

FISIKA DASAR I

(MEKANIKA DAN PANAS)



PENULIS :

- Fathan Mubina Dewadi
- Erniati Bachtiar
- Tukimun
- Risnawaty Alyah
- Dodi Satriawan
- Fera Annisa
- Johni S Pasaribu
- Erwin Randjawali
- Zahriah
- Juniar Afrida
- Masniah
- Neny Rochyani

FISIKA DASAR I (MEKANIKA DAN PANAS)

**Fathan Mubina Dewadi
Erniati Bachtiar
Tukimun
Risnawaty Alyah
Dodi Satriawan
Fera Annisa
Johni S Pasaribu
Erwin Randjawali
Zahriah
Juniar Afrida
Masniah
Neny Rochyani**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

FISIKA DASAR I (MEKANIKA DAN PANAS)

Penulis :

Fathan Mubina Dewadi
Erniati Bachtiar
Tukimun
Risnawaty Alyah
Dodi Satriawan
Fera Annisa
Johani S Pasaribu
Erwin Randjawali
Zahriah
Juniar Afrida
Masniah
Neny Rochyani

ISBN : 978-623-198-347-3

Editor : Ari Yanto, M.Pd

Penyunting : Tri Putri Wahyuni, S.Pd

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

Penerbit : PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi :

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

Cetakan pertama, Juni 2023

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

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT dalam segala kesempatan. Sholawat beriring salam dan doa kita sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW. Alhamdulillah atas Rahmat dan Karunia-Nya penulis telah menyelesaikan Buku Fisika Dasar I (Mekanika Dan Panas) ini.

Buku Ini Membahas Besaran, Satuan Dan Pengukuran, Awalan Dan Konversi Satuan, Pengukuran Panjang, Massa Dan Konsep-Konsep Kinematika, Besaran-Besaran Gerak, Gerak Dua Dimensi, Dinamika, Hukum Newton Ketiga, Momentum, Gravitasi, Fluida, Gas Dan Termodinamika, Suhu Dan Kalor.

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

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

Padang, Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	x
BAB 1 BESARAN, SATUAN DAN PENGUKURAN	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Besaran	2
1.3 Satuan	4
1.4 Satuan	6
DAFTAR PUSTAKA.....	7
BAB 2 AWALAN dan KONVERSI SATUAN	13
2.1 Pendahuluan.....	13
2.2 Awalan	14
2.3 Konversi Satuan.....	15
2.3.1 Konversi Satuan Panjang (<i>Length Units</i>)	16
2.3.2 Konversi Satuan Luas (<i>Area Units</i>).....	16
2.3.3 Konversi Satuan Volume (<i>Volume Units</i>).....	17
2.3.4 Konversi Satuan Berat (<i>Mass Units</i>)	17
2.3.5 Konversi Satuan kepadatan (<i>Density Units</i>).....	18
2.3.6 Konversi Satuan Airan Cairan (<i>Volumetric Liquid</i> <i>Flow Units</i>).....	18
2.3.7 Konversi Satuan Aliran Gas Volumetrik (<i>Volumetric Gas Flow Units</i>)	19
2.3.8 Konversi Satuan Aliran Massa (<i>Mass Flow Units</i>)	19
2.3.9 Konversi Satuan Tekanan Tinggi (<i>High Pressure</i> <i>Units</i>)	20
2.3.10 Konversi Satuan Tekanan Rendah (<i>Low</i> <i>Pressure Units</i>)	20
2.3.11 Konversi Satuan Kecepatan (<i>Speed Units</i>)	21
2.3.12 Konversi Satuan Torsi (<i>Torque Units</i>)	21

2.3.13 Konversi Satuan Viskositas Dinamis (<i>Dynamic Viscosity Units</i>)	22
2.3.14 Konversi Satuan Viskositas Kinematik (<i>Kinematic Viscosity Units</i>).....	22
2.3.15 Rumus Konversi Suhu (<i>Temperature Conversion Formulas</i>)	23
DAFTAR PUSTAKA.....	24
BAB PENGUKURAN PANJANG, MASSA DAN KONSEP KINEMATIKA	25
3.1 Konsep Panjang	25
3.1.1 Pengertian Panjang	25
3.1.2 Dimensi Panjang	27
3.1.3 Konversi Satuan Panjang	28
3.1.4 Pengukuran Panjang	30
3.2 Konsep Massa	32
3.2.1 Pengertian Massa	32
3.2.2 Pengukuran Massa	33
3.2.3 Konversi Satuan Massa	36
3.3 Konsep Kinematika.....	37
3.3.1 Pengertian Kinematika	37
3.3.2 Kecepatan	39
3.3.3 Kelajuan	39
3.3.4 Percepatan	39
3.3.5 Macam-Macam Bentuk Kinematika (gerak).....	40
3.4 Kesimpulan.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	49
BAB 4 BESARAN-BESARAN GERAK.....	51
4.1 Pendahuluan.....	51
4.2 Posisi	52
4.2.1 Posisi di Permukaan Bumi	55
4.3 Perpindahan	56
4.3.1 Mengukur perpindaham dengan GoogleMap	58
4.3.2 Metode Triangulasi	58

4.4 Jarak Tempuh.....	59
4.5 Kecepatan dan Kelajuan	60
4.6 Percepatan	61
DAFTAR PUSTAKA.....	64
BAB 5 GERAK DUA DIMENSI	65
5.1 Pendahuluan.....	65
5.2 Sifat Vektor	65
5.3 Penjumlahan Vektor	67
5.3.1 Metode Jajargenjang.....	67
5.3.2 Metode Poligon.....	69
5.3.3 Metode Segitiga	69
5.4 Vektor Kecepatan	72
5.5 Vektor Percepatan.....	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
BAB 6 DINAMIKA	79
6.1 Pendahuluan.....	79
6.2 Pengertian Dinamika	79
6.3 Dinamika Partikel.....	80
6.3.1 Hukum-Hukum Gerak	80
6.4 Konsep Gaya	81
6.5 Konsep dan Hukum Dasar Dinamika	84
DAFTAR PUSTAKA.....	94
BAB 7 HUKUM KETIGA NEWTON	95
7.1 Pendahuluan.....	95
7.2 Hukum Pertama Newton	97
7.2.1 Kerangka Inersia.....	99
7.3 Hukum Kedua Newton	100
7.3.1 Satuan Gaya	101
7.4 Hukum Ketiga Newton	101
7.4.1 Gaya dan Interaksi.....	103
7.4.2 Identifikasi Aksi dan Reaksi	105
DAFTAR PUSTAKA.....	107

BAB 8 MOMENTUM	109
8.1 Pendahuluan.....	109
8.2 Hubungan Momentum dan Hukum Newton	110
8.3 Kekekalan Momentum	112
8.4 Kekekalan Momentum dan Energi Kinetik pada Peristiwa Tumbukan	116
8.5 Tumbukan Lenting dalam Kerangka Satu Dimensi	118
8.6 Tumbukan Tidak Lenting.....	120
DAFTAR PUSTAKA.....	124
BAB 9 GRAVITASI.....	125
9.1 Pendahuluan.....	125
9.2 Hukum Newton Tentang Gravitasi	126
9.3 Percobaan Cavendish	127
9.4 Kuat Medan Gravitasi pada Permukaan Bumi.....	128
9.5 Kuat Medan Gravitasi di dalam Bumi.....	131
9.6 Energi Potensial Gravitasi.....	132
9.7 Hukum Keppler.....	135
9.8 Orbit dan energi satelit.....	139
DAFTAR PUSTAKA.....	141
BAB 10 FLUIDA.....	143
10.1 Pendahuluan.....	143
10.2 Fluida Statis	144
10.2.1 Massa Jenis	148
10.2.2 Tekanan Hidrostatik	150
10.2.3 Hukum Pascal	152
10.2.4 Hukum Archimedes	153
DAFTAR PUSTAKA.....	154
BAB 11 JENIS-JENIS ALIRAN FLUIDA.....	155
11.1 Jenis Fluida.....	155
11.2 Fluida Statis dan Dinamis.....	155
11.2.1 Fluida Statis	157
11.2.2 Fluida Dinamis	158
11.3 Fluida	159

DAFTAR PUSTAKA.....	161
BAB 12 SUHU DAN KALOR.....	163
12.1 Pendahuluan.....	163
12.2 Suhu	163
12.2.1 Alat Ukur Suhu	163
12.2.2 Skala Suhu.....	165
12.3 Kalor	168
12.3.1 Hubungan Suhu dan Kalor	168
12.3.2 Perpindahan Kalor.....	169
12.3.3 Asas Black	172
DAFTAR PUSTAKA.....	180
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Contoh besaran panjang.....	27
Gambar 3.2. Tangga konversi besaran panjang.....	29
Gambar 3.3. Contoh alat ukur manual.....	30
Gambar 3.4. Contoh alat ukur mekanis.....	31
Gambar 3.5. Pengukuran neraca gravitasi.....	34
Gambar 3.6. Pengukuran neraca inersia.....	35
Gambar 3.7. Tangga konversi besaran massa.....	37
Gambar 3.8. Konsep Kecepatan gerak benda.....	39
Gambar 3.9. Konsep GVA	41
Gambar 3.10. Konsep gerak GJB	43
Gambar 3.11. Konsep gerak GVB	44
Gambar 3.12. Konsep Gerak Melingkar.....	45
Gambar 3.13. Konsep Gerak Parabola	46
Gambar 4.1. posisi atau kedudukan suatu benda	52
Gambar 4.2. Posisi sebuah benda dalam koordinat 3 dimensi.....	54
Gambar 4.3. Koordinat di permukaan bumi.....	56
Gambar 4.4. Posisi A dan B.....	56
Gambar 4.5. Vektor perpindahan benda awal ke posisi akhir.....	57
Gambar 4.6. Contoh penentuan jarak suatu benda	59
Gambar 4.7. Arah percepatan dipercepat dan diperlambat.....	62
Gambar 5.1. Penggambaran vektor	66
Gambar 5.2. Berbagai macam vektor.....	66
Gambar 5.3. Penjumlahan vektor dengan metode jajargenjang.....	67
Gambar 5.4. Dua vektor A dan vektor B	68
Gambar 5.5. Penjumlahan vektor dengan Metode Poligon.....	69

bertumbukan.....	115
Gambar 8.4. Ilustrasi kekekalan momentum pada tumbukan elastik	118
Gambar 8.5. Peluru yang menembus bandul	122
Gambar 9.1. (a) Gaya gravitasi benda-benda di alam semesta, (b) <i>Blackhole</i>	125
Gambar 9.2. Gaya gravitasi antara dua benda bermassa	126
Gambar 9.3. Percobaan Cavendish.....	128
Gambar 9.4. Kuat medan gravitasi di dalam bumi	131
Gambar 9.5. Bola yang dilempar dari permukaan bumi memiliki energi potensial gravitasi	133
Gambar 9.6. (a) Elips merupakan kurva tertutup sedemikian rupa sehingga jarak dari titik f_1 dan f_2 adalah konstan (b) untuk sembarang orbit gravitasi tertutup, m mengikuti lintasan elips dengan M berada pada salah satu titik fokusnya.....	136
Gambar 9.7. Daerah yang diarsir memiliki luasan yang sama. Planet bermassa m membutuhkan selang waktu yang sama saat bergerak dari A ke B, dari C ke D, dan dari E ke F.....	137
Gambar 10.1. Serangga di atas permukaan air karena adanya tegangan permukaan pada fluida.....	144
Gambar 12.1. Termometer Alkohol dan Raksa.....	164
Gambar 12.2. Bagian dan Jenis-jenis Termometer	165
Gambar 12.3. Perbandingan Besaran Suhu	166
Gambar 12.4. Diagram Proses Perubahan Wujud Zat.....	174

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Besaran Pokok	1
Tabel 1.2. Besaran Turunan.....	3
Tabel 1.3. Tabel Besaran Pokok untuk Dimensi	3
Tabel 1.4. Tabel Besaran Pokok untuk Dimensi	4
Tabel 2.1. Awalan.....	14
Tabel 2.2. Konversi Satuan Panjang.....	16
Tabel 2.3. Konversi Satuan Luas.....	16
Tabel 2.4. Konversi Satuan Volme.....	17
Tabel 2.5. Konversi Satuan Berat.....	17
Tabel 2.6. Konversi Satuan kepadatan	18
Tabel 2.7. Konversi Satuan Airan Cairan.....	18
Tabel 2.8. Konversi Satuan Aliran Gas Volumetrik.....	19
Tabel 2.9. Konversi Satuan Aliran Massa	19
Tabel 2.10. Satuan Tekanan Tinggi	20
Tabel 2.11. Konversi Satuan Tekanan Rendah.....	20
Tabel 2.12. Konversi Satuan Kecepatan	21
Tabel 2.13. Konversi Satuan Torsi	21
Tabel 2.14. Satuan Viskositas Dinamis.....	22
Tabel 2.15. Satuan Viskositas Kinematik.....	22
Tabel 2.16. Rumus Konversi Suhu	23
Tabel 3.1. Besaran pokok	26
Tabel 9.1. Variasi nilai g berdasarkan ketinggian.....	130
Tabel 10.1. Perbandingan Zat padat, Zat cair, dan gas	146
Tabel 10.2. Massa Jenis atau Kerapatan Massa (<i>Density</i>) Beberapa Zat	150
Tabel 12.1. Klasifikasi Besaran Skala Suhu.....	164
Tabel 12.2. Kalor jenis (c) beberapa zat, 1atm dan suhu ruang.....	175
Tabel 12.3. Nilai Kalor Laten Zat.....	177

BAB 1

BESARAN, SATUAN DAN PENGUKURAN

Oleh Fathan Mubina Dewadi

1.1 Pendahuluan

Besaran dalam fisika dimaksud selaku suatu yang bisa diukur, dan mempunyai angka serta dasar. Sedangkan itu, dasar dipakai selaku pembeda dalam pengukuran. Dalam dasar, kita memahami yang namanya Dasar Global (SI), ialah dasar yang distandarisasi serta diakui penggunaannya dengan cara Global (Wibowo, *et al.*, 2021).

