{x_i}^{x_f} (-kx)dx = \frac{1}{2}kx_i^2 - kx_f^2 \quad (8.6)$$

Misalnya, jika pegas memiliki konstanta gaya 60 N/m dan ditekan 3 cm dari kesetimbangan, kerja yang dilakukan oleh gaya pegas saat balok bergerak dari $x_i = 3,0$ cm ke posisi tidak meregang $x_f = 0$ adalah $2,7 \times 10^{-2}$ J. Dari Persamaan 60 kita juga melihat bahwa usaha yang dilakukan oleh gaya pegas adalah nol untuk setiap gerak yang berakhir di tempat asalnya ($x_i = x_f$).



Gambar 60. Sebuah balok ditarik dari $x_i = 0$ ke $x_f = x_{\max}$ pada permukaan tanpa gesekan dengan gaya F_{app} . Jika proses dilakukan dengan sangat lambat, gaya yang diberikan sama dan berlawanan dengan gaya pegas setiap saat [1].

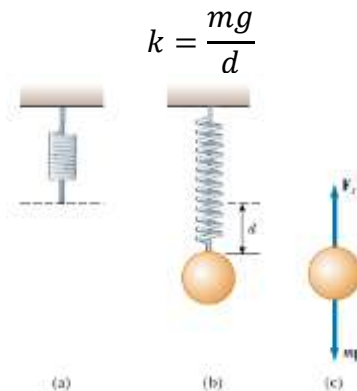
Persamaan 8.5 dan 8.6 menggambarkan usaha yang dilakukan oleh pegas pada balok. Sekarang mari kita lihat usaha yang dilakukan pada pegas oleh gaya dari luar yang meregangkan pegas dengan sangat lambat dari $x_i = 0$ ke $x_f = x_{\max}$, seperti pada

gambar 60. Kita dapat menghitung usaha ini dengan mencatat bahwa pada sembarang nilai perpindahan, gaya yang diterapkan F_{app} sama dan berlawanan dengan gaya pegas F_s , sehingga $F_{app} = -(-kx) = kx$. Oleh karena itu, usaha yang dilakukan oleh gaya yang diterapkan ini (gaya dari luar) adalah

$$W_{F_{app}} = \int_0^{x_{max}} F_{app} dx = \int_0^{x_{max}} kx dx = \frac{1}{2} kx_{max}^2$$

Usaha ini sama dengan negatif dari usaha yang dilakukan oleh gaya pegas untuk perpindahan ini.

Contoh: Teknik umum yang digunakan untuk mengukur konstanta gaya pegas dijelaskan pada gambar 61. Pegas digantung secara vertikal, dan sebuah benda bermassa m diikatkan pada ujung bawahnya. Di bawah aksi "beban" mg , pegas membentang sejauh d dari posisi setimbangnya. Karena gaya pegas ke atas (berlawanan dengan perpindahan), gaya ini harus menyeimbangkan gaya gravitasi ke bawah mg ketika sistem dalam keadaan diam. Dalam hal ini, kita dapat menerapkan hukum Hooke untuk memberi $[F_s] = kd = mg$ atau



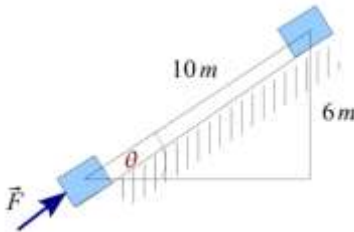
Gambar 61. Menentukan konstanta gaya k dari pegas. Perpanjangan d disebabkan oleh benda yang menempel, yang memiliki berat mg . Karena gaya pegas menyeimbangkan gaya gravitasi, maka $k = mg/d$ [1]

Sebagai contoh, jika sebuah pegas ditarik 2,0 cm oleh sebuah benda tersuspensi yang bermassa 0,55 kg, maka konstanta gaya adalah

$$k = \frac{mg}{d} = \frac{(0.55 \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2)}{2.0 \times 10^{-2} \text{ m}} = 2.7 \times 10^2 \text{ N/m}$$

Latihan Soal

1. Sebuah balok dengan massa 20 kg dinaikkan dengan laju konstan dari dasar ke puncak bidang miring yang panjangnya 10 m dan tingginya 6 m. Jika permukaan bidang miring licin, tentukanlah : a). Besar gaya sejajar bidang miring yang mendorong balok, b). Besar usaha yang dilakukan gaya tersebut terhadap balok.



2. Sebuah gaya 120 N meregangkan pegas sejauh 0,03 m terhadap panjang tak regangnya. Berapa usaha yang harus dilakukan untuk menekan pegas sejauh 5 cm dari Panjang awal?
3. Sebuah neraca menggunakan pegas sebagai sensor massa. Ketika digunakan untuk menimbang sayuran yang bermassa 4,5 kg, pegas neraca memendek sejauh 0,25 cm. Tentukan usaha yang dilakukan untuk menekan pegas neraca ketika menimbang buah-buahan 10 kg.

DAFTAR PUSTAKA

- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Fundamental of Physics, 8th Edition, John Wiley and Son Inc., 2007
- David Halliday, Robert Resnick, Jearl Walker, Fundamental of Physics, 9th Edition, John Wiley and Son Inc., 2011
- Mikrajuddin Abdullah, Fisika Dasar I, Institut Teknologi Bandung, 2016

BAB 9

ENERGI KINETIK, ENERGI POTENSIAL, DAN HUKUM KEKEKALAN ENERGI

Oleh Humaidillah Kurniadi Wardana

9.1 Pengertian Energi

Jika suatu sistem dapat melakukan kerja, maka sistem tersebut dikatakan memiliki energi. Ketika suatu sistem melakukan kerja, sistem tersebut mengeluarkan energi yang sebanding dengan jumlah kerja yang dilakukan.

$$\sum E_{diberikan} = \sum E_{dilakukan} \quad \dots (1)$$

Sehingga konsep energi erat kaitannya dengan konsep usaha. Maka secara sederhana kemampuan suatu sistem untuk melakukan kerja didefinisikan sebagai energi (Giancoli, 2014). Energi adalah besaran skalar yang menggambarkan keadaan atau kondisi suatu benda (Halliday et al., 2011), (Serway and Jewett Jr, 2014).

Energi memiliki kemampuan untuk berubah bentuk seperti:

- a) energi otot: energi yang dihasilkan oleh otot makhluk hidup akibat dari menggerakkan organ tubuh untuk melakukan aktivitas, contoh: olah raga angkat besi, bersepeda, lain-lain
- b) energi panas: perpindahan energi partikel yang memiliki temperatur tinggi ke rendah, contoh: solder listrik, kompor listrik, setrika dan lain-lain.
- c) energi cahaya: energi berupa pancaran gelombang elektromagnetik, contoh: cahaya matahari, lampu pijar dan lain-lain.
- d) energi listrik: energi yang diperoleh dari pergerakan elektron, contoh: penggunaan peralatan listrik yaitu tv, kulkas, setrika dan lain-lain.
- e) energi kimia: energi hasil dari senyawa kimia, contoh: pemanfaatan cahaya matahari pada proses fotosintesis,

penggunaan baterai untuk menghidupkan senter, dan lain-lain.

- f) energi bunyi: energi yang dilepaskan ketika sebuah partikel bergetar di dekat sumber suara, contoh: bel listrik, klakson, alat musik yang didengarkan dan lain-lain.
- g) energi nuklir: energi hasil dari reaksi fusi dan fisi atom serta zat radioaktif seperti uranium, contoh: penggunaan unsur radioaktif pada PLTN, bahan peledak yang menggunakan nuklir dan lain-lain.
- h) energi kinetik: energi benda bermassa yang dipengaruhi oleh gaya gerak, contoh: gerakan memutar pada gasing, gerak rotasi dan lain-lain.
- i) energi potensial: energi hasil perubahan kedudukannya, contoh: ayunan, trampolin, dan lain-lain.

9.2 Energi Kinetik (E_k)

Perhatikan Gambar 62:



Gambar 62. Energi Kinetik pada Balok

Ketika sebuah gaya F diterapkan pada balok bermassa m yang bergerak dengan kecepatan v_0 dan bergerak sejauh x , maka gaya tersebut dikatakan melakukan usaha. Besarnya usaha tersebut:

$$W = F \cdot x \quad \dots (2)$$

dimana F berdasarkan hukum Newton 2:

$$F = m \cdot a \quad \dots (3)$$

substitusikan persamaan (2) ke dalam persamaan (2), maka:

$$W = m \cdot a \cdot x \quad \dots (4)$$

dengan a merupakan percepatan, yang dapat dicari menggunakan persamaan GLBB:

$$v_1^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot x$$

$$x = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2.a} \quad \dots (5)$$

maka substitusikan persamaan (5) ke dalam persamaan (4):

$$W = m.a. \left(\frac{v_1^2 - v_0^2}{2.a} \right)$$

$$W = \frac{1}{2}m.v_1^2 - \frac{1}{2}m.v_0^2 \quad \dots (6)$$

$$W = Ek_1 - Ek_0 = \Delta Ek \quad \dots (7)$$

Persamaan (7) dikenal sebagai teorema usaha energi bentuk pertama.

Besarnya $\frac{1}{2}m.v^2$ dinamakan sebagai energi kinetik (Ek) sehingga persamaannya adalah:

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \quad \dots (8)$$

Keterangan:

Ek : Energi Kinetik (joule)

m : Massa Benda (Kg)

v : Kecepatan Benda (m/s)

Jadi usaha diperlukan untuk memindahkan benda bermassa tertentu dari keadaan diam ke kecepatan tertentu disebut energi kinetik (Ek). Terlepas dari bentuk gerak benda, energi kinetik tidak pernah negatif. Karena energi kinetik merupakan fungsi kuadrat dari kecepatan. Energi kinetik suatu benda menjadi empat kali lipat ketika kecepatan awalnya dua kali. (Abdullah, 2016).

Teorema usaha energi juga dapat dicari dengan proses integral yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$W = \int_{x_0}^{x_1} F dx \quad \dots (9)$$

berdasarkan hukum Newton

$$F = m.a$$

$$F = m \frac{dv}{dt} = m \cdot \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt}$$

$$F = m.v. \frac{dv}{dx}$$

maka, persamaan (9) dapat dituliskan menjadi:

$$W = \int_{x_0}^{x_1} m.v. \frac{dv}{dx} . dx$$

$$W = \int_{x_0}^{x_1} m.v. dv$$

$$W = \int_{v_0}^{v_1} m \cdot v \cdot dv$$

$$W = \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

$$W = Ek_1 - Ek_0 = \Delta Ek$$

Contoh soal:

Seorang pelari cepat bermassa 70 kg dalam keadaan diam, saat start, $a = 2 \text{ m/s}^2$. Hitunglah energi kinetik setelah 4 sekon?

Jawaban:

Diket : $m = 70 \text{ kg}$ $a = 2 \text{ m/s}^2$
 $v_0 = 0 \text{ m/s}$ $t = 4 \text{ s}$

Ditanya : $\Delta Ek = \dots?$

Jawab : $\Delta Ek = Ek_1 - Ek_0$

$$\Delta Ek = \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

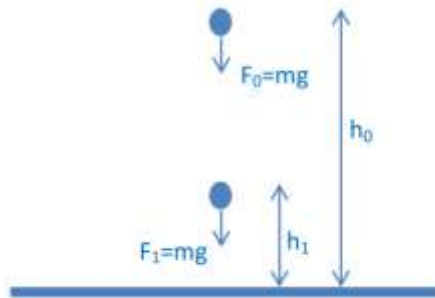
dengan $v_1 = v_0 + a \cdot t = 0 + (2) \cdot (4) = 8 \text{ m/s}$

$$\Delta Ek = \frac{1}{2} \cdot 70 \cdot 8^2 - 0$$

$$\Delta Ek = 2240 \text{ J}$$

9.3 Energi Potensial Gravitasi (Ep)

Perhatikan Gambar 63:



Gambar 63. Contoh Energi Potensial

Jika suatu benda dengan massa m dengan ketinggian mula-mula (h_0) dari lantai kemudian dijatuhkan sehingga ketinggiannya menjadi (h_1), maka besarnya usaha benda tersebut:

$$W = \int_{h_0}^{h_1} F \, dh \quad \dots (10)$$

$$W = - \int_{h_0}^{h_1} m \cdot g \, dh$$

$$W = -m \cdot g \int_{h_0}^{h_1} dh$$

$$W = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_1 \quad \dots (11)$$

$$W = Ep_0 - Ep_1 = \Delta Ep \quad \dots (12)$$

Persamaan (12) dikenal sebagai teorema usaha energi bentuk kedua.

Besarnya $m \cdot g \cdot h$ dinamakan sebagai energi potensial (Ep) sehingga persamaannya adalah:

$$Ep = m \cdot g \cdot h \quad \dots (13)$$

Keterangan:

Ep : Energi Potensial (Joule)

m : Massa Benda (Kg)

g : Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

h : Tinggi benda (m)

Jadi, energi potensial gravitasi (Ep) adalah energi yang terjadi akibat perpindahan tempat (posisi).

Contoh soal:

Batu bata bermassa 5 kg dijatuhkan oleh tukang bangunan dari ketinggian 20 m berkecepatan 20 m/s dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, Hitunglah perubahan energi potensialnya saat $h = 5$ meter dari tanah!

Jawaban:

Diket : $m = 5 \text{ kg}$

$h_0 = 20 \text{ m}$

$v_0 = 20 \text{ m/s}$

$g = 10 \text{ m/s}^2$

$h_1 = 5 \text{ m}$

Ditanya : $\Delta Ep = \dots?$

Jawab :

$$\Delta Ep = Ep_0 - Ep_1$$

$$= m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_1$$

$$= m \cdot g \cdot (h_0 - h_1)$$

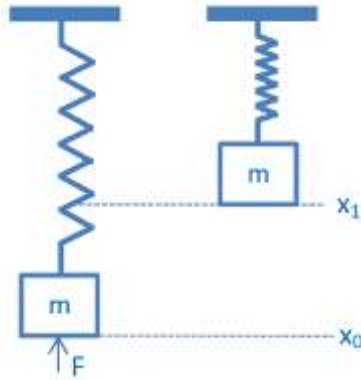
$$= 5 \times 10 \times (20 - 5)$$

$$= 50 \times 15$$

$$= 750 \text{ J}$$

9.4 Energi Potensial Pegas

Perhatikan Gambar 64:



Gambar 64. Usaha Oleh Gaya F Untuk

Menekan Pegas Sejauh x

Jika suatu balok bermassa m diikatkan pada suatu pegas, apabila balok ditekan dengan gaya F sejauh x maka besarnya usaha yang dilakukan balok tersebut adalah:

$$W = \int_{x_0}^{x_1} F \, dx$$

Berdasarkan hukum Hooke gaya pemulih benda elastis dalam hal ini pegas adalah:

$$F = -kx \quad \dots(14)$$

sehingga,

$$\begin{aligned} W &= \int_{x_0}^{x_1} -kx \, dx \\ W &= -k \int_{x_0}^{x_1} x \, dx \\ W &= -k \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot x_1^2 - \frac{1}{2} \cdot x_0^2 \right) \\ W &= \frac{1}{2} kx_0^2 - \frac{1}{2} kx_1^2 \\ W &= Ep_0 - Ep_1 \end{aligned}$$

Besarnya $\frac{1}{2}kx^2$ dinamakan energi potensial pegas (Ep_{pegas}) sehingga persamaannya adalah:

$$Ep_{pegas} = \frac{1}{2}kx^2 \quad \dots (15)$$

Keterangan:

Ep_{pegas} : Energi Potensial pegas (Joule)

k : Konstanta Pegas (N/m)

x : jarak (m)

Contoh soal:

Sebuah pegas dengan konstanta 200 N/m, jika pegas tersebut panjangnya 0,4 m menjadi 0,6 m saat dipasang beban. Hitunglah energi potensial pegas?