Bersumber pada satuan, besaran terdiri dari besaran utama serta besaran anak. Besaran utama merupakan besaran yang jadi bawah buat memutuskan besaran yang lain. Dasar besaran utama diucap dasar utama serta sudah diresmikan terlebih dulu bersumber pada perjanjian para akademikus. Besaran utama karakternya leluasa, maksudnya tidak tergantung pada besaran utama yang lain (Wibowo & Dewadi, 2022).

Selanjutnya, dihidangkan besaran utama yang sudah disetujui oleh para akademikus (Surbakti, *et al.*, 2022). Berikut akan dijelaskan mengenai uraian besaran pokok pada tabel 1.1.

Tabel 1.1. Besaran Pokok (Swawikanti, 2022)

No.	Nama Besaran Pokok	Lambang Besaran Pokok	Satuan	Lambang Satuan
1.	Panjang	l	Meter	m
2.	Massa	m	Kilogram	kg
3.	Waktu	t	Sekon	s
4.	Kuat arus listrik	I	Ampere	A
5.	Suhu	T	Kelvin	K
6.	Intensitas cahaya	I_v	Kandela	cd
7.	Jumlah zat	n	Mole	Mol
8.	Sudut bidang datar	θ	Radian	Rad *)
9.	Sudut ruang	ϕ	Steradian	Sr *)

1.2 Besaran

Besaran turunan merupakan besaran yang disusun dari besaran utama (Dewadi, *et al.*, 2019). Dasar besaran turunan diucap dasar turunan serta didapat dengan mencampurkan sebagian dasar besaran utama (Dewadi, 2021). Misalnya, dasar turunan dari besar (Dewadi, 2021). Besar itu didapat dengan memperbanyak jauh serta luas sesuatu bangun (Supriyono, et al., 2022).

Secara umum besaran yang ada tentunya untuk menentukan satuan dimana besaran ini harus berdasarkan fenomena logis sehingga jika dicocokkan dengan formula yang ada menjadi sebuah validasi hasil yang dikonversikan dengan satuan (Dewadi, 2021). Berikut akan dijelaskan mengenai parameter-parameter besaran turunan pada tabel 1.2.

Tabel 1.2. Besaran Turunan (Fauziyyah, 2020)

Besaran Turunan	Satuan
Luas	m^2
Volume	m^3
Massa jenis	kg/m^3
Kecepatan	m/s
Percepatan	m/s^2
Gaya	$\text{kg m}/\text{s}^2$
Usaha	$\text{kg m}^2/\text{s}^2$
Daya	$\text{kg m}^2/\text{s}^3$
Tekanan	$\text{kg m}/\text{s}^2$
Momentum	$\text{kg m}/\text{s}$

Dimensi suatu besaran menunjukkan cara besaran tersebut tersusun dari besaran-besaran pokoknya (Dewadi, 2016). Pada sistem Satuan Internasional (SI), ada tujuh besaran pokok yang berdimensi, sedangkan dua besaran pokok tambahan tidak berdimensi (Dewadi, 2022). Cara penulisannya dinyatakan dengan lambang huruf tertentu dan diberi tanda kurung persegi (Sitorus , et al., 2022). Berikut akan dijelaskan pada tabel 3.

Tabel 1.3. Tabel Besaran Pokok untuk Dimensi (Dewadi, 2016)

Besaran Pokok	Dimensi
Panjang	[L]
Waktu	[M]
Kuat Arus	[I]
Suhu	[θ]
Intensitas Cahaya	[J]
Jumlah Zat	[N]

Berdasarkan apa yang dipaparkan mengenai dimensi besaran yang terbagi dua yaitu besaran pokok dan besaran turunan (Della, et al., 2022). Dimensi besaran pokok terdiri dari 6 macam yaitu panjang, waktu, kuat arus, suhu, intensitas cahaya dan jumlah zat (Dewadi, 2022). Pada besaran turunan terdapat beberapa parameter yaitu luas, volum, massa jenis, tekanan, usaha (Dewadi, 2023). Berikut akan dijelaskan mengenai dimensi dari besaran turunan pada tabel 1.4.

Tabel 1.4. Tabel Besaran Pokok untuk Dimensi (Dewadi, 2016)

Besaran Pokok	Dimensi
Luas	$[L^2]$
Volum	$[L^3]$
Massa Jenis	$[M.L^{-3}]$
Tekanan	$[M.L^{-1}.T^{-2}]$
Usaha	$[M.L^2.T^{-2}]$

1.3 Satuan

Kehidupan individu tidak bebas dari dasar durasi serta jauh. Alasannya, kedua dasar itu amat berkaitan akrab dengan kehidupan tiap hari (Fandy, 2023). Dasar durasi atau jauh dalam pelajaran matematika ataupun fisika ini amat berguna serta hendak lalu kalian maanfaatkan (Dewadi, 2016). Perihal ini bermanfaat buat membagi bermacam berbagai perihal, misalnya membagi jarak, kecekatan mobil, membagi debit air, atau membagi lamanya durasi (Abbas, *et al.*, 2020). Dasar merupakan besaran pembeda yang dipakai dalam pengukuran (Dewadi, 2021). Dengan tutur lain, dasar ialah suatu yang dipakai buat menyamakan dimensi sesuatu besaran (CNN Indonesia, 2023).

Satuan- satuan yang diketahui saat ini ini dibagi jadi 2 tipe, ialah dasar dasar serta dasar tidak dasar (Dimyati, *et al.*, 2021). Dasar dasar merupakan dasar yang sudah diresmikan dengan cara global, sebaliknya dasar tidak dasar merupakan dasar yang tidak diresmikan selaku dasar pengukuran objektif (Dewadi, 2023). Dasar dasar merupakan satuan- satuan yang sudah diresmikan dengan cara global selaku dasar pengukuran (A, *et al.*, 2022). Besaran serta dasar dasar legal di semua bumi buat mempermudah komunikasi objektif dampingi bangsa serta nilainya senantiasa serupa (Dewadi, 2023). Penentuan dasar dasar senantiasa berganti bersamaan durasi membiasakan keahlian individu dalam melaksanakan pengukuran dengan cermat serta memakai teknologi yang membutuhkan pengukuran cermat (Nanda, *et al.*, 2022). Dikala ini, akurasi pengukuran 1 atau 10. 000. 000 mm telah dikira biasa (Dewadi, 2022). Dasar tidak dasar merupakan dasar yang tidak diresmikan selaku dasar pengukuran objektif (Wibowo, *et al.*, 2022). Dasar ini tidak legal dengan cara biasa ataupun tidak diakui dengan cara global (Nanda, *et al.*, 2022).

Dasar tidak dasar ialah dasar yang bila dipakai oleh orang yang berlainan bisa menciptakan pengukuran yang berlainan, misalnya pengukuran jauh novel memakai jengkal tangan (Farahdiansari, *et al.*, 2021). Dasar tidak dasar tidak dapat dipakai dalam pengukuran objektif sebab mempunyai sebagian kelemahan (Dewadi, *et al.*, 2021). Kelemahan- kelemahan itu antara lain dasar tidak dasar mempunyai watak yang tidak senantiasa serta hasil pengukurannya berbeda- beda, dasar tidak dasar susah ditiru, misalnya susah buat menciptakan jauh jengkal orang yang serupa benar, penggunaannya terbatas ataupun tidak dapat dipakai dengan cara biasa, tidak dapat diganti ataupun dikonversi ke dasar lain (Dewadi & Dewadi, 2022).

1.4 Satuan

1. Apakah manfaat pengukuran dalam kehidupan sehari-hari (Nanda, et al., 2022)?
2. Dalam industri teknik, parameter apa saja yang membuat pekerjaan terbantu (Dewadi, et al., 2021)?
3. Sebutkan manfaat dari adanya pengetahuan analisis dimensional dalam melakukan riset tentang saintek (Murtalim, 2020)!
4. Apakah pengukuran dengan satuan tidak baku dapat mempermudah penelitian kualitatif? Jika ya paparkan kembali alasannya (Dewadi, et al., 2021)!
5. Mengapa satuan sangat dibutuhkan dalam perhitungan teknik atau semacamnya (Jati, et al., 2022)?
6. Alat ukur apa saja yang menggunakan satuan gram? Sebutkan (Lewaherilla, et al., 2022)!
7. Proyek-proyek besar memerlukan tingkat presisi yang tinggi, sebagai ilmuwan apa yang anda bisa berikan dari pembelajaran satuan dengan inovasi teknologi menurut anda (Mulyadi & Dewadi, 2021)?
8. Dalam kehidupan sehari-hari, apakah alat ukur berperan mutlak? Jika ya berikan pendapat yang lebih logis (Nanda, et al., 2022)!
9. Dimensional dan besaran sering tak dianggap karena beberapa orang lebih cenderung kepada satuan dan alat ukur, mengapa demikian (Raja Ma'arof, et al., 2021)?
10. Buatlah tabel yang menggambarkan besaran/dimensi/satuan yang belum dijelaskan pada bab ini (Dewadi, et al., 2021)!

DAFTAR PUSTAKA

- Farahdiansari, A. P., Dewadi, F. M. & Rahdiana, N., 2021. Analisis Unjuk Kerja BBM dengan Eco-Racing sebagai Campuran BBM yang Ekonomis. *JTMMX*, II(1), pp. 1-5.
- Wibowo, C., Sukarno, S., Nursanti, Y. B. & Dewadi, F. M., 2022. Kebutuhan Perguruan Tinggi di Wonogiri sebagai Bagian dari Pengembangan Sumber Daya Manusia. *VISIONER : Jurnal Penelitian Komunikasi dan Sosial Politik* , IV(1), pp. 20-27.
- Abbas, A. et al., 2020. *Implementation of clustering unsupervised learning using KMeans mapping techniques*. Medan, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.
- A. & Dewadi, F. M., 2022. Perancangan Mesin Roll Plat Listrik sebagai Peningkatan Efisiensi Kerja di Industri Manufaktur. *Jurnal Mekanika Terapan*, III(1), pp. 18-25.
- A, F. M. et al., 2022. Optimization of Vapor Compression Type for Desalination of Seawater Using the DFMA Method. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore (JTMMX)*, III(1), pp. 1-8.
- A. et al., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *JTMMX*, II(1), pp. 6-12.
- CNN Indonesia, 2023. *Edukasi*. [Online] Available at: <https://www.cnnindonesia.com/edukasi/20230116112259-569-900855/mengenal-pengertian-serta-macam-macam-satuan-waktu-dan-panjang> [Accessed 12 April 2023].
- Della, R. H. et al., 2022. *Kesehatan & Keselamatan Kerja Era Society 5.0*. 1st ed. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Dewadi, F. M., 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*, Jakarta: Institut Sains dan Teknologi Al-Kamal.

- Dewadi, F. M., 2016. *Perancangan Mesin Roll Pelat Dengan Penggerak Motor Listrik Ac 1 Fasa Kapasitas Daya Listrik 180 W*, Jakarta: Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Sains Dan Teknologi Al-Kamal.
- Dewadi, F. M., 2021. Analisis Efektivitas Liquid Section Heat Exchanger dengan Tube in Tube Heat Exchanger dari Sisi Aplikatif. *JTMMX*, II(1), pp. 28-36.
- Dewadi, F. M., 2021. Efisiensi Pada Sepeda Listrik Dengan Dinamo Sepeda Sebagai Generator. *Praxis : Jurnal Sains, Teknologi, Masyarakat dan Jejaring*, IV(1), pp. 13-23.
- Dewadi, F. M., 2021. Pembelajaran dan Pengenalan Musik dalam Melatih Daya Ingat Anak. *JECED: Journal of Early Childhood Education and Development*, III(1), pp. 15-23.
- Dewadi, F. M., 2021. *Pengaruh Analisis Menejemen Stres Kinerja Perusahaan terhadap Pencapaian Kinerja Karyawan Optimal berdasarkan Pengalaman Pemuda Kreatif Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan*. Bukit Tinggi, IAIN Bukit Tinggi.
- Dewadi, F. M., 2022. Klasifikasi Perpindahan Panas. In: R. Pido, ed. *Perpindahan Panas: Dasar dan Praktisi dari Perspektif Akademisi dan Praktisi*. Bandung: Indie Press, pp. 1-8.
- Dewadi, F. M., 2022. Matriks dan Operasinya. In: P. T. Cahyono, ed. *Matriks dan Ruang Vektor*. Batam: Cendikia Mulia Mandiri, p. 109.
- Dewadi, F. M., 2022. Perpindahan Panas. In: R. Pido, ed. *Klasifikasi Perpindahan Panas*. Bandung: Indie Press, p. 170.
- Dewadi, F. M., 2023. Kimia Dasar II. In: M. Sari, ed. *Gejala Keradioaktifan Unsur-Unsur Tidak Stabil*. Padang: PT. Global Eksekutif Teknologi, p. 146.
- Dewadi, F. M., 2023. *Pengaruh Pemanasan BBM Campuran dengan Parameter Pemanasan Suhu terhadap Densitas Bahan Bakar*. Karawang, Universitas Buana Perjuangan Karawang.