Jawaban:

Diket : $k = 200 \text{ N/m}$

$x_0 = 0,4 \text{ m}$

$x_1 = 0,6 \text{ m}$

Ditanya : $\Delta Ep_{pegas} = \dots?$

Jawab :

$$\Delta Ep_{pegas} = Ep_1 - Ep_0$$

$$\Delta Ep_{pegas} = \frac{1}{2}kx_0^2 - \frac{1}{2}kx_1^2$$

$$\Delta Ep_{pegas} = \frac{1}{2}k(x_0^2 - x_1^2)$$

$$\Delta Ep_{pegas} = \frac{1}{2}200(0,4^2 - 0,6^2)$$

$$\Delta Ep_{pegas} = \frac{1}{2}200(0,16 - 0,36)$$

$$\Delta Ep_{pegas} = -20 \text{ J}$$

9.5 Hukum Kekekalan Energi

Hubungan dua usaha dan energi dari perumusan di atas:

$$W = \frac{1}{2}m \cdot v_1^2 - \frac{1}{2}m \cdot v_0^2 \quad \dots (6) \text{ dan}$$

$$W = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_1 \quad \dots (11)$$

didapatkan hukum konservasi energi mekanik (EM):

$$\frac{1}{2}m \cdot v_1^2 - \frac{1}{2}m \cdot v_0^2 = m \cdot g \cdot h_0 - m \cdot g \cdot h_1$$

$$\frac{1}{2}m \cdot v_1^2 + m \cdot g \cdot h_1 = m \cdot g \cdot h_0 + \frac{1}{2}m \cdot v_0^2$$

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_0 + Ep_0$$

$$EM_1 = EM_0 \quad \dots (16)$$

Persamaan (14) dikenal dengan hukum kekekalan energi mekanik, yaitu energi mekanik suatu benda bernilai kekal jika hanya bekerja gaya konservatif saja. Gaya konservatif adalah gaya yang berdasarkan perubahan kedudukan (posisi), contoh: gaya gravitasi, gaya listrik Coulomb, gaya pegas, gaya antar molekul dan sebagainya.

Hukum kekekalan energi: bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan melainkan hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain.

Contoh soal:

Putri bermassa $m = 5 \text{ kg}$ bermain perosotan yang memiliki ketinggian $h_a = 8 \text{ m}$ dari tanah. Tentukan kecepatan putri saat tiba didasar!

Jawaban:

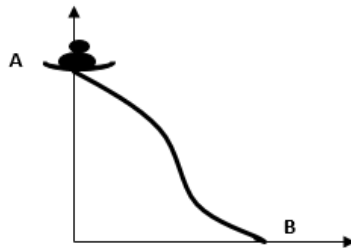
Diket : $m = 5 \text{ kg}$

$h_a = 8 \text{ m}$

Ditanya : $V_b = \dots?$

Jawab :

Perhatikan gambar di bawah ini maka berlaku hukum kekekalan energi.



Gambar 65. Anak Meluncur dari Ketinggian

$$E_A = E_B$$

$$E_{pA} + E_{kA} = E_{pB} + E_{kB}$$

$$m \cdot g \cdot h_A + \frac{1}{2} m \cdot V_A^2 = m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} m \cdot V_B^2$$

$$m \cdot g \cdot h_A + 0 = 0 + \frac{1}{2} m \cdot V_B^2$$

$$g \cdot h_A = \frac{1}{2} V_B^2$$

$$V_B^2 = 2 g \cdot h_A$$

$$V_B = \sqrt{2 g \cdot h_A}$$

$$V_B = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 8}$$

$$V_B = \sqrt{160} = 12,65 \text{ m/s}$$

Latihan Soal

1. Batu bata bermassa 900 gram dijatuhkan dari rumah berlantai dua dengan tinggi 15 meter dari tanah. Hitunglah energi potensial batu bata sampai berhenti ke tanah!
2. Seorang pelajar bermassa 3 kg berada di ketinggian 15 m tidak sengaja menjatuhkan tas yang berisi buku. Kemudian tas tidak sengaja tertangkap oleh temannya yang berada di ketinggian 3m, tentukan kecepatan saat ditangkap!
3. Sebuah mobil dengan massa 2.500 kg, pada awalnya bergerak dengan kecepatan 100 km/jam lalu melakukan pengereman mendadak menghindari jalan yang berlubang sehingga kecepatannya menjadi 50 km/jam dan berhenti pada jarak 15 m. Tentukan usaha mobil pada gaya pengereman!
4. Balok bermassa 3 kg bergerak pada lantai licin dan menumbuk pegas yang memiliki konstanta 450 N/m. Balok berhenti bergerak sejauh 5 cm setelah menekan pegas, hitunglah kecepatan balok saat awal mula pegas ditekan!
5. Sebuah bola dalam keadaan diam dengan massa 2 kg jatuh sejauh 40 cm sebelum mengenai pegas yang terpasang vertikal. Jika bola menekan pegas sejauh 20 cm dan berhenti. Tentukan nilai konstanta pegas!
6. Balok meluncur ke bawah di atas bidang miring yang membentuk sudut 30° terhadap horisontal dengan panjang 3 m. Jika kecepatannya 4 m/s saat tiba di tanah, tentukan koefisien gesekan antara balok dengan bidang miring!
7. Seorang pebasket nasional melempar bola basket dengan massa 0,5 kg dilempar ke atas dengan kecepatan mula-mula 15 m/s dari ketinggian 3 meter. Hitunglah ketinggian bola pada saat kecepatannya menjadi 5 m/s jika $g=10 \text{ m/s}^2$!
8. Seorang anak kecil bermain ayunan dengan panjang tali 4 meter. Jika tinggi maksimum ayunan adalah 2 meter di atas permukaan tanah dan titik terendah ayunan 60 cm.

Hitunglah kelajuan maksimum yang dialami anak kecil tersebut!

9. Benda bermassa 15 kg bergerak berkecepatan 20 m/s pada bidang datar. Jika koefisien gesekan kinetik 0,5. Hitunglah jaraknya sampai benda berhenti!
10. Cristiano Ronaldo menendang bola hingga mencapai ketinggian 8 meter. Jika massa bola sepak adalah 450 gram, tentukan usaha (kerja) yang dilakukan oleh gaya gravitasi bumi pada bola dari posisi ditendang hingga di puncak lintasan!

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. 'Fisika Dasar I', *Kampus Ganesha ITB*.
- David, H., Resnick, R. and Walker, J. 2011. 'Fundamentals Of Physics Ninth Edition', *John Wiley & Sons, Inc, United States of Amerika*.
- Giancoli, D. C. 2014. *Physics: principles with applications, Seventh edition, Pearson, Boston*. doi: 10.1002/9781118032992.ch2.
- Serway, R. A. and Jewett, J. W. 2014. 'Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Ninth Edition', in *Physical Sciences: Mary Finch, Boston*.