- Dewadi, F. M., 2023. Ruang Lingkup Teknik Pendingin dan Pengkondisian. In: A. Yanto, ed. *Teknik Pendingin dan Tata Udara*. Padang: Global Eksekutif Teknologi, p. 117.
- Dewadi, F. M., Dahlan, D. & Maulana, E., 2019. Frame e-Bike Optimization Capacity 48V. *JOJAPS*, Volume XIV, pp. 129-138.
- Dimiyati, D. et al., 2021. Evaluasi Kekuatan Resistance Spot Welding Pada Proses Tailor Welded Blanks Menggunakan Mill-Steel Beda Ketebalan. *Borobudur Engineering Research (BENR)*, I(1), pp. 96-107.
- F., 2023. *Gramedia Blog*. [Online] Available at: <https://www.gramedia.com/literasi/satuan-baku/> [Accessed 12 April 2023].
- Fauziyyah, R., 2020. *Kompas*. [Online] Available at: <https://www.kompas.com/skola/read/2020/11/26/003045569/cara-menentukan-besaran-turunan?page=all> [Accessed 4 April 2023].
- Jati, R. R., Sofiyanti, B. & Dewadi, F. M., 2022. Pengenalan Material Yang Digunakan Dalam Proses Pengelasan Berdasarkan Spesifikasi Material. *Empowerment: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, I(3), pp. 300-305.
- K., Nanda, R. A., A. & Dewadi, F. M., 2022. Pelatihan Pemanfaatan Aquaponik Bagi Warga Kavling Rawa Bunga, Tangerang Selatan. *Journal of Entrepreneurship and Community Innovations*, I(1), pp. 16-21.
- K., Nanda, R. A. & Dewadi, F. M., 2022. Pengukuran Intensitas Cahaya Menggunakan Sensor BH-1750 Berbasis Mikrokontroler: Studi Kawasan Kampus UBP Karawang. *Praxis*, V(1), pp. 74-81.
- K. et al., 2022. Archimedes' Principle Applied to Buoy Design for Measuring Purposes in Offshore Illumination Conditions. *JTMMX*, III(1), pp. 40-48.

- K. et al., 2021. A Report on Metal Forming Technology Transfer from Expert to Industry for Improving Production Efficiency. *Mechanical Engineering for Society and Industry*, I(2), pp. 96-103.
- Lewaherilla, N. C. et al., 2022. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja*. Indonesia, Patent No. 000354858.
- M., Dewadi, F. M., A. & Sigalingging, W. S., 2021. Pengaruh Parameter Temperatur Quenching terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Rear Hub Spindles. *Buana Ilmu*, V(2), pp. 101-118.
- M., 2020. *Analisis Unjuk Kerja Eco Racing sebagai Suplemen Penghemat Bahan Bakar*. Malang, Universitas Widyagama Malang.
- Mulyadi, D. & Dewadi, F. M., 2021. Analisis Rancangan Sel Surya untuk Kebutuhan Cadangan Energi Listrik di Kolam Wilayah Graha Raya Bintaro, Tangerang Selatan. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, II(1), pp. 6-12.
- Nanda, R. A. et al., 2022. Perancangan dan Perakitan Elektronika Mikrokontroler berbasis IOT untuk Studi Pengukuran Sistem HVAC. *JTMMX*, VII(1), pp. 43-55.
- Raja Ma'arof, R. A., Saputra, O. . A., Dewadi, F. M. & Noor, A., 2021. *Engaging Students: Blending Class Activities with Industry-linked Teaching Approach in Occupational Safety and Health Course Delivery*, Kuala Lumpur: Universiti Kuala Lumpur.
- S. et al., 2021. Pengaruh Penahanan Suhu Reaktor pada Pengujian LDPE dengan Debit Air 46 L/Min. *JTMMX*, II(1), pp. 19-27.
- Sitorus, E. et al., 2022. *Kesehatan dan Keselamatan Kerja Era Sociey 5.0*. Indonesia, Patent No. 000338122.
- Supriyono, T. et al., 2022. Analisis Chassis Mobil Robot Penanaman Bibit Kangkung Menggunakan Metode Elemen Hingga. *JTMMX*, II(2), pp. 1-8.

- Surbakti, D., Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Perbaikan Gerobak Sampah sebagai Bagian dari Manajemen Sampah Sisi Hulu di Lingkungan Permata Penggilingan Jakarta. *Indonesian Journal of Engagement, Community Services, Empowerment and Development*, II(2), pp. 165-174.
- Swawikanti, K., 2022. *Ruangguru*. [Online] Available at: <https://www.ruangguru.com/blog/besaran-satuan-dimensi-dalam-pengukuran-fisika> [Accessed 4 April 2023].
- Wibowo, C. & Dewadi, F. M., 2022. Design Pressure Reduction System (PRS) untuk Compressed Natural Gas (CNG) Kapasitas 30 Nm³/h dalam Sisi Teknis dan Ekonomis. *TEKINFO: Jurnal Penelitian Teknik dan Informatika*, II(2), pp. 60-65.
- Wibowo, C., Dewadi, F. M. & Afgani, A. A., 2021. Implementasi Material Titanium pada Sepeda Listrik sebagai Rangka yang Efisien. *JTMMX*, II(1), pp. 13-18.

BAB 2

AWALAN dan KONVERSI SATUAN

Oleh Erniati Bachtiar

2.1 Pendahuluan

Awalan (*prefix*) dan konversi (*conversion*) satuan sangat penting diketahui dalam ilmu fisika. Umumnya kita sering melibatkan bilangan-bilangan yang sangat besar atau sangat kecil dalam melakukan perhitungan-perhitungan fisika,. Apabila dalam penyebutan bilangan-bilangan tersebut apa adanya maka pelafalannya akan terlihat panjang dan kurang efektif. Penggunaan awalan unit untuk mengubah ukuran unit lain dan juga dalam membuat perhitungan menjadi mudah dan mudah diingat. Awalan mirip dengan notasi ilmiah, Anda dapat menambah atau mengurangi ukuran satuan menggunakan awalan satuan. Setelah unit standar ditentukan, Anda dapat memperoleh bentuk yang lebih kecil atau lebih besar dari unit tersebut menggunakan awalan unit.

Satuan standar yang umumnya gunakan dalam Fisika dan di seluruh dunia adalah satuan SI, dan satuan ini didasarkan pada sistem satuan metrik, biasanya menggunakan awalan ini dengan satuan dari sistem metrik dan mereka juga disebut awalan satuan metrik. Tetapi prefiks ini tidak hanya digunakan dengan satuan SI tetapi juga dapat digunakan dengan satuan lainnya.

Konversi satuan dapat dilakukan dalam sistem satuan yang sama maupun dalam sistem satuan yang berbeda. Konversi satuan secara umum adalah mengubah nilai suatu sistem satuan ke nilai satuan lain. Konversi satuan umumnya tidak pernah mengubah nilai dari suatu besaran.

2.2 Awalan

Bagan prefiks unit Tabel 2.1 menunjukkan prefiks yang dapat digunakan dengan unit lain.

Tabel 2.1. Awalan (problemsphysics.com, 2023)

Awalan	Simbol	Power of 10	Contoh (meter)
yotta	Y	10^{24}	$1\text{Ym} = 1 \text{ yottameter} = 10^{24}\text{m}$
zetta	Z	10^{21}	$1\text{Zm} = 1 \text{ zettameter} = 10^{21}\text{m}$
exa	E	10^{18}	$1\text{Em} = 1 \text{ exameter} = 10^{18}\text{m}$
peta	P	10^{15}	$1\text{Pm} = 1 \text{ petameter} = 10^{15}\text{m}$
tera	T	10^{12}	$1\text{Tm} = 1 \text{ terameter} = 10^{12}\text{m}$
giga	G	10^9	$1\text{Gm} = 1 \text{ gigameter} = 10^9\text{m}$
mega	M	10^6	$1\text{Mm} = 1 \text{ megameter} = 10^6\text{m}$
kilo	k	10^3	$1\text{km} = 1 \text{ kilometer} = 10^3\text{m}$
hecto	h	10^2	$1\text{hm} = 1 \text{ hectometer} = 10^2\text{m}$
deca	da	10^1	$1\text{dam} = 1 \text{ decameter} = 10^1\text{m}$
deci	d	10^{-1}	$1\text{dm} = 1 \text{ decimeter} = 10^{-1}\text{m}$
centi	c	10^{-2}	$1\text{cm} = 1 \text{ centimeter} = 10^{-2}\text{m}$
milli	m	10^{-3}	$1\text{mm} = 1 \text{ millimeter} = 10^{-3}\text{m}$

Awalan	Simbol	Power of 10	Contoh (meter)
micro	μ	10^{-6}	$1\mu\text{m} = 1 \text{ micrometer} = 10^{-6}\text{m}$
nano	n	10^{-9}	$1\text{nm} = 1 \text{ nanometer} = 10^{-9}\text{m}$
pico	p	10^{-12}	$1\text{pm} = 1 \text{ picometer} = 10^{-12}\text{m}$
femto	f	10^{-15}	$1\text{fm} = 1 \text{ femtometer} = 10^{-15}\text{m}$
atto	a	10^{-18}	$1\text{am} = 1 \text{ attometer} = 10^{-18}\text{m}$
zepto	z	10^{-21}	$1\text{zm} = 1 \text{ zeptometer} = 10^{-21}\text{m}$
yocto	y	10^{-24}	$1\text{ym} = 1 \text{ yoctometer} = 10^{-24}\text{m}$

Perhatikan bahwa gram(g) bukan satuan SI dan kita menggunakan awalan ini dengan gram bukan kilogram meskipun kilogram (sudah memiliki awalan 'kilo') adalah satuan SI. Beberapa contoh lain adalah milimeter (mm), kilometer (km), kilowatt (kW), mililiter (ml), sentiliter (cl), megavolt (MV), megapiksel dll.

2.3 Konversi Satuan

Konversi satuan dapat dilakukan dalam sistem satuan yang sama maupun dalam sistem satuan yang berbeda. Konversi satuan secara umum adalah mengubah nilai suatu sistem satuan ke nilai satuan lain. Konversi satuan umumnya tidak pernah mengubah nilai dari suatu besaran.

2.3.1 Konversi Satuan Panjang (*Length Units*)

Adapun konversi satuan Panjang dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Konversi Satuan Panjang (ISA, 2007)

Millimeters	Centimeters	Meters	Kilometers	Inches	Miles
mm	cm	m	km	in	mi
1	0.1	0.001	0.000001	0.03937	6.21e-07
10	1	0.01	0.00001	0.393701	0.000006
1000	100	1	0.001	39.37008	0.000621
1000000	100000	1000	1	39370.08	0.621371
25.4	2.54	0.0254	0.000025	1	0.000016
304.8	30.48	0.3048	0.000305	12	0.000189
914.4	91.44	0.9144	0.000914	36	0.000568
1609344	160934.4	1609.344	1.609344	63360	1

2.3.2 Konversi Satuan Luas (*Area Units*)

Tabel 2.3 memperlihatkan tabel konversi untuk satuan luas.

Tabel 2.3. Konversi Satuan Luas (ISA, 2007)

Millimeter square	Centimeter square	Meter square	Inch square	Foot square	Yard square
mm ²	cm ²	m ²	in ²	Ft ²	yd ²
1	0.01	0.000001	0.00155	0.000011	0.000001
100	1	0.0001	0.155	0.001076	0.00012
1000000	10000	1	1550.003	10.76391	1.19599
645.16	6.4516	0.000645	1	0.006944	0.000772
92903	929.0304	0.092903	144	1	0.111111
836127	8361.274	0.836127	1296	9	1

2.3.3 Konversi Satuan Volume (*Volume Units*)

Tabel konversi khususnya satuan volume dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Konversi Satuan Volume (ISA, 2007)

Centimeter cube	Meter cube	Liter	Inch cube	Foot cube
cm ³	m ³	ltr	In ³	Ft ³
1	0.000001	0.001	0.061024	0.000035
1000000	1	1000	61024	35
1000	0.001	1	61	0.035
16.4	0.000016	0.016387	1	0.000579
28317	0.028317	28.31685	1728	1
3785	0.003785	3.79	231	0.13
4545	0.004545	4.55	277	0.16
158970	0.15897	159	159	6

2.3.4 Konversi Satuan Berat (*Mass Units*)

Tabel konversi satuan berat dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Konversi Satuan Berat (ISA, 2007)

Grams	Kilograms	Metric tonnes	Short ton	Long ton	Pounds	Ounces
g	kg	tonne	shton	Lton	lb	oz
1	0.001	0.000001	0.000001	9.84e-07	0.002205	0.035273
1000	1	0.001	0.001102	0.000984	2.204586	35.27337
1000000	1000	1	1.102293	0.984252	2204.586	35273.37
907200	907.2	0.9072	1	0.892913	2000	32000
1016000	1016	1.016	1.119929	1	2239.859	35837.74
453.6	0.4536	0.000454	0.0005	0.000446	1	16
28	0.02835	0.000028	0.000031	0.000028	0.0625	1

2.3.5 Konversi Satuan kepadatan (*Density Units*)

Tabel konversi satuan kepadatan dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.6. Konversi Satuan kepadatan

Gram/milliliter	Kilogram/meter cube	Pound/foot cube	Pound/inch cube
g/ml	kg/m3	lb/ft3	lb/in3
1	1000	62.42197	0.036127
0.001	1	0.062422	0.000036
0.01602	16.02	1	0.000579
27.68	27680	1727.84	1

2.3.6 Konversi Satuan Airan Cairan (*Volumetric Liquid Flow Units*)

Tabel konversi satuan aliran cairan dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Konversi Satuan Airan Cairan (ISA, 2007)

Liter/second	Liter/minute	Meter cube/hour	Foot cube/minute	Foot cube/hour	US gallons/minute	US barrels (oil)/day
L/sec	L/min	M ³ /hr	ft ³ /min	ft ³ /hr	gal/min	US bbl/d
1	60	3.6	2.119093	127.1197	15.85037	543.4783
0.016666	1	0.06	0.035317	2.118577	0.264162	9.057609
0.277778	16.6667	1	0.588637	35.31102	4.40288	150.9661
0.4719	28.31513	1.69884	1	60	7.479791	256.4674
0.007867	0.472015	0.02832	0.01667	1	0.124689	4.275326
0.06309	3.785551	0.227124	0.133694	8.019983	1	34.28804
0.00184	0.110404	0.006624	0.003899	0.2339	0.029165	1

2.3.7 Konversi Satuan Aliran Gas Volumetrik (*Volumetric Gas Flow Units*)

Tabel konversi satuan aliran gas volumetric dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Konversi Satuan Aliran Gas Volumetrik (ISA, 2007)

Normal meter cube/hour	Standard cubic feet/hour	Standard cubic feet/minute
Nm ³ /hr	scfh	scfm
1	35.31073	0.588582
0.02832	1	0.016669
1.699	59.99294	1

2.3.8 Konversi Satuan Aliran Massa (*Mass Flow Units*)

Tabel konversi satuan aliran massa dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9. Konversi Satuan Aliran Massa (ISA, 2007)

Kilogram/hou	Pound/hou	Kilogram/second	Ton/hour
kg/h	lb/hour	kg/s	t/h
1	2.204586	0.000278	0.001
0.4536	1	0.000126	0.000454
3600	7936.508	1	3.6
1000	2204.586	0.277778	1

2.3.9 Konversi Satuan Tekanan Tinggi (*High Pressure Units*)

Tabel konversi satuan tekanan tinggi dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Satuan Tekanan Tinggi

Bar	Pound/square inch	Kilopascal	Megapascal	Kilogram force/centimeter square	Millimeter of mercury	Atmospheres
bar	psi	kPa	MPa	kgf/cm ²	mm Hg	atm
1	14.50326	100	0.1	1.01968	750.0188	0.987167
0.06895	1	6.895	0.006895	0.070307	51.71379	0.068065
0.01	0.1450	1	0.001	0.01020	7.5002	0.00987
10	145.03	1000	1	10.197	7500.2	9.8717
0.9807	14.22335	98.07	0.09807	1	735.5434	0.968115
0.001333	0.019337	0.13333	0.000133	0.00136	1	0.001316
1.013	14.69181	101.3	0.1013	1.032936	759.769	1

2.3.10 Konversi Satuan Tekanan Rendah (*Low Pressure Units*)

Tabel konversi satuan tekanan rendah dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11. Konversi Satuan Tekanan Rendah

Meter of water	Foot of water	Centimeter of mercury	Inches of mercury	Inches of water	Pascal
mH2O	ftH2O	cmHg	inHg	inH2O	Pa
1	3.280696	7.356339	2.896043	39.36572	9806
0.304813	1	2.242311	0.882753	11.9992	2989
0.135937	0.445969	1	0.39368	5.351265	1333
0.345299	1.13282	2.540135	1	13.59293	3386
0.025403	0.083339	0.186872	0.073568	1	249.1
0.000102	0.000335	0.00075	0.000295	0.004014	1

2.3.11 Konversi Satuan Kecepatan (*Speed Units*)

Tabel konversi satuan kecepatan dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Konversi Satuan Kecepatan (ISA, 2007)

Meter/ second	Meter/ minute	Kilometer/ hour	Foot/ second	Foot/ minute	Miles/ hour
m/s	m/min	km/h	ft/s	ft/min	mi/h
1	59.988	3.599712	3.28084	196.8504	2.237136
0.01667	1	0.060007	0.054692	3.281496	0.037293
0.2778	16.66467	1	0.911417	54.68504	0.621477
0.3048	18.28434	1.097192	1	60	0.681879
0.00508	0.304739	0.018287	0.016667	1	0.011365
0.447	26.81464	1.609071	1.466535		1

2.3.12 Konversi Satuan Torsi (*Torque Units*)

Tabel konversi satuan torsi dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13. Konversi Satuan Torsi (ISA, 2007)

Newton meter	Kilogram force meter	Foot pound	Inch pound
Nm	kgfm	ftlb	inlb
1	0.101972	0.737561	8.850732
9.80665	1	7.233003	86.79603
1.35582	0.138255	1	12
0.112985	0.011521	0.083333	1

2.3.13 Konversi Satuan Viskositas Dinamis (*Dynamic Viscosity Units*)

Tabel konversi satuan viskositas dinamis dapat dilihat pada Tabel 2.14

Tabel 2.14. Satuan Viskositas Dinamis (ISA, 2007)

Centipoise*	Poise	Pound/foot·second
cp	poise	lb/(ft·s)
1	0.01	0.000672
100	1	0.067197
1488.16	14.8816	1

2.3.14 Konversi Satuan Viskositas Kinematik (*Kinematic Viscosity Units*)

Tabel konversi satuan viskositas kinematic dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15. Satuan Viskositas Kinematik (ISA, 2007)

Centistoke*	Stoke	Foot square/second	meter square/second
cs	St	ft ² /S	m ² /S
1	0.01	0.000011	0.000001
100	1	0.001076	0.0001
92903	929.03	1	0.092903
1000000	10000	10.76392	1

2.3.15 Rumus Konversi Suhu (*Temperature Conversion Formulas*)

Rumus konversi suhu dapat dilihat pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16. Rumus Konversi Suhu (ISA, 2007)

Degree Celsius (°C)	$(^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$
	$(\text{K} - 273.15)$
Degree Fahrenheit (°F)	$(^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32$
	$(1.8 \times \text{K}) - 459.67$
Kelvin (K)	$(^{\circ}\text{C} + 273.15)$
	$(^{\circ}\text{F} + 459.67) \div 1.8$

DAFTAR PUSTAKA

- ISA. 2007. *UNITS CONVERSION TABLES, International Society of Automation*. Available at: <https://www.isa.org/getmedia/192f7bda-c77c-480a-8925-1a39787ed098/CCST-Conversions-document.pdf> (Accessed: 27 March 2023).
- problemsphysics.com. 2023. *SI Prefixes Used with Units in Physics, Chemistry and Engineering*. Available at: <https://www.problemsphysics.com/formulas/prefixes.html> (Accessed: 27 March 2023).

BAB 3

PENGUKURAN PANJANG, MASSA DAN KONSEP KINEMATIKA

Oleh Tukimun

3.1 Konsep Panjang

3.1.1 Pengertian Panjang

Apa sih yang dimaksudkan dengan pengertian panjang itu? Misalkan kalian berpergian dari satu kota, misalkan kota A menuju kota B. Jarak antara kota A dan kota B adalah 50 km. Apakah jarak tersebut juga termasuk panjang?. Contoh lagi kalian melakukan pendakian pada sebuah gunung. Ketinggian gunung terset adalah 120 meter diatas permukaan laut. Apakah ketinggian tersebut juga masuk dalam kategori panjang?.

Jadi panjang itu sendiri adalah merupakan suatu besaran pokok. Besaran Pokok adalah suatu besaran yang berdiri sendiri dan tidak diturunkan dari besaran lainnya. Besaran pokok merupakan konsensus dunia yang menetapkan 7 besaran pokok yaitu Panjang, Massa , Waktu, Suhu, Kuat Arus, Jumlah molekul, Intensitas Cahaya. Jadi panjang sendiri merupakan 1 dari 7 besaran pokok. Sedangkan makna dari besaran itu sendiri adalah merupakan segala sesuatu yang dapat dinilai atau diukur dan dinyatakan dengan nilai atau satuan. Sesuatu yang dapat diukur dan mempunyai nilai angka dinyatakan sebagai suatu besaran. Ada sesuatu di dunia ini yang tidak dapat diukur dan tidak mempunyai nilai angka, contohnya cantik, indah, gagah, nikmat, puas adalah sesuatu yang tidak dapat diukur namun bisa dirasakan. Tiap manusia akan beda-beda dalam menilai suatu kepuasan, keindahan, kecantikan tergantung sudut pandang dan persepsi dari

masing-masing individu. Misalkan kita melihat orang yang kita cintai, walaupun dalam kondisi apapun kita akan merasakan kecantikan itu muncul selalu dipenilaian kita terhadap seseorang tersebut. Jadi hal tersebut bersifat abstrak atau tidak nyata.

Tabel 3.1. Besaran pokok

NO.	BESARAN	SATUAN DASAR SI	SIMBOL	DIMENSI
1.	Panjang	meter	m	[L]
2.	Massa	kilogram	kg	[M]
3.	Waktu	sekon	s	[T]
4.	Arus Listrik	ampere	A	[I]
5.	Suhu	kelvin	K	[θ]
6.	Jumlah Zat	mol	mol	[N]
7.	Intensitas Cahaya	kandela	cd	[J]

Jadi, jelaslah bahwa panjang adalah merupakan suatu yang dapat diukur dan dinilai dengan angka. Besaran panjang adalah dimensi suatu benda yang menyatakan jarak antar ujung, yaitu ujung awal dan ujung akhir dari suatu benda. Panjang dapat dibagi menjadi tinggi, yaitu jarak vertikal; kemudian lebar, yaitu jarak dari satu sisi ke sisi yang lainnya dan diukur pada sudut tegak lurus terhadap panjang benda itu sendiri. Dalam ilmu fisika dan ilmu teknik, kata “panjang” biasanya digunakan secara sinonim dengan “jarak”, dengan simbol “l” atau “L” (singkatan dari bahasa Inggris *length*). (KBBI, 1997).



Gambar 3.1. Contoh besaran panjang

Jadi jelaslah sudah bahwa tinggi, jarak, lebar adalah termasuk dalam suatu ukuran panjang yang dapat dinyatakan dalam satuan centimeter, meter atau kilometer tergantung pada penggunaan ukuran panjang yang dimaksudkan.

3.1.2 Dimensi Panjang

Analisis dimensi merupakan sebuah cara yang sering digunakan dalam ilmu fisika, kimia dan teknik, untuk memahami keadaan fisis yang melibatkan besaran yang berbeda-beda. Analisis dimensi selalu digunakan untuk memeriksa ketepatan penurunan suatu persamaan. Contohnya, jika ada besaran fisis memiliki satuan massa (M) dibagi satuan volume (V), namun persamaan hasil penurunan hanya memuat satuan massa, persamaan tersebut tidak tepat, dan harus diperbaiki atau perlu analisa dimensi. peruntukan besaran-besaran yang memiliki dimensi sama dapat saling ditambahkan, dikurangkan atau disamakan. Namun jika ada besaran-besaran dengan berbeda dimensi yang ada dalam suatu persamaan, dan satu dengan yang lainnya dibatasi oleh tanda “+” atau “-” atau “=”, persamaan tersebut harus dikoreksi terlebih

dahulu sebelum digunakan. Jika besaran-besaran berdimensi sama ataupun berbeda dikalikan atau dibagi, dimensi besaran-besaran tersebut juga akan terkalikan atau terbagi. Apabila suatu besaran berdimensi dipangkatkan, maka dimensi besaran tersebut juga akan dipangkatkan (Tukimun, 2015).