BAB 10

MOMENTUM LINIER DAN IMPULS

Oleh Hadi Santoso

10.1 Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita dikelilingi benda-benda yang bergerak. Benda-benda bergerak ini memiliki massa dan kecepatan yang berbeda-beda, contohnya pada kendaraan seperti mobil. Mobil dapat bergerak secara linier dengan kecepatan tertentu dan massa (bobot) dari berbagai jenis mobil akan mempengaruhi berbagai hal terkait dengan konsekuensi dari gerakan mobil tersebut. Contohnya ketika sebuah bus dan sebuah sedan bergerak dengan kecepatan yang sama yakni 60 km/jam, maka akibat bobotnya maka kebutuhan pengereman untuk menghentikan kendaraan menjadi kecepatan 0 km/jam juga akan berbeda. Gaya dan usaha yang dibutuhkan untuk menghentikan bus akan lebih besar dibandingkan dengan sedan. Hal ini karena bobot benda yang bergerak secara linier akan menimbulkan hal yang fisika sebut sebagai **momentum** (Santoso, Hadi. 2022).

Dalam Ilmu Fisika, momentum merupakan suatu besaran turunan yang memiliki peran penting karena merupakan besaran yang memiliki kaitan penting terhadap hubungan massa, waktu, kecepatan, percepatan, dan gaya yang berimplikasi pada besaran lainnya yakni Impuls. Pada materi bab ini akan dipelajari mengenai momentum dan impuls yang ditimbulkan dari implikasi dari gerakan satu buah benda atau lebih yang bergerak secara linier.

10.2 Momentum Linier

Momentum merupakan sebuah kondisi benda bergerak yang cenderung melanjutkan gerakannya tersebut pada kecepatan yang konstan. Telah dipaparkan dalam pendahuluan diatas yang menjelaskan bahwa objek benda yang bergerak secara linier akan menimbulkan momentum yang dipengaruhi oleh massa objek dan kecepatan objek tersebut. Kecepatan objek yang bergerak secara

linier menyebabkan segala hal terkait dengan besarnya mematuhi aturan gerak linier pada gerak 2 dimensi.

Pada pengantar diawal telah disebutkan bahwa Gaya dan usaha yang dibutuhkan untuk menghentikan bus akan lebih besar dibandingkan dengan sedan. Hal ini karena bobot benda yang bergerak secara linier akan menimbulkan hal yang fisika sebut sebagai momentum. Nilai sebuah momentum dari suatu benda akan sebanding dengan hasil kali antara besaran massa dari benda tersebut dengan nilai besaran kecepatannya, atau dapat ditulis dengan;

$$p = m \cdot v \quad (10.1)$$

dimana; p : momentum (satuanannya: kg.m/s)
 m : massa benda (satuanannya: kg)
 v : kecepatan benda (satuanannya: m/s)

Momentum adalah salah satu dari besaran vektor, sehingga besaran ini sangat dipengaruhi oleh arah pada besaran ini sangat berpengaruh dalam menentukan hasilnya. Arah vektor dari sebuah momentum dipengaruhi oleh arah kecepatan benda. Jika benda memiliki kecepatan pada arah sumbu x, y atau z maka;

$$p_x = m \cdot v_x \quad (10.2)$$

$$p_y = m \cdot v_y \quad (10.3)$$

$$p_z = m \cdot v_z \quad (10.4)$$

Bila terdapat dua buah mobil yang identik bergerak bersamaan terhadap lintasan linier (sumbu x) dengan kecepatan yang berbeda, maka kedua mobil tersebut akan dipengaruhi massa mobil-mobil itu sendiri yang notabene tidak akan berubah nilainya, sedangkan pengaruh lainnya pada kecepatan kedua mobil tersebut. Semakin besar kecepatan mobil, maka momentumnya akan semakin besar.



Gambar 66. Dua buah mobil F1 yang identik
Sumber : motorsport.com/f1

Contoh fenomena; 2 buah mobil identik seperti mobil F1 pada gambar 66, mobil A dan mobil B, mobil A bergerak dengan kecepatan 10 km/jam, sedangkan mobil B bergerak dengan kecepatan mencapai 80 km/jam. Maka momentum mobil B akan lebih besar dari mobil A, sehingga kecenderungan mobil B untuk melanjutkan gerakannya pada kecepatan 80 km/jam jauh lebih dibandingkan mobil A. Mobil A akan mudah berhenti dibandingkan mobil B. Hal tersebut dipengaruhi oleh momentum, dikarenakan semakin besar kecepatan mobil, maka momentumnya akan semakin besar.

10.3 Impuls

Kita telah mengetahui bahwa keadaan benda bergerak dipengaruhi oleh momentum benda tersebut. Telah diketahui pula bahwa hal yang menyebabkan suatu benda dapat bergerak adalah karena terdapat adanya gaya (tarikan atau dorongan) kepada benda tersebut.



Gambar 67. Impuls pada proses bermain golf
Sumber : olahragagolf.com

Misalnya sebuah bola golf (seperti gambar 67) yang semula tidak bergerak (diam) akan bergerak seketika dikarenakan adanya gaya dorong yang diberikan oleh stik golf yang bekerja pada permukaan bola golf tersebut. Gaya dorong stik golf pada permukaan bola golf mengalami kontak dengan waktu yang sangat singkat. Gaya dengan waktu yang singkat ini disebut sebagai gaya impulsif.

Impulsif atau **Impuls** merupakan hasil dari perkalian antara gaya yang bekerja terhadap suatu benda dengan selang waktu lamanya gaya tersebut bekerja pada benda yang dikenainya. Secara matematis impuls dapat ditulis sebagai berikut;

$$I = F \cdot \Delta t \quad (10.5)$$

Dimana ; I : Impuls (N.s)

F : Gaya (N)

Δt : Selang waktu terjadinya gaya implusif (s)

Melalui persamaan matematis diatas, kita dapat membuat sebuah Analisa dari imuls yang terjadi pada sebuah benda. Misalkan ada sebuah bola di yang akan ditendang. Disajikan data sebagai berikut:

Tabel 6. Hubungan gaya, waktu dan impuls

Gaya (N)	Waktu (s)	Impuls (N.s)
100	1	100
50	2	100
20	5	100
10	10	100
5	20	100

Berdasarkan contoh fenomena pada tabel 6 menunjukkan bahwa berbagai kondisi dengan hasil akhir nilai impuls yang selalu pada nilai 100 Ns. Dapat diamati bahwa dengan kondisi nilai impuls yang sama, namun terdapat variasi pada nilai gaya dan selang waktu terjadinya pada benda. Tabel 6 memperlihatkan bahwa semakin kecil selang waktu gaya sentuh implusif maka semakin besar nilai gaya yang terjadi pada benda tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa impuls 100 Ns dari selang waktu kontak yang sangat singkat akan berdampak pada nilai gaya yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa impuls sangat dipengaruhi oleh besar gaya yang terjadi pada suatu benda terhadap selang waktu menyentuhnya gaya tersebut pada benda yang dikenainya.

10.4 Hubungan Momentum Linier dan Impuls

Suatu benda yang memiliki massa m dan bekerja gaya F yang bernilai konstan, maka setelah waktu Δt benda tersebut bergerak dengan kecepatan linier sesuai dengan rumus Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB):

$$v_t = v_o + a \cdot \Delta t \quad (10.6)$$

$$\Rightarrow v_t = v_o + \frac{F}{m} \cdot \Delta t \quad (10.7)$$

$$\Rightarrow v_t - v_o = \frac{F}{m} \cdot \Delta t \quad (10.8)$$

$$\Rightarrow F \cdot \Delta t = (m \cdot v_t) - (m \cdot v_o) \quad (10.9)$$

Berdasarkan persamaan 10.1 dan 10.5 maka diperoleh;

$$I = \Delta p \quad (10.10)$$

Berdasarkan perubahan persamaan matematis diatas menunjukan adanya hubungan antara impuls dan terjadinya perubahan momentum linier.



Gambar 68. Aplikasi perubahan momentum pada sepakbola
Sumber : quoracdn.net/

Contoh fenomena hubungan momentum dan impuls adalah pada permainan sepakbola seperti gambar 68, dimana ketika seorang pemain (*A*) menendang bola dengan kecepatan 20 m/s ke arah pemain lain (*B*). Selanjutnya *B* menerima bola tersebut dengan gaya kontak implusif berupa sundulan dengan selang waktu tertentu, maka kecepatan bola tersebut melesat setelah disundul oleh *B* adalah tergantung dari Gaya dan selang waktu yang diberikan. Bila *B* memberikan gaya yang besar dengan selang waktu yang sangat singkat maka akan memberikan kecepatan lesatan bola yang jauh lebih besar dibandingkan kecepatan bola yang ditendang oleh *A*.

10.5 Hukum Kekekalan Momentum

Pada kondisi benda *A* dan *B* yang sedang bergerak, dan misalkan masing-masing benda bermassa m_A dan m_B , serta bergerak segaris dengan kecepatan v_A dan v_B dengan $v_A > v_B$,

sehingga terjadi sebuah tumbukan. Setelah tumbukan terjadi, maka kecepatan benda berubah menjadi v_A' dan v_B' . Bila F_{BA} merupakan gaya dari benda A yang digunakan untuk menumbuk benda B dan F_{AB} merupakan gaya dari benda B yang digunakan untuk menumbuk benda A, maka menurut hukum III Newton:

$$F_{AB} = - F_{BA} \quad (10.11)$$

Bila dipengaruhi waktu yang sama ketika tumbukan maka;

$$\Rightarrow F_{AB} \cdot \Delta t = - F_{BA} \cdot \Delta t \quad (10.12)$$

Maka;

$$\Rightarrow I_A = - I_B \quad (10.13)$$

Berdasarkan persamaan 10.10 maka;

$$\Rightarrow \Delta p_A = - \Delta p_B \quad (10.14)$$

$$\Rightarrow m_A \cdot (v_A' - v_A) = - m_B \cdot (v_B' - v_B) \quad (10.15)$$

$$\Rightarrow m_A \cdot v_A' - m_A \cdot v_A = - m_B \cdot v_B' + m_B \cdot v_B \quad (10.16)$$

Secara matematis persamaan 13.16 dapat ditulis dengan;

$$\Rightarrow m_A \cdot v_A + m_B \cdot v_B = m_A \cdot v_A' + m_B \cdot v_B' \quad (10.17)$$

Dari persamaan diatas didapati bahwa nilai momentum dari benda A dan benda B sebelum dan sesudah tumbukan bernilai tetap. Hal ini merupakan **Hukum Kekekalan Momentum Linier**.

Aplikasi dari hukum kekekalan momentum adalah kategori tumbukan berdasarkan nilai koefisien restitusi. Koefisien Restitusi atau biasa disimbolkan dengan huruf "e", merupakan nilai tingkat kelentingan suatu tumbukan. Koefisien restitusi dapat pula diartikan sebagai perbandingan antara perubahan kecepatan benda dalam keadaan sesudah dan sebelum terjadinya tumbukan. Tumbukan merupakan pertemuan dua benda atau lebih yang relatif bergerak seperti gambar 69 pada tumbukan antar bola billiard. Pada tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum. Namun kondisi kekekalan energi mekanik dapat diabaikan dikarenakan dalam proses tumbukan akan muncul adanya energi kalor, atau terjadi adanya perubahan bentuk benda.



Gambar 69. Proses kekekalan momentum pada tumbukan bola billiard
(sumber : www.fisikaonline.com)

Dalam kondisi fenomena tumbukan dengan gaya total pada sistem bernilai nol maka;

$$\frac{d\vec{p}_{total}}{dt} = 0 \quad (10.18)$$

Persamaan 13.18 menyatakan bahwa kondisi nilai gaya total bernilai nol bila dalam kondisi satuan waktu terjadinya tumbukan memiliki nilai momentum yang tetap. Hal ini tentu saja dengan syarat bahwa tidak ada gaya luar yang bekerja selama selang waktu terjadinya momentum. Dalam kondisi ini ketika dilakukan penjumlahan semua nilai momentum sebelum dan sesudah tumbukan maka akan menunjukkan persamaan 10.19 berikut;

$$\vec{p}_{total} = \vec{p}'_{total} \quad (10.19)$$

Kondisi nilai momentum yang tetap ini memenuhi kondisi 10.20 berikut;

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_A = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2 + \dots + \vec{p}'_B \quad (10.20)$$

Persamaan 10.20 menunjukkan kondisi awal dan akhir tumbukan yang memiliki nilai momentum yang sama. Terdapat perbedaan

kondisi total sebelum tumbukan dengan simbol A, dan setelah tumbukan dengan kondisi total dengan simbol B. Jika kondisi $A < B$ maka hal ini menunjukkan setelah terjadi tumbukan maka terdapat sistem benda yang mengalami penggabungan, sedangkan bila kondisi $A > B$ maka setelah tumbukan maka terjadi penambahan benda, yakni terjadinya fenomena benda yang pecah.

DAFTAR PUSTAKA

- Hadi Santoso. 2018. "Diktat Fisika I untuk Jurusan Teknik Mesin, Universitas Borneo Tarakan
- Mikrajudin Abdullah. 2016. 'Fisika Dasar I, Institut Teknologi Bandung
- Sears & Zemansky. 2001. 'Fisika Untuk Universitas 1, Penerbit Erlangga.

BAB 11

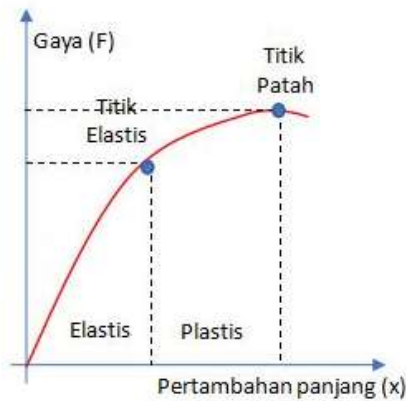
ELASTISITAS DAN HUKUM HOOKE

Oleh Siti Aisyah

11.1 Elastisitas

Elastisitas merupakan sifat suatu benda yang dapat berubah, baik dalam ukuran maupun bentuk setelah mendapat gaya luar namun benda tersebut akan kembali ke ukuran dan bentuk semula setelah gaya luar itu diiadakan. Pada dasarnya setiap benda akan mengalami perubahan bentuk ketika diberi gaya. Ada benda yang perubahan bentuknya dapat dilihat secara langsung, misalnya sebuah karet yang ditarik, pegas yang diberi tekanan atau gaya. Benda yang dapat kembali ke bentuk semula sesudah gaya yang mengenainya dihilangkan maka benda tersebut disebut dengan benda ***elastis***. Namun ada juga benda yang perubahan bentuknya tidak dapat dilihat secara langsung, misalnya bila menarik kawat beton dimana perubahan panjang kawat tidak dapat terlihat namun jika dipasang suatu alat ukur yang sangat peka terhadap perubahan panjang maka perubahan panjang kawat beton akan dapat diamati. Benda yang tidak dapat kembali ke bentuk semula sesudah gaya yang mengenainya dihilangkan disebut dengan benda ***plastis***.