Dimensi besaran panjang dinyatakan dalam simbol [L]. Dimensi adalah suatu metode yang digunakan untuk melihat besaran penyusun dari suatu besaran turunan. Dimensi dibagi menjadi 2 yaitu dimensi primer yang tersusun dari besaran-besaran pokok dan besaran sekunder yakni yang tersusun dari besaran-besaran turunan yang termasuk dalam besaran pokok. Jadi tipe dimensi tergantung dari susunan besaran-besaran yang ada. Contoh dimensi panjang adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Besaran Luas} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= \text{besaran panjang} \times \text{besaran panjang} \\ &= m \times m \\ &= m^2\end{aligned}$$

$$\text{Dimensi Luas} = [L] \times [L] = [L^2]$$

$$\begin{aligned}\text{Besaran Isi} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \\ &= \text{besaran panjang} \times \text{besaran panjang} \times \\ &\quad \text{besaran panjang} \\ &= m \times m \times m \\ &= m^3\end{aligned}$$

$$\text{Dimensi Luas} = [L] \times [L] \times [L] = [L^3]$$

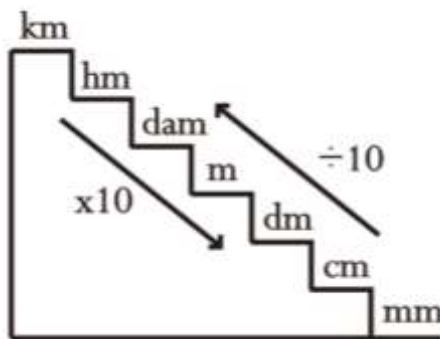
3.1.3 Konversi Satuan Panjang

Besaran panjang mempunyai satuan sebagai nilai dari sebuah besaran panjang tersebut. Satuan panjang bisa dalam centi meter (Cm), meter (m), kilo meter (Km) dan satuan panjang lainnya. Bagaimana caranya mengkonversi satuan panjang tersebut dalam satuan panjang yang berbeda? Berikut cara melakukan konversi pada satuan panjang.

Satuan panjang yang berlaku di Indonesia mungkin berbeda dengan satuan panjang yang dipakai di negara lain. Misalkan negara tertentu lebih menggunakan satuan panjang seperti feet, kaki dan satuan panjang lainnya. Namun satuan panjang yang dipakai secara resmi di Indonesia adalah km, hm, dam, m, dm, cm dan mm.

Berikut tangga konversi untuk merubah satuan panjang. Konversi dari tangga konversi satuan atas ke satuan bawahnya adalah dengan mengalikan 10 perkelipatan tangga konversi. Misalkan dari km ke m turun sebanyak 3 tangga. Jadi nilai konversinya adalah $10 \times 10 \times 10 = 10^3$. Contoh 20 km di konversikan ke satuan meter adalah $20 \times 10^3 = 20.000$ meter.

Untuk konversi satuan panjang dari tangga konversi bawah menuju ke atas dengan cara membagi kelipatan 10. Misalkan contoh diatas dari 20.000 meter dikonversikan kedalam satuan km adalah naik 3 tangga yang artinya dibagi $10:10:10 = 10^{-3}$. Jadi $20.000 : 10^3 = 20$ km. Jadi jika konversi arah turun pada tangga konversi maka dikalikan kelipatan 10, dan apabila arah naik pada tangga konversi satuan, maka nilai konversi akan dibagi per kelipatan 10. Tangga konversi satuan panjang dapat dilihat pada gambar 3.2. berikut:



Gambar 3.2. Tangga konversi besaran panjang

3.1.4 Pengukuran Panjang

Panjang termasuk dalam suatu besaran yang dapat diukur dan mempunyai nilai angka. Bagaimana cara mengukur suatu panjang? Era modern sekarang ini banyak cara untuk mengukur suatu panjang baik dengan cara manual maupun dengan cara mekanis. Pengukuran adalah proses membandingkan suatu besaran dengan besaran standar. Seringkali dalam pengukuran memiliki kesalahan (error) yang menyebabkan data pengukuran tidak valid. Banyak kesalahan dalam pengukuran yang disebabkan oleh faktor manusia, faktor peralatan dan faktor kondisi alam atau diluar batas kemampuan manusia berencana.

Pengukuran manual adalah teknik pengukuran yang dilakukan oleh manusia dengan peralatan sederhana dengan pengolahan data secara manual. Dalam jenis pengukuran ini seringkali terjadi kesalahan (error) yang diakibatkan oleh faktor manusia yakni ketelitian dan kondisi fisik dari manusia yang melakukan pengukuran tersebut.



Gambar 3.3. Contoh alat ukur manual

Pengukuran secara mekanis adalah pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan bantuan peralatan yang

berteknologi tinggi dan langsung memberikan output pengukuran tanpa harus dikompilasi dan dihitung secara manual. Pengukuran mekanis ini memiliki kelebihan dari sisi kesalahan pengukuran, ketelitian dan ketepatan pengukuran serta kecepatan dalam proses pengukuran. Berikut contoh pengukuran panjang dengan cara mekanis sebagai berikut:



Gambar 3.4. Contoh alat ukur mekanis

Dalam pengukuran panjang dibutuhkan adanya ketelitian dan ketepatan dalam proses pengukuran panjang tersebut. Ketepatan dan ketelitian akan berdampak pada hasil pengukuran yang dapat dipertanggung jawabkan karena data yang valid akan berdampak pada hasil analisis yang valid juga. Adapun pengertian dari ketepatan dan ketelitian adalah sebagai berikut:

a. Ketepatan (*Accuracy*)

Ketepatan adalah istilah dalam suatu pengukuran adalah merupakan nilai-nilai hasil pengukuran yang tidak keluar dari batas-batas toleransi yang disyaratkan dalam sebuah pengukuran. Semakin nilai pengukuran mendekati dan tepat alias tidak keluar dari syarat atau batas, maka dikatakan pengukuran tersebut tepat. Ketepatan ini idektik dengan membandingkan pengukuran yang dilakukan berulang-ulang dan dari beberapa data pengukuran tersebut hasil yang didapatkan persis sama atau tidak keluar dari standar toleransi dalam pengukuran tersebut.

b. Ketelitian (*Precision*)

Ketelitian ini sebenarnya ada 2 makna yang bisa dipahami dari konsep ketelitian, yaitu ketelitian dari proses pengukuran dan ketelitian dari hasil pengukuran. Kalau penelitian dari proses pengukuran sendiri faktor manusia memegang peranan penting dalam ketelitian suatu pengukuran. Namun jika ketelitian hasil pengukuran adalah berupa nilai ketepatan dari data pengukuran yang dilakukan terhadap kondisi nyata di lapangan.

3.2 Konsep Massa

3.2.1 Pengertian Massa

Massa atau *jisim* adalah suatu sifat fisika dari suatu benda yang digunakan untuk menjelaskan berbagai perilaku objek yang terpantau. Dalam kegunaan sehari-hari, massa biasanya disinonimkan dengan berat. namun menurut pemahaman ilmiah modern, berat suatu objek diakibatkan oleh interaksi massa dengan medan gravitasi. (Wikipedia, 2023).

Jadi massa dengan berat jelas berbeda, namun kecenderungan pemahaman hampir sama karena memiliki satuan yang sama dimasyarakat. Misalkan 10 kg beras, 15 kg minyak dan lainnya. Dalam ilmu teknik sipil satuan berat dengan massa

sangatlah berbeda. Kalau massa biasanya satuannya Kg, Gram, miligram dan satuan berat biasanya menggunakan Newton, Kg/cm^2 , Kg/m^2 , kg/m^3 dan seterusnya.

Dari sisi nilai sendiri, kalau berat nilai yang dihasilkan variatif tergantung posisi benda tersebut berada. Sedangkan massa nilai yang dihasilkan akan selalu konstan (tetap). Massa tidak dipengaruhi terhadap posisi atau percepatan gravitasi bumi. Jadi massa di bumi nilainya akan sama dengan massa yang ada di bulan. Sedangkan berat di bumi belum tentu sama dengan berat yang ada di bulan. Seperti fenomena astronot dimana berat astronot di bulan lebih ringan dibandingkan di bumi, sehingga astronot tersebut melayang.

Berat rumusnya $W = m \cdot g$

Dimana: w = Gaya Berat (kg.m/s^2)

M = massa (kg)

G = percepatan gravitasi ($9,78 \text{ m/s}^2$)

Contoh soal:

Sebuah beban beton dengan massa 2400 kg. Dipikul oleh struktur kolom. Berapa gaya berat beton tersebut diterima oleh kolom? Dimana $g = (9,78 \text{ m/s}^2)$.

Jawab:

$$\begin{aligned} W &= m \cdot g \\ &= 2400 \times 9,78 \\ &= 23.472 \text{ kg.m/s}^2 \end{aligned}$$

3.2.2 Pengukuran Massa

Pengukuran massa dapat dilakukan dengan menggunakan 2 cara yakni pengukuran massa dengan persamaan dan pengukuran massa dengan alar neraca. Pengukuran massa dengan persamaan adalah dengan menggunakan persamaan gaya berat benda yaitu:

$$W = m.g$$

dimana W identik dengan gaya (F) dan g adalah merupakan percepatan gravitasi atau (a). Sehingga rumus gaya berat menjadi:

$$F = m.a$$

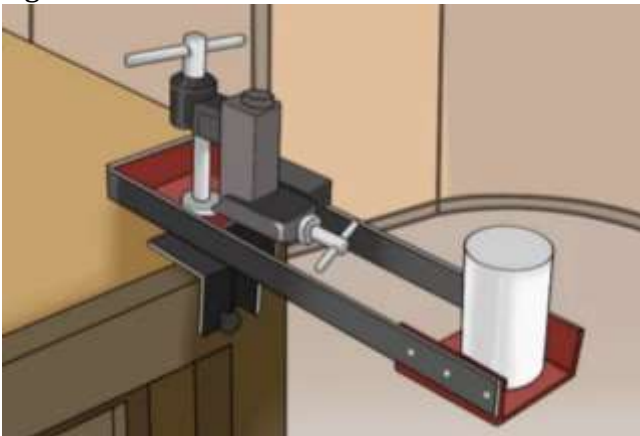
Untuk menjadi massa benda, maka rumus diatas menjadi:

$$m = F / a$$

Dengan demikian massa benda akan dapat diketahui ketika berat benda sudah diukur atau diketahui dengan cara melakukan penimbangan pada berat benda tersebut.

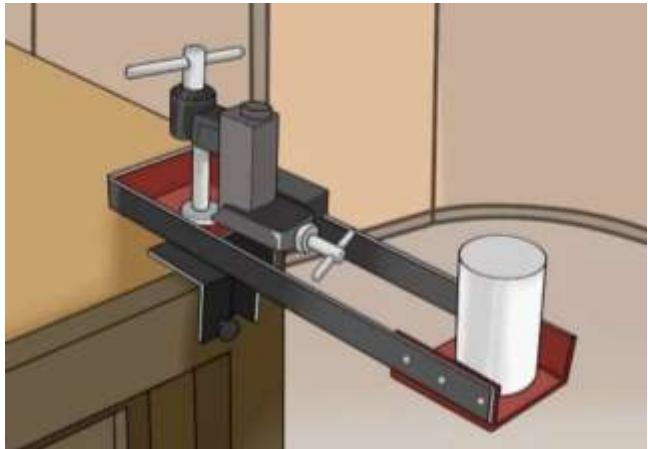
Pengukuran massa selanjutnya adalah dengan cara menimbang benda dengan neraca. Neraca ini berbeda dengan timbangan. Karena neraca ini untuk mengukur massa yang sudah diketahui maupun yang belum diketahui, dan timbangan untuk mengukur berat dari suatu benda.

Pengukuran neraca ada 2 jenis yaitu pengukuran massa gravitasi dan pengukuran massa inersia. Adapun penjelasan pengukuran dengan neraca massa gravitasi dan massa inersia adalah sebagai berikut:



Gambar 3.5. Pengukuran neraca gravitasi

1. Untuk mendapatkan massa benda dengan menggunakan neraca tiga lengan atau neraca dua lengan merupakan sebuah bentuk mengukur massa gravitasi. Pengukuran ini disebut sebagai pengukuran statis, yaitu bentuk pengukuran yang memiliki hasil akurat jika benda yang diukur dalam keadaan diam.
2. Neraca ini adalah alat yang dapat digunakan untuk mengukur berat dan massa. Sebab pengukuran berat neraca akan berubah sesuai faktor yang sama saat benda yang diukur. Neraca akan dapat mengukur massa sebuah benda dengan akurat, dengan tanpa mempedulikan gravitasi spesifik lingkungan sekitar.