Oleh sebab itu elastisitas dapat juga dikatakan sifat benda yang menunjukkan kekuatan, ketahanan dan kekakuan benda tersebut terhadap gaya luar yang diterapkan. Jika suatu benda di ubah bentuknya (di deformasi) sedikit saja maka benda tersebut akan kembali ke bentuk semula ketika gaya tekan atau gaya tariknya dihilangkan. Jika benda tegar di ubah bentuknya melampaui batas elastisitasnya, benda tidak akan kembali ke bentuk awalnya ketika gaya diiadakan, melainkan akan berubah bentuk secara permanen. Bahkan, jika ada perubahan bentuknya jauh melebihi batas elastisitasnya, benda akan patah atau putus yang sering juga disebut dengan titik patah. Berikut merupakan grafik hubungan antara gaya yang dilakukan pada suatu benda terhadap pertambahan panjang benda tersebut.

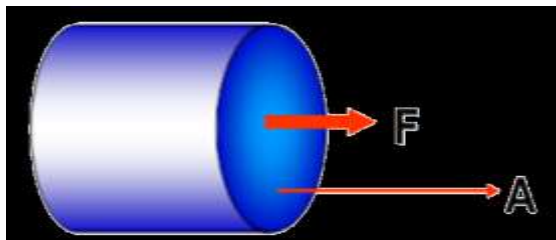


Gambar 70. Grafik hubungan Gaya -vs- Pertambahan panjang

Berikut merupakan istilah-istilah yang sering mengikuti dalam membahas elastisitas, yaitu :

1. Tegangan (*stress* / σ)

Tegangan merupakan adanya sebuah besarnya gaya yang telah bekerja terhadap objek di area penampang benda tertentu.



Gambar 71. Tegangan yang terjadi pada suatu benda

Secara matematis tegangan dapat ditulis sebagai berikut :

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

Dimana :

σ = Tegangan (N/m^2)

F = Gaya (Newton)

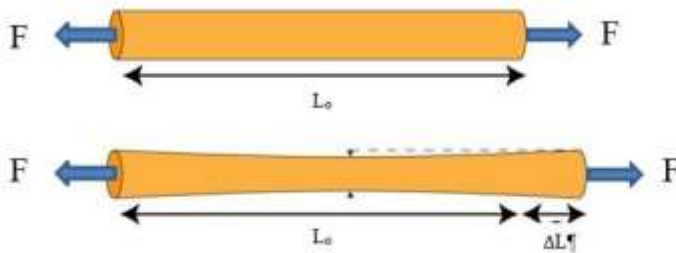
A = Luas bidang yang dikenai gaya (m^2)

Perhitungan dengan menggunakan rumus diatas, maka akan diperoleh bahwa nilai tegangan akan semakin besar apabila :

- 1) Gaya diperbesar
- 2) Luasan diperkecil
- 3) Gaya diperbesar dan luasan diperkecil

2. Regangan (*strain* / e)

Regangan atau strain merupakan perbandingan antara penambahan panjang benda (ΔL) terhadap panjang mula-mula (L_0). Regangan dapat dihitung dengan cara membandingkan perubahan yang terjadi yakni pada panjang awalnya dan juga terhadap peningkatan perubahannya.



Gambar 72. Regangan yang terjadi pada suatu benda

Regangan dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana :

- e = Regangan (tanpa satuan)
 ΔL = Pertambahan panjang (m)
 L_0 = Panjang mula-mula (m)

3. Energi potensial pegas

Energi potensial pegas merupakan energi yang diperlukan untuk meregangkan pegas. Misalnya, dalam olahraga memanah bisa ditentukan energi yang diperlukan untuk menarik busur panah.

Contoh mudah lainnya dapat dilakukan saat energi yang digunakan untuk menarik karet agar lebih panjang atau lebih lebar.



Gambar 73. Pegas

Energi potensial dapat dihitung dari hubungan antara pegas dengan pertambahan panjangnya. Sehingga rumus energi potensial pegas dapat ditulis sebagai berikut :

$$E_p = \frac{1}{2} F \cdot x$$

atau

$$E_p = \frac{1}{2} (k \cdot x) \cdot x$$

Dimana : E_p = Energi potensial pegas (J)

k = Tetapan dari sebuah pegas (N/m)

x = Pertambahan panjang pegas dari posisi awal
(m)

4. Modulus elastisitas (Modulus Young / E)

Modulus elastisitas merupakan penggabungan dari tegangan dan regangan, dimana perbandingan antara tekanan (*stress*) dengan regangan (*strain*) yang diakibatkannya bernilai konstan. Konstanta ini disebut juga dengan modulus elastis atau modulus Young. Oleh sebab itu, modulus elastis suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan dan regangan yang dialami benda, sehingga nilai modulus Young mengacu terhadap tingkat elastisitas dari suatu benda. Secara matematis modulus Young dapat dituliskan :

$\text{Modulus Young} = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}}$
--

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

Satuan SI untuk tegangan (σ) adalah N/m^2 atau Pa, sedangkan regangan e (tidak memiliki satuan).

Maka satuan untuk modulus Young (E) adalah = $\frac{\text{Satuan } \sigma}{\text{Satuan } e}$

$$E = \text{N/m}^2 = \text{Pascal (Pa)}$$

Modulus Young suatu benda hanya bergantung pada jenis zat, tidak pada ukuran atau pada bentuknya. Berikut merupakan beberapa modulus Young suatu benda.

Tabel 7. Modulus Young suatu benda

No	Benda	Modulus Young (E)
1	Besi	100×10^9
2	Baja	200×10^9
3	Perunggu	100×10^9
4	Aluminium	70×10^9
5	Beton	20×10^9
6	Batubara	14×10^9
7	Marmer	20×10^9
8	Granit	45×10^9
9	Kaca	55×10^9
10	Timah	16×10^9
11	Tembaga	$1,1 \times 10^9$
12	Karet	$0,05 \times 10^{10}$

Pada tabel 7 diatas dapat dilihat bahwa, modulus Young yang terkecil adalah karet. Hal ini menyatakan bahwa karet adalah bahan paling mudah mengalami perubahan bentuk diantara bahan-bahan lain yang terdapat pada tabel.

Hubungan antara tegangan dan regangan memiliki nilai regangan yang cukup kecil atau linier. Hubungan linier antara

pertambahan panjang dan gaya aksial yang menyebabkannya, dijabarkan secara luas oleh Robert Hooke, yang disebut *Hukum Hooke*.

11.2 Hukum Hooke

Hukum Hooke merupakan hukum yang membahas tentang peristiwa dimana benda pada kondisi elastis. Sekitar abad ke 17 yaitu sekitar tahun 1635 - 1703, seorang ahli kimia dan matematika berkebangsaan Inggris bernama **Robert Hooke** melakukan percobaan terhadap benda pegas pada kondisi elastis. Hukum Hooke berbunyi : *“Apabila pegas ditarik dengan menerapkan suatu gaya tanpa melebihi batas elastisitasnya, maka pegas tersebut akan bekerja gaya pemulih yang sebanding dengan simpangan benda pada titik seimbangannya namun arahnya akan saling berlawanan dengan arah gerak benda”*.

Hukum Hooke hanya berlaku hingga batas elastisitas suatu benda. Batas elastisitas merupakan gaya maksimum yang dapat diberikan pada benda sebelum benda berubah bentuk secara tetap dan panjang benda tidak dapat kembali seperti semula (benda akan menjadi plastis ataupun hancur). Robert Hooke membagi sifat benda menjadi dua jenis, yaitu bersifat plastis dan juga bersifat elastis.