Gambar 3.6. Pengukuran neraca inersia

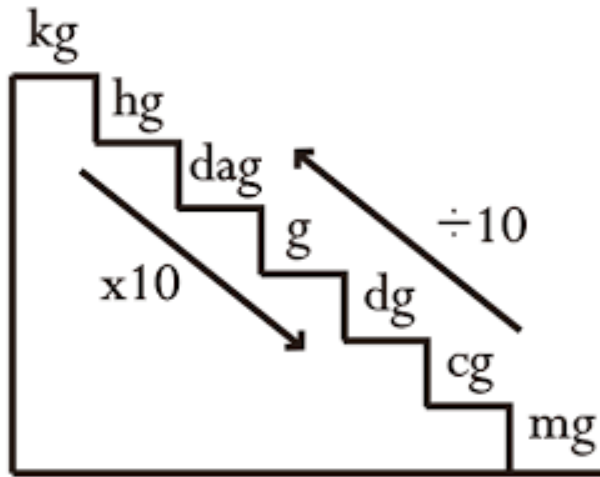
Massa inersia adalah bentuk pengukuran massa dengan cara dinamis (bergerak), yaitu cara pengukuran ini hanya dapat dilakukan pada sebuah benda yang diukur dalam keadaan bergerak. Inersia suatu benda digunakan untuk mengukur jumlah

zat dalam suatu susunan partikel pembentuk benda. Penjelasan mengenai pengukuran neraca inersia adalah sebagai berikut:

1. Neraca inersia dipergunakan untuk mengukur massa inersia.
2. Letakkan neraca inersia di atas sebuah meja.
3. Lakukan kalibrasi neraca inersia tersebut dengan cara menggerakkan wadahnya dan menghitung banyak getaran dalam selang waktu tertentu, misalnya 30 detik.
4. Kemudian letakkan benda yang akan diukur dengan mengetahui nilai massanya pada wadah dan ulangi percobaan tersebut.
5. Lanjutkan dengan menggunakan beberapa benda yang sudah diketahui massanya untuk menyelesaikan kalibrasi skalanya.
6. Ulangi percobaan tersebut dengan benda lain yang tidak diketahui massanya, untuk mengetahui massa benda tersebut.
7. Kemudian gambarkan grafik semua hasil untuk mencari massa pada benda terakhir yang diukur atau yang belum diketahui massa bendanya.

3.2.3 Konversi Satuan Massa

Massa suatu benda memiliki satuan, karena merupakan besaran pokok. Cara mengkonversi satuan massa hampir sama dengan konsep konversi satuan pada panjang. Metode yang digunakan juga sama yaitu dengan menggunakan tangga konversi. Adapun tangga konversi satuan massa adalah sebagai berikut:



Gambar 3.7. Tangga konversi besaran massa

Cara konversi satuan pada besaran massa adalah jika konversi dari atas ke bawah pada tangga konversi, maka nilai konversi dikali dengan kelipatan 10 pada tangga konversi tersebut. Misalkan 100 kg dirubah ke dalam satuan gram, maka turun sebanyak 3 anak tangga konversi. Sehingga 100 kg dikonversi menjadi $100 \times (10 \times 10 \times 10) = 100.000$ gram. Demikian halnya jika konversi satuan dari tangga bawah menuju ke atas nilainya dibagi kelipatan 10. Misalkan 100.000 gram dirubah ke dalam satuan kg maka menjadi 100 kg.

3.3 Konsep Kinematika

3.3.1 Pengertian Kinematika

Seperti kita ketahui bersama konsep fisika klasik sering kita jumpai mengenai makna kinematika dan dinamika. Kinematika dan dinamika ini merupakan penjabaran dari ilmu fisika. Kinematika adalah merupakan cabang dari ilmu fisika yang mempelajari tentang gerak dari suatu benda tanpa melihat

penyebab dari benda tersebut dapat bergerak. Artinya kinematika ini lebih mempelajari terhadap perilaku, bentuk dari gerak suatu benda di semesta ini.

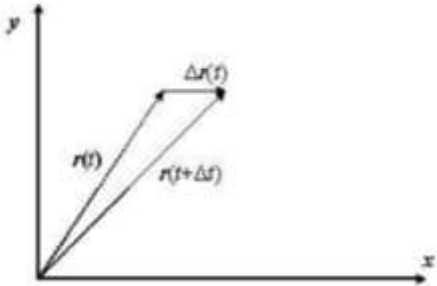
Gerak di dalam ilmu fisika dapat didefinisikan sebagai bentuk perubahan tempat / kedudukan dari suatu benda, baik hanya sekali maupun berkali-kali. Di dunia sains, gerak memiliki nilai besaran skalar dan besaran vektor. Kombinasi dari kedua besaran tersebut dapat menjadi besaran baru yang disebut kecepatan (V) dan percepatan (a), (Tukimun, 2018).

Sedangkan Dinamika adalah merupakan cabang dari ilmu fisika yang mempelajari tentang penyebab dari benda itu dapat bergerak. Dinamika memfokuskan kepada faktor-faktor penyebab benda dapat bergerak. Biasanya lebih membahas mengenai gaya, hukum newton 1 sampai 3 dan penyebab-penyebab dari suatu benda bergerak.

Contoh-contoh mengenai konsep kinematika adalah perilaku pergerakan kendaraan dari kota A menuju kota B akan berlaku mengenai konsep Gerak Lurus Beraturan (GLB) atau Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB). Ada sebuah bola ditendang dengan gaya tendangan tertentu kemudian bola bergerak secara parabola merupakan konsep kinematika gerak parabola. Seperti kelapa jatuh dari tangkainya adalah merupakan contoh penerapan kinematika pada gerakan jatuh bebas pada benda, dan masih banyak contoh lainnya mengenai konsep dari kinematika ini. Tujuan mempelajari kinematika ini, maka kita akan banyak bermanfaat terhadap konsep-konsep gerak dalam perhitungan-perhitungan efisiensi kerja, ilmu teknik transportasi dan ilmu lainnya yang berhubungan dengan gerakan suatu benda.

3.3.2 Kecepatan

Suatu benda yang bergerak akan memiliki kecepatan. Jadi kecepatan adalah selang waktu (Δt), posisi suatu benda akan berpindah dari $r(t)$ menjadi $r(t + \Delta t)$. Sehingga vektor perubahan terhadap posisi benda tersebut menjadi:



Gambar 3.8. Konsep Kecepatan gerak benda

Rumus Kecepatan:

$$V = S/t$$

Dimana:

V = Kecepatan (km/jam)

S = Jarak (km)

t = Waktu (jam)

3.3.3 Kelajuan

Besar dari sebuah vektor kecepatan disebut juga sebagai percepatan / kelajuan. Kelajuan dari suatu gerak benda tidak akan berubah walaupun walaupun kecepatan benda tersebut berubah. Yaitu apabila vektor kecepatan berubah arahnya tanpa berubah besarnya.

3.3.4 Percepatan

Percepatan benda adalah merupakan laju perubahan kecepatan benda bergerak terhadap waktu. Percepatan rata-rata benda dapat didefinisikan dengan rumus berikut:

Rumus Percepatan:

$$a = V/t$$

Rumus Percepatan rata-rata:

$$\Delta a = \Delta v / \Delta t$$

Dimana a = percepatan (km/dt²)
 V = Kecepatan (km/dt)
 t = Waktu (detik)

3.3.5 Macam-Macam Bentuk Kinematika (gerak)

a. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Gerak lurus beraturan adalah merupakan bentuk dari gerakan benda yang tidak memiliki nilai percepatan ($a=0$). Gerak lurus beraturan ini sering kita jumpai pada gerak pesawat terbang yang autopilot atau gerak kereta api yang posisi auto pilot (percepatan konstan).

Berlaku rRumus Kecepatan:

$$V = S/t$$

Dimana: V = Kcepatan (km/jam)
 S = Jarak (km)
 t = Waktu (jam)

Gerak bersifat relatif artinya gerak suatu benda sangat bergantung pada titik pandang / acuannya. Benda yang bergerak dapat dikatakan tidak bergerak, sebagai contoh gedung yang ada di bumi pasti dikatakan tidak bergerak oleh manusia yang ada di bumi. Jika kita melihat dari posisi matahari, maka gedung tersebut akan bergerak bersama bumi mengelilingi matahari.

b. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah merupakan gerak suatu benda yang mana nilai percepatan benda berubah secara beraturan (konstan). Rumus Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) sebagai berikut:

$$V_t = V_o + a \times t$$

$$V_t^2 = V_o^2 + 2 \times a \times t$$

$$S = V_o \times t + \frac{1}{2} \times a \times t^2$$

Dimana: v_o = Kecepatan awal (m/s)

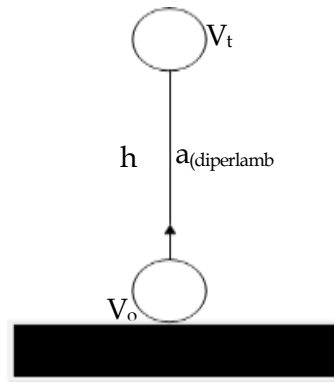
v_t = Kecepatan akhir (m/s)

a = Percepatan (m/s²)

s = Jarak yang ditempuh (m)

c. Gerak Vertikal keatas (GVA)

Benda jika dilemparkan secara vertikal keatas, dengan sudut tegak lurus terhadap bidang horizontal dengan kecepatan awal tertentu (V_o). Maka, arah gerak benda dan arah percepatan gravitasi berlawanan arah dan merupakan bentuk gerak lurus berubah beraturan (GLBB) diperlambat. Peluru akan mencapai titik tertinggi apabila (V_t) sama dengan nol ($V_t = 0$).



Gambar 3.9. Konsep GVA

Rumus-Rumus dalam GVA adalah:

$$t_{maks} = V_o / g ; g = \text{percepatan gravitasi}$$

$$h = V_o^2 / 2 \times g$$

$$t = 2 \times t_{maks}$$

$$V_t^2 = V_0^2 - 2 \times g \times h$$

Dimana:

V_0 = Kecepatan awal

V_t = Kecepatan benda di suatu ketinggian tertentu

g = Percepatan /Gravitasi bumi

h = Tinggi maksimum

t_{maks} = Waktu benda mencapai titik tertinggi

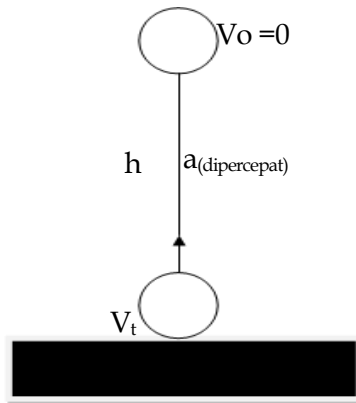
t =Waktu ketika benda kembali ke tanah

d. Gerak Jatuh Bebas (GJB)

Ada beberapa syarat dikatakan benda melakukan gerak jatuh bebas (GJB) yaitu:

1. Benda tersebut memiliki berat dan ketinggian dari permukaan tanah (h).
2. Benda dijatuhkan / terjatuh dengan kecepatan awal ($v_0 = 0$).
3. Benda dipengaruhi oleh percepatan gravitasi bumi (g) dan arah kecepatan/gerak benda searah (GLBB dipercepat)

Konsep gerak jatuh bebas (GJB) ini adalah merupakan bentuk dari gerakan benda jatuh dalam kondisi dimana tidak memiliki kecepatan awal.



Gambar 3.10. Konsep gerak GJB

Rumus-rumus dalam Gerak jatuh bebas (GJB) sebagai berikut:

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

$$T = \sqrt{2 \cdot h / g}$$

Dimana :

v = kecepatan di permukaan tanah

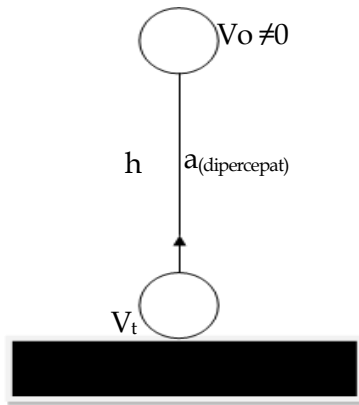
g = gravitasi bumi

h = tinggi dari permukaan tanah

t = lama benda sampai di tanah

e. Gerak Vertikal ke Bawah (GVB)

Gerak vertikal ke bawah (GVB) ini hampir sama dengan gerak jatuh bebas, namun perbedaan pada kecepatan awal ($v_0 \neq 0$). V_0 memiliki nilai kecepatan awalnya.



Gambar 3.11. Konsep gerak GVB

$$V_t = V_o + g \times t$$

$$V_t^2 = V_o^2 + 2 \times g \times h$$

Dimana:

V_o = Kecepatan awal

V_t = Kecepatan benda sampai ke tanah

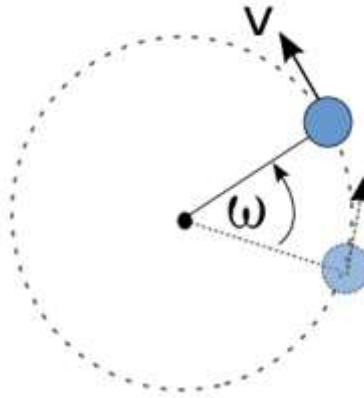
g = Percepatan /Gravitasi bumi

h = Ketinggian benda

t = Waktu

f. Gerak Melingkar

Gerak melingkar adalah merupakan bentuk gerak yang lintasan gerakanya berupa lingkaran. Banyak sekali contoh gerak melingkar dalam kehidupan sehari-hari seperti gerak roda kendaraan, gerak mesin silinder, gerakan kipas angin dan masih banyak contoh lainnya.



Gambar 3.12. Konsep Gerak Melingkar

Pada **gambar 3.12.** di atas, kondisi benda bergerak sejauh ω° selama t sekon, maka benda dikatakan melakukan perpindahan sudut. Besar perpindahan linear benda adalah $2\pi r$ atau sebesar keliling lingkaran. Besar perpindahan sudut dalam 1 putaran penuh adalah 2π radian atau 360° .

Perpindahan sudut adalah posisi sudut suatu benda yang bergerak secara melingkar dalam selang waktu tertentu.

$$\theta = \omega \cdot t$$

Dimana:

θ = perpindahan sudut (rad)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

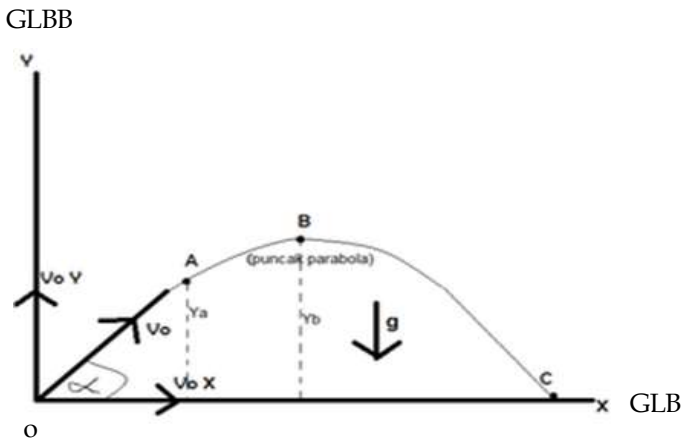
t = waktu (sekon)

$$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}$$

Dimana; α = Percepatan sudut (rad/s²)

g. Gerak Parabola

Gerak parabola adalah suatu gerak yang lintasannya membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal dari benda tersebut. Pada bentuk gerak parabola ini, gesekan benda dengan udara diabaikan. gaya yang bekerja pada benda tersebut hanyalah gaya berat / percepatan gravitasi bumi.



Gambar 3.13. Konsep Gerak Parabola

Rumus pada kondisi titik awal (o):

$$V_{ox} = V_o \cdot \cos \alpha$$

$$V_{oy} = V_o \cdot \sin \alpha$$

Pada titik A ($t = t_a$):

$$V_{ax} = V_{ox} = V_o \cdot \cos \alpha$$

$$V_{ay} = V_{oy} - g \cdot t_a$$

Letak/posisi di A:

$$X_a = V_{ox} \cdot t_a = V_o \cdot \cos \alpha \cdot t_a$$

$$Y_a = V_{oy} \cdot t_a - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_a^2$$

Titik tertinggi yang bisa dicapai (B):

$$h_{max} = \frac{(V_o \times \sin \alpha)^2}{2g} = \frac{(V_o^2 \times \sin^2 \alpha)}{2g}$$

Waktu untuk sampai di titik tertinggi (B) ($t = t_b$):

$$V_y = 0$$

$$V_y = V_{oy} - g \cdot t$$

$$T_b = V_o \cdot \sin \alpha / g = V_{oy} / g$$

Jarak mendatar/horizontal dari titik awal sampai titik B (X_b):

$$X_b = V_{ox} \cdot t_b$$

$$X_b = V_{ox}^2 \cdot \sin 2\alpha / 2g$$

Waktu untuk sampai di titik tertinggi (C) ($t = t_c$):

$$T_c = 2V_o \cdot \sin \alpha / g = 2V_{oy} / g$$

Jarak benda bergerak dari titik awal (o) sampai pada titik akhir (c) adalah:

$$X_{maks} = V_{ox} \cdot t_{total}$$

$$X_{maks} = V_o^2 \cdot \sin 2\alpha / g$$

3.4 Kesimpulan

Kesimpulan dari bab 4 ini adalah:

Besaran panjang adalah dimensi suatu benda yang menyatakan jarak antar ujung, yaitu ujung awal dan ujung akhir dari suatu benda. Panjang dapat dibagi menjadi tinggi, yaitu jarak vertikal; kemudian lebar, yaitu jarak dari satu sisi ke sisi yang lainnya dan diukur pada sudut tegak lurus terhadap panjang benda itu sendiri.

Massa atau jisim adalah suatu sifat fisika dari suatu benda yang digunakan untuk menjelaskan berbagai perilaku objek yang terpantau. Dalam kegunaan sehari-hari, massa biasanya disinonimkan dengan berat. namun menurut pemahaman ilmiah modern, berat suatu objek diakibatkan oleh interaksi massa dengan medan gravitasi. (Wikipedia, 2023).

Gerak di dalam ilmu fisika dapat didefinisikan sebagai bentuk perubahan tempat / kedudukan dari suatu benda, baik hanya sekali maupun berkali-kali. Di dunia sains, gerak memiliki nilai besaran skalar dan besaran vektor. Kombinasi dari kedua besaran tersebut dapat menjadi besaran baru yang disebut kecepatan (V) dan percepatan (a), (Tukimun, 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2015. Buku Ajar Fisika Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang
- Hallyday, Risnick. 1984. Fisika I, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Mirza Setiawan, Fisika Dasar (Teknik Sipil)-Kinematika, Physics Dept. Gadjah Mada University, Yogyakarta
- Riskawati, dkk. 2019. *Alat ukur dan pengukuran*. Makassar: LPP Unismuh Makassar, dicetak CV. Berkah Utami, ISBN: 978-602-8187-824
- Tukimun. 2018. *Fisika Teknik I*: Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
- Umar Yahdi. 1990. Pengantar Fisika Mekanika, seri diktat kuliah Universitas Gunadarma, Jakarta

BAB 4

BESARAN-BESARAN GERAK

Oleh Risnawaty Alyah

4.1 Pendahuluan

Gerak benda dapat kita deskripsikan setelah kita mendefinisikan besar-besaran gerak untuk benda tersebut. Kita akan mengetahui adanya besaran gerak pada saat tertentu jika benda berada pada suatu tempat, memiliki kecepatan berapa dan sedang bergerak ke arah mana. Kita dapat mengungkapkan besaran gerak dalam variabel waktu jika kita dapat menentukan kondisi benda tersebut. Dalam satu detik, satu jam, dan satu hari kemudian benda akan berada di mana, akan bergerak dengan kecepatan berapa, dan ke arah mana dapat dihitung dengan mudah.

Pada peluncuran roket atau peluru kendali ini sangat tergantung pada besaran gerak. Karena besaran gerak pada roket dan peluru kendali pada saat mendarat akan disimpan dalam sebuah memori komputer yang akan dikontrol dan diprogram untuk memiliki besaran gerak. Demikian pula pada pesawat udara.

Posisi yang diambil pada saat pesawat udara tiba di bandara tujuan yang tersimpan dalam memori komputer yaitu kecepatan gerak dan arah posisi pesawat udara tersebut. Semua data instrumen sistem kontrol besaran gerak pada pesawat udara tersimpan dalam memori komputer.

Besaran gerak adalah besaran fisis yang mendeskripsikan tentang gerak benda. Besaran-besaran gerak tersebut di antaranya adalah posisi, perpindahan, jarak tempuh, serta kecepatan dan kelajuan. Besaran gerak tersebut ada yang berupa besaran vektor dan ada yang berupa besaran skalar.

Bab ini akan mendefinisikan sejumlah besaran gerak yang utama. Dan juga membahas bagaimana mendapatkan atau menurunkan besaran gerak lainnya dari satu besaran gerak yang sudah ada. Besaran gerak cukup banyak, namun pada bab ini hanya menjelaskan tentang posisi, perpindahan, jarak tempuh, serta kecepatan dan kelajuan. Cara mendapatkan suatu besaran gerak ada yang hanya berupa perkalian atau pembagian biasa, proses integral, dan melalui proses diferensial.

4.2 Posisi

Posisi suatu benda merupakan tempat dimana benda tersebut terletak. Dan posisi juga merupakan suatu besaran vektor yang memiliki arah dan besar.



Gambar 4.1. posisi atau kedudukan suatu benda

Perpindahan posisi suatu benda atau terjadi pergerakan dari suatu benda. Jika pada titik A sebagai titik awal benda maka pada jika berpindah titik C maka bernilai -6 meter dari titik A. Dan begitu pula pada titik B jika berpindah maka bernilai 4 meter dari A, seperti pada contoh gambar diatas.

Pergerakan suatu benda menggunakan sumbu koordinat seperti gambar diatas. Dan jumlah sumbu koordinat tergantung dari jenis gerak yang akan digunakan. Jika sebuah benda bergerak pada suatu lintasan berupa garis lurus maka gerak benda tersebut menggunakan satu sumbu koordinat atau disebut juga gerak benda satu dimensi. Contoh pada saat di jalan tol mobil yang dikendarai berjalan di jalur lurus begitu pula pada kereta api akan berjalan pada rel kereta yang lurus.

Kita memerlukan dua sumbu koordinat yang saling tegak lurus pada saat benda bergerak pada bidang datar. Walaupun tidak harus dua sumbu tegak lurus, kita juga bisa menggunakan sumbu yang tidak berimpit pada benda yang bergerak pada bidang datar. Namun penggunaan sumbu yang tegak lurus akan mempermudah dalam menjelaskan gerak benda tersebut. Gerak benda pada bidang yang memerlukan dua sumbu koordinat di namakan gerak benda dua dimensi. Contoh gerak benda dua dimensi yaitu gerak pemain bola di lapangan, gerak benda diatas meja, gerak pembalap di sirkut, dan gerak kapal diatas laut.

Gerak benda yang paling umum adalah gerak dalam ruang, yang tidak hanya berada pada garis lurus dan satu bidang datar. Pada gerak umum diperlukan tiga sumbu koordinat yang saling tegak lurus untuk menjelaskan gerak benda secara lengkap. Walaupun tidak harus tegak lurus untuk menjelaskan gerak benda pada umum, asal ada tiga sumbu yang tidak berimpit maka tiga sumbu koordinat tersebut dapat digunakan untuk menjelaskannya disebut gerak tiga dimensi.

Sumbu koordinat adalah sumbu yang saling tegak lurus, yang umum digunakan selama ini. jika kita hanya menggunakan gerak satu dimensi maka sumbu koordinat yang kita gunakan adalah sumbu x . Sumbu yang kita gunakan pada gerak dua dimensi adalah sumbu x dan y yang saling tegak lurus. Sedangkan sumbu yang digunakan pada gerak tiga dimensi adalah sumbu x , y , dan z dan juga saling tegak lurus.

Posisi adalah vektor yang berpangkal dari pusat koordinat ke lokasi benda dalam sumbu koordinat. Sumbu koordinat harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum menentukan posisi. Karena benda pada tempat yang sama memiliki posisi yang berbeda jika kita menggunakan sumbu koordinat yang berbeda. Sedangkan pusat koordinat merupakan titik potong semua sumbu koordinat. Jika lokasi benda diproyeksikan secara tegak lurus ke masing-masing sumbu koordinat maka kita peroleh tiga parameter. Jika

proyeksi tersebut memotong masing-masing sumbu koordinat pada lokasi x , y , dan z maka kita dapatka posisi benda sebagai berikut :

$$\vec{r} = \hat{i}x + \hat{j}y + \hat{k}z$$

Dengan $\vec{r}$ adalah vektor yang pangkalnya di pusat koordinat dan ujungnya di posisi benda;

x adalah komponen vektor r dalam arah sumbu x ;

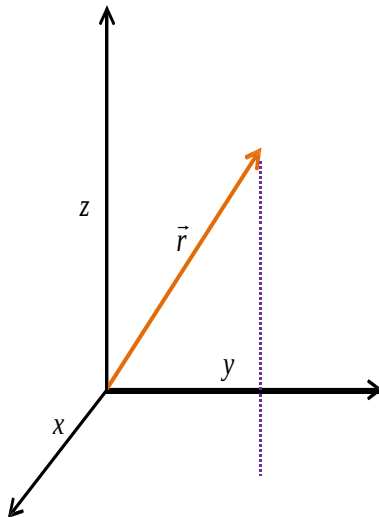
y adalah komponen vektor r dalam arah sumbu y ;

z adalah komponen vektor r dalam arah sumbu z

$\hat{i}$ adalah vektor satuan yang searah sumbu x , $\hat{j}$ adalah vektor satuan yang searah sumbu y , dan $\hat{k}$ vektor satuan yang searah sumbu z .

Vektor satuan artinya vektor yang panjangnya satu, atau

$$|\hat{i}| = 1, |\hat{j}| = 1, \text{ dan } |\hat{k}| = 1$$



Gambar 4.2. Posisi sebuah benda dalam koordinat 3 dimensi.