Benda bersifat plastis ini merupakan benda yang tidak mengalami perubahan saat diberi gaya (tarik), misalnya : pelastisin, lumpur dan tanah liat. Sedangkan benda yang bersifat elastis adalah benda yang bisa mengalami perubahan bentuk saat diberi gaya, benda itu juga bisa kembali ke bentuk semulanya setelah tidak diberi gaya. Contohnya adalah karet, *shock breaker*, dan busur panah.

Pada penelitiannya, Robert Hooke melakukan percobaan dengan benda elastis dan kemudian ia mengamati terkait dengan hubungan gaya terhadap gaya pegas. Hooke mendapatkan hasil bahwa *besar gaya akan berbanding lurus dengan jarak kembalinya pegas atau per ke posisi awal*. Secara matematika hukum Hooke dapat dijelaskan dalam rumus berikut :

$$F = - k \cdot x$$

Dimana : F = Gaya (N)

k = Konstanta pegas (N/m)

x = Pertambahan pegas dari awal (m)

Tanda (-) negatif pada rumus diatas memiliki makna gaya pemulih pada pegas akan selalu berlawanan dengan arah simpangan pegas. Konstanta pegas (k) menyatakan ukuran kekakuan pegas. Pegas yang kaku mempunyai nilai k yang besar, sedangkan pegas lunak mempunyai nilai k kecil. Namun dalam notasi skalar, tanda negatif dihilangkan, sehingga rumus hukum Hooke menjadi:

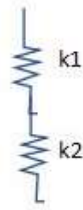
$$F = k \cdot x$$

Pada rumus hukum Hooke diatas dapat diketahui bahwa pertambahan panjang akan muncul ketika gaya tarik menarik dilakukan. Namun, pertambahan panjang itu juga bergantung pada material dari pegas tersebut. Misalnya, sebuah pegas yang terbuat dari baja akan sulit memanjang atau meregang walaupun sudah diberi gaya tarik yang besar. Hal ini bisa saja terjadi karena masing-masing pegas memiliki karakteristik yang disebut dengan *tetapan gaya*. Artinya, tetapan gaya yang dimiliki oleh barang seperti karet kecil karena lebih mudah untuk meregang.

Sebuah pegas yang diberi gaya selalu mengalami pertambahan panjang sesuai dengan gaya yang diberikan pada pegas tersebut. Bagaimana seandainya pegas yang diberi lebih dari satu gaya, yaitu berupa susunan pegas? Hooke membagi susunan pegas menjadi 2 (dua) susunan yaitu :

1. Pegas seri, dan
2. Pegas paralel

11.2.1 Pegas Seri

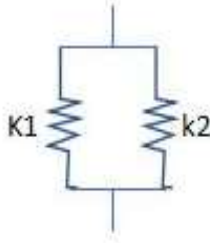


Gambar 74. Pegas seri

Pertambahan panjang pegas yang disusun secara seri adalah jumlah pertambahan panjang kedua pegas tersebut. Maka, tetapan pegas yang disusun seri dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots$$

11.2.2 Pegas Paralel



Gambar 75. Pegas paralel

Persamaan pegas paralel dapat dirumus dengan : $k = k_1 + k_2 + \dots$

Contoh soal.

1. Jika suatu pegas yang mempunyai sifat elastis dan mempunyai luas penampang sebesar 200 m^2 . Jika pegas tersebut ditarik dengan gaya 300 N . Hitunglah tegangan yang dialami dari pegas tersebut.

Penyelesaian.

Diketahui :

$$A = 200 \text{ m}^2$$

$$F = 300 \text{ N}$$

Ditanya : $\sigma = \dots ?$

Maka :

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

$$\sigma = 300 \text{ N} / 200 \text{ m}^2$$

$$\sigma = 1,5 \text{ N/m}^2$$

2. Sebuah kawat memiliki panjang 200 cm, kawat tersebut ditarik dengan gaya sebesar 100 Newton yang mengakibatkan kawat menjadi bertambah panjang 20 cm. Tentukanlah regangan kawat tersebut?

Penyelesaian.

Diketahui : $L_0 = 200 \text{ cm}$

$$\Delta L = 20 \text{ cm}$$

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

Maka

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

$$e = 20 \text{ cm} / 200 \text{ cm}$$

$$= 0,1 \text{ cm}$$

3. Suatu benda memiliki konstanta pegas sebesar 300 N/m dimana panjang pegasnya 50 cm, dipotong menjadi 2 bagian yang sama. Jika potongan pegas tersebut ditarik dengan gaya 30 N. Hitung perubahan panjang pegas yang terjadi jika pegas tersebut disusun secara paralel.

Penyelesaian.

Diketahui : $x_0 = 50 \text{ cm}$

$$k = 300 \text{ N/m}$$

$$F = 20 \text{ N}$$

Pegas dipotong menjadi 2 bagian

Maka : $k = k_1 + k_2$
 $k = 300 + 300$
 $k = 600$

sehingga :

$$\begin{aligned} F &= k \cdot x \\ 30 &= 600 \cdot x \\ x &= 0,05 \text{ m} \\ &= 5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Maka perubahan panjang pegas jika disusun secara paralel sebesar 5 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., 2016. Fisika Dasar I, Ganesa, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Muhammad dan Putra, R. 2014. Bahan Teknik, Universitas Malikussaleh, Aceh.
- Serway, R. A, and Faughn, J. S. 2006. Holt Physics, Holt, Rinehart and Winston, United States.
- Serway, R. A, and Jewett, J. W. Jr. 2008. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics, Ninth Edition, Brooks/Cole Cengage Learning, United States.

BIODATA PENULIS



Aminatus Sa'diyah, S.Si., M.T.

Staf Dosen Jurusan Teknik Permesinan Kapal
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Penulis menyelesaikan pendidikan magister di Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2014, dan sarjana di Jurusan Fisika Universitas Airlangga pada tahun 2012. Saat ini aktif aktif mengajar sebagai dosen di Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya sejak 2015. Aktif melakukan penelitian di bidang Energi Terbarukan, khususnya Analisis Dampak Penerapan Bioteknologi pada ekologi dan lingkungan. Mengampu mata kuliah Fisika Terapan, Termodinamika dan Perpindahan Panas pada jurusan Teknik Permesinan Kapal. Bidang penelitian yang ditekuni adalah energi terapan untuk industri dan rumah tangga, Teknologi Energi Terbarukan, serta Manajemen Energi. Saat ini aktif menulis artikel ilmiah baik jurnal nasional maupun Internasional.

BIODATA PENULIS



Rafika Andari

Staf Dosen Program Studi Teknik Elektro
Institut Teknologi Padang

Penulis lahir di Padang tanggal 11 September 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi teknik Elektro Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang. Menyelesaikan Pendidikan S1 pada Jurusan Fisika dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fisika pada kampus yang sama, yaitu Universitas Andalas. Penulis menekuni bidang Fisika khususnya Fisika Material dan Energi.

BIODATA PENULIS



Primasari Cahya Wardhani

Dosen Teknik Sipil UPN Veteran Jawa Timur

Penulis lahir di Surabaya tanggal 28 November 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika di Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia dan melanjutkan S2 pada Jurusan *Graduated Institute of Applied Science and Technology*, di National Taiwan University of Science and Technology, (NTUST) Taiwan. Penulis menjadi dosen tetap di UPN “Veteran” Jawa Timur sejak 2021.

Penulis menjadi tenaga pengajar di program studi Teknik Sipil, UPN “Veteran” Jawa Timur dan telah mengampu beberapa mata kuliah diantaranya fisika Teknik, matematika 1, dan matematika 2. Dalam kegiatan penelitian, penulis aktif melakukan penelitian di bidang biofisika dan komputasi biomekanikal. Ini merupakan kesempatan pertama kali bagi penulis menjadi kolaborator dalam penulisan buku *chapter*. Semoga tulisan yang dihasilkan dapat bermanfaat bagi para pembaca.

BIODATA PENULIS



Enggar Alfianto, S.Si., M.Si.

Staf Dosen Program Studi Teknik Elektro
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Penulis menyelesaikan pendidikan magister pada Program Studi Magister Sains Komputasi Institut Teknologi Bandung (ITB) pada tahun 2014, dan sarjana di Jurusan Fisika Universitas Airlangga pada tahun 2010. Saat ini berstatus sebagai dosen tetap di Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya sejak 2015. Penulis saat ini sedang melaksanakan studi doctoral S3 di Osaka University. Aktif melakukan penelitian di bidang Fisika, Sains Komputasi dan bidang terapannya. Mengampu mata kuliah Fisika Dasar, Matematika Diskrit, Parallel Computing, dan Topik khusus.

BIODATA PENULIS



Muhammad Roy Asrori

Asisten Dosen Jurusan Kimia - Guru Kimia

Penulis lahir di Malang tanggal 27 Agustus 1997. Penulis adalah Asisten dosen pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang. Selain itu, penulis juga sebagai Guru kimia di MAS Integratif NU Al-Hikmah, Jeru Tumpang Kab. Malang. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Kimia dan melanjutkan S2 pada Program Studi Kimia di Universitas Negeri Malang. Penulis menekuni bidang kepenulisan, terutama artikel nasional dan internasional. Bidang yang Penulis tekuni adalah kimia fisik, kimia organik, kimia anorganik, dan pendidikan.

Selama kuliah, penulis aktif dalam organisasi, yaitu: UKM Penulis, dan Forum Studi Sains dan Teknologi (FS2T) FMIPA UM. Penulis juga aktif dalam perlombaan dan seminar/konferensi dari tingkat nasional hingga internasional. Penulis juga aktif dalam publikasi ilmiah di jurnal nasional dan internasional yang terindeks SCOPUS, WoS, Google Scholar, DOAJ, dan SINTA.

BIODATA PENULIS



Jan Setiawan

Staf Dosen Prodi Teknik Elektro Universitas Pamulang
Staf Periset Badan Riset dan Inovasi Nasional

Penulis lahir di Jakarta pada tahun 1980. Saat ini penulis adalah staf Peneliti Ahli Madya pada Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Penulis menyelesaikan studi S1 di prodi Fisika Institut Pertanian Bogor pada tahun 2003. Pada tahun 2008, penulis berkesempatan melanjutkan studi S2 melalui program beasiswa pegawai BATAN di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia yang diselesaikan tahun 2010. Melalui beasiswa Kemenristek Dikti, penulis melanjutkan studi S3 di prodi Ilmu Bahan-bahan Universitas Indonesia pada tahun 2012 dan menyelesaikannya ditahun 2015. Bidang kepakaran penelitian Penulis adalah teknik material. Dalam karir sebagai peneliti selain membangun kompetensi kepakaran bidang teknik material, sejak tahun 2016 penulis juga aktif menjadi pengajar pada Program Studi Teknik Elektro - Universitas Pamulang.

Email Penulis: jansetiawan.lecturer@gmail.com

BIODATA PENULIS



Zulkarnaini

Ketua Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas
Abulyatama.

Penulis lahir di Tanjong Cengai Kabupaten Aceh Utara, Provinsi Aceh tanggal 25 Maret 1965. Penulis adalah Dosen LLDIKTI XIII Wilayah Aceh dpk pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Abulyatama. Menyelesaikan Pendidikan S1 pendidikan Fisika Universitas Syiah Kuala Banda Aceh dan S2 Jurusan MIPA Prodi Agroklimatologi IPB Bogor. Penulis menekuni bidang Fisika, Statistik, Metodologi Pendidikan dan Evaluasi Pembelajaran dan beberapa bidang lain sesuai mata kuliah pada prodi pendidikan fisika FKIP Universitas Abulyatama.

Email: zulkarnaini.pfis@abulyatama.ac.id

BIODATA PENULIS



Richard A.M. Napitupulu

Dosen tetap di Prodi S1 Teknik Mesin Universitas HKBP
Nommensen

Penulis lahir di kota Enrekang Kab. Enrekang Propinsi Sulawesi Selatan pada tanggal 26 Agustus 1973. Menyelesaikan pendidikan Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara pada tahun 1997, dan pendidikan Magister di Jurusan Teknik Mesin Program Studi S2 Teknik Mesin Universitas Indonesia pada tahun 2000. Kemudian melanjutkan Pendidikan Doktor di Program Studi S3 Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia pada Agustus 2007 dan lulus pada bulan Februari tahun 2012. Pada tahun 1998-2003 bekerja sebagai dosen tidak tetap pada Prodi S1 Teknik Mesin dan Prodi S1 Teknik Industri di beberapa universitas di Jakarta (UKI, UKRIDA, UNKRIS, IT Al-Kamal). Sejak tahun 2003 bekerja sebagai dosen tetap di Prodi S1 Teknik Mesin Universitas HKBP Nommensen, dan merupakan Editor in Cief dari OJS SJoME (*Sprocket Journal of Mechanical Engineering*) dan CISat (Citra Sains Teknologi). Selama bertugas sebagai dosen, aktif sebagai narasumber maupun chairman pada beberapa *international conference* baik yang diadakan di dalam maupun di luar negeri, dan juga aktif sebagai reviewer di beberapa OJS Nasional dan Jurnal Internasional.

BIODATA PENULIS



Humaidillah Kurniadi Wardana, S.Si, S.Pd, M.Si

Dosen Di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang

Penulis lahir di Sumenep tanggal 18 November 1987, anak kedua dari tiga bersaudara dari kedua orang tua hebat yaitu Ibu Hj. Sumriyani, S.Pd dan Ayah Drs. H. Nurhamin Thaha, M.M. Serta ditemani seorang istri Vitri Angriantika Wulandari, S.Si, S.Pd dan anak pertama Innani Navilah Basyiroh. Penulis menyelesaikan studi bidang ilmu S1 Fisika di Universitas Negeri Malang (UM) dan S2 Fisika Instrumentasi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis adalah dosen di Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang Jawa Timur. Penulis menekuni bidang instrumentasi, elektromedis, dan energi terbarukan dengan beberapa karya yang telah dipublikasikan di jurnal nasional maupun internasional. Saran dan masukan disampaikan dalam email bhindere.adi3@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Hadi Santoso, S.Pd., M.Si

Dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Borneo Tarakan

Penulis lahir di Bunyu, Kabupaten Bulungan pada tanggal 13 Juli 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Fisika di Universitas Mulawarman (Samarinda) dan S2 pada Jurusan Fisika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (Surabaya). Penulis menekuni bidang Fisika Instrumentasi dan melakukan berbagai penelitian terkait dengan Instrumentasi dan Sistem Kontrol serta Energi Terbarukan. Untuk menghubungi penulis dapat melalui hadisantoso@borneo.ac.id

BIODATA PENULIS



Siti Aisyah

Dosen tetap pada Program Studi Pengolahan Hasil Perkebunan (TPHP), Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan

Penulis lahir di Binjai, Tanggal 10 Juni 1976. Penulis adalah Dosen tetap pada Program Studi Pengolahan Hasil Perkebunan (TPHP), Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan. Penulis menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Kimia, di Institut Teknologi Medan pada tahun 2000. Kemudian tahun 2011 menyelesaikan S2 pada Program studi Teknologi Industri Pertanian di Institut Pertanian Bogor.