Panjang vektor $\vec{r}$ menyatakan jarak benda dari pusat koordinat memenuhi dalil Pythagoras (karena komponen saling tegak lurus), yaitu :

$$r = |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

Sebelum melangkah lebih jauh, mari kita lihat sifat perkalian vektor satuan. Sifat perkalian skalar yang dipenuhi adalah :

$$\hat{i} \cdot \hat{i} = 1, \hat{j} \cdot \hat{j} = 1, \hat{k} \cdot \hat{k} = 1 \\ \hat{i} \cdot \hat{j} = 0, \hat{j} \cdot \hat{k} = 0, \hat{i} \cdot \hat{k} = 0$$

4.2.1 Posisi di Permukaan Bumi

Posisi tempat di permukaan Bumi dinyatakan oleh koordinat lintang dan bujur. Posisi Koordinat lintang yang bernilai dari -90° atau 90° LS (kutub selatan Bumi) ke $+90^\circ$ atau 90° LU (kutub utara Bumi). Koordinat bujur bernilai dari -180° (180° BB) sampai $+180^\circ$ (180° BT). Bagaimana menyatakan vektor posisi lokasi yang berada di permukaan Bumi?

Posisi di permukaan Bumi lebih mudah digambarkan dalam diagram bola seperti diilustrasikan pada gambar dibawah ini. Namun pada bagian ini koordinat posisi di permukaan bumi memenuhi rumus seperti bawah ini:

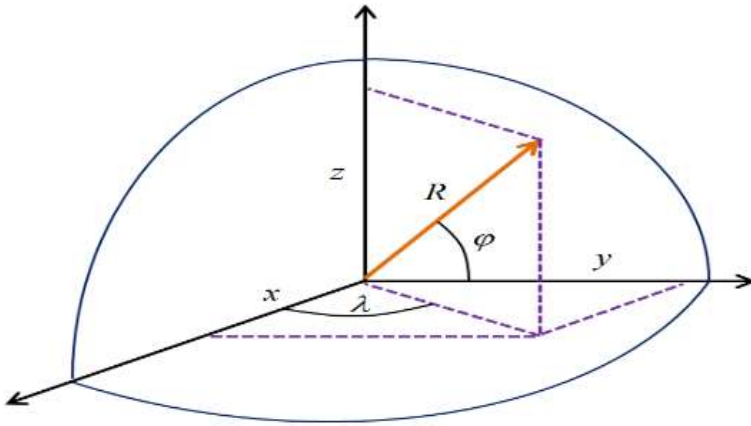
$$x = R \cos \theta \cos \phi \\ y = R \cos \theta \sin \phi \\ z = R \sin \theta$$

dengan

θ adalah sudut lintang;

ϕ adalah sudut bujur;

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



Gambar 4.3. Koordinat di permukaan bumi.

4.3 Perpindahan

Pada saat posisi benda berada di titik awal dan berpindah ke titik akhir maka benda tersebut melakukan perpindahan. Perpindahan suatu benda merupakan besan vektor yang memiliki Panjang dan arah.

Contoh, kita perhatikan gambar berikut ini:



Gambar 4.4. Posisi A dan B

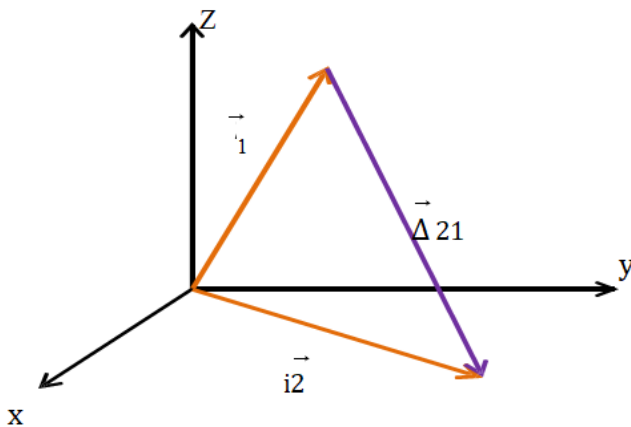
Apabila A dan B bertukar posisi, untuk bertukar posisi tersebut masing-masing menjalani perpindahan yang berbeda. Orang A berpindah sejauh 5 m, diperoleh dari $3\text{m} - (-2\text{m}) = 5\text{m}$. Sedangkan orang B berpindah sejauh $-2\text{m} - 3\text{m} = -5\text{m}$. Tanda

positif (+) pada perpindahan A menunjukkan bahwa A berpindah ke kanan dan tanda negatif (-) pada perpindahan B menunjukkan bahwa B berpindah ke kiri.

Misalkan sebuah benda mula-mula berada di titik A dengan vektor berada pada posisi $\vec{r}_1$. Beberapa saat kemudian benda tersebut berada pada titik B. Perpindahan benda dari titik A ke titik B di rumuskan sebagai berikut:

$$\vec{r}_{21} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

Tampak dari Gambar dibawah bahwa, vektor perpindahan $\vec{r}_{21}$ adalah vektor yang pangkalnya berada di ujung vector $\vec{r}_1$ dan kepalanya berada di ujung vector $\vec{r}_2$.



Gambar 4.5. Vektor perpindahan benda awal ke posisi akhir.

Konsep tentang perpindahan suatu benda adalah perpindahan suatu benda dari posisi awal ke posisi akhir dan memiliki panjang dan arah dari perpindahan. Nilai dari suatu perpindahan suatu benda yang ditentukan menjadi faktor penentu

laju suatu benda, yang bernilai dekat dan jauh yang berpengaruh pada waktu laju benda tersebut.

4.3.1 Mengukur perpindaham dengan GoogleMap

Google Maps adalah sebuah layanan gratis yang diberikan oleh google dan sangat populer. Google Maps adalah suatu peta dunia yang dapat digunakan suatu daerah di permukaan bumi.

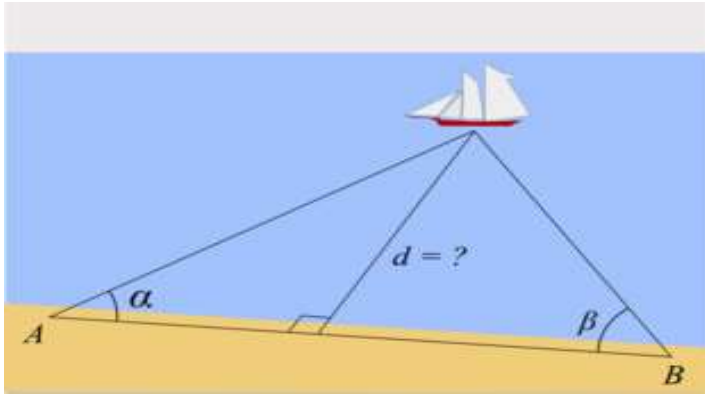
Google Maps juga dapat juga dilihat dengan menggunakan browser. Cara yang dilakukan pada saat membuka google Maps adalah pertama kita membuka google setelah itu ke fasilitas Map. Dan kita menandai tempat awal dan temapat akhir dengan suatu perintah yang disebut distance. Google Maps API suatu library yang berbentuk JavaScript (Kindarto, 2008)

4.3.2 Metode Triangulasi

Penentuan jarak suatu benda pada dua titik yang ada dapat menggunakan metode triangulasi yaitu dengan menarik garis lurus yang menghubungkan dua garis tersebut. Perhitungan jarak ini dilakukan dengan teliti. Karena membentuk sudut pada garis hubung dari satu titik ke benda yang akan ditentukan jaraknya. Demikian pula garis hubung titik kedua benda juga diukur. Hasil dari nilai sudut dan jarak dua titik menghasilkan jarak dari suatu benda.

Untuk menentukan jarak kapal dari garis pantai maka kita tetapkan dua titik acuan A dan B yang berada pada garis pantai.

Kita akan mengukur jarak dua titik A dan B dengan teliti. Apabila sudut di titik A disimbolkan dengan α dan sudut yang terbentuk di sudut B disimbolkan dengan β . Maka kita akan menentukan hasil perhitungan dari titik A dan titik B yang di simbolakn dengan d. Seperti contoh gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6. Contoh penentuan jarak suatu benda

Persamaan di bawah ini menggunakan aturan trigonometri :

$$\begin{aligned}
 l &= \frac{d}{\tan \alpha} + \frac{d}{\tan \beta} \\
 &= d \left[\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{\cos \beta}{\sin \beta} \right] = \left[\frac{\cos \alpha \sin \beta + \cos \beta \sin \alpha}{\sin \alpha \sin \beta} \right] \\
 &= d \frac{\sin (\alpha + \beta)}{\sin \alpha \sin \beta}
 \end{aligned}$$

4.4 Jarak Tempuh

Jarak yang ditempuh suatu benda ketika bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain di sebut jarak tempuh. Apabila benda melewati banyak tikungan Ketika berpindah dari satu tempat ke tempat yang lain maka jarak tempuh suatu benda makin banyak.

Pengukuran jarak tempuh suatu benda sangat sulit daripada pengukuran perpindahan, karena panjang lintasan suatu benda harus diukur. Mengukur perpindahan tidak terlalu sulit karena hanya mencatat gerakan suatu benda dan kita memperdulikan posisi benda pada saat bergerak. Kita hanya mencatat posisi awal benda dan dimana nanti posisi akhir suatu

benda. Tapi pada jarak tempuh setiap saat posisi benda harus dicatat. Bertambahnya waktu pergerakan suatu benda sekecil apapun harus dicatat. Jadi jarak tempuh dari suatu benda adalah penjumlahan dari semua jarak pada pergerakan benda tersebut.

4.5 Kecepatan dan Kelajuan

Kecepatan didefinisikan sebagai laju perubahan perpindahan atau jika perpindahan dipandang sebagai sebuah besaran vektor, maka kecepatan didefinisikan sebagai vektor laju perubahan perbandingan. Pada saat tertentu kecepatan suatu benda akan bergerak atau tidak dapat kita mengamati dengan melihat benda tersebut. Kecepatan benda pada saat diamati akan terjadi penghematan benda bergerak makin cepat atau makin lambat.

Pada saat kita mengendarai kendaraan tidak akan melaju dengan stabil pada lalu lintas perkotaan. Karena di daerah perkotaan kadang lalu lintas macet dan kadang juga lancar. Demikian pula yang terjadi di area sirkuit balapan. Karena seorang pembalap biasanya pada saat lomba dia akan melakukan percepatan dan perlambatan pada kendaraannya.

Karena kecepatan saat kita mengendarai kendaraan sering tidak stabil atau kadang lambat dan kadang cepat maka di butuhkan suatu besaran kecepatan yang lain, yang di sebut kecepatan rata-rata. Kecepatan rata-rata inilah yang menjadi nilai acuan untuk menghitung nilai kecepatan rata-rata suatu benda, dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{Perpindahan}}{\text{Waktu}} = \vec{V} = \frac{\Delta \vec{X}}{t}$$

Alat ukur kecepatan di sebut dengan velvometer. Penggunaan velvometer hampir sama spidometer. Cuma skala pada spidometer memiliki skala positif dan skala negative.

Seberapa cepat waktu tempuh suatu benda bergerak di sebut dengan kelajuan.

Menurut Sadowsky dan Ten Hompel (dalam Chandra 2015) menyatakan bahwa waktu tempuh berkaitan dengan jarak tempuh karena dengan mengurangi jarak tempuh maka akan mengurangi waktu tempuh. Karena pada umumnya jarak tempuh itu lebih besar daripada suatu perpindahan maka dari itu laju rata-rata lebih besar daripada kecepatan rata-rata.

Alat ukur kelajuan disebut spidometer. Jarum spidometer kendaraan yang bergerak akan menunjukkan pada angka tertentu. Angka yang ditunjukkan oleh spidometer tersebut, misalnya 110 km/jam adalah nilai kecepatan yang dimiliki kendaraan tersebut. .

Secara matematis, kelajuan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\bar{V} = \frac{\text{Jarak tempuh}}{\text{Waktu tempuh}} = \frac{\sum x}{\sum t} \text{ m/s}$$

4.6 Percepatan

Percepatan rata-rata ($\bar{a}$) didefinisikan sebagai perubahan kecepatan tiap satuan waktu yang diperlukan untuk perubahan tersebut, maka:

$$\bar{a} = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \text{ m/s}^2$$

Dimana: v_1 = kecepatan awal

v_2 = kecepatan akhir

t_1 = waktu saat kecepatan awal

t_2 = waktu saat kecepatan akhir.

Besaran vektor pada sebuah percepatan memiliki nilai dan arah. Ada dua jenis percepatan yaitu percepatan diperlambat dan dipercepat. Percepatan berlawanan dengan arah kecepatan di sebut percepatan diperlambat atau bernilai negatif. Sedangkan

arah percepatan yang searah dengan arah kecepatan di sebut percepatan di dipercepat bernilai negative.

Percepatan dipercepat dan diperlambat, dapat dilihat gambar di bawah ini!



Gambar 4.7. Arah percepatan dipercepat dan diperlambat

Pada saat kita mengendarai suatu mobil seperti gambar diatas, mobil akan bergerak meninggalkan tempat star dan menuju ke tempat tujuan. Mobil tersebut akan bergerak kearah tujuan, apabila mobil tersebut mengalami kemacetan maka mobil tersebut mengalami perlambatan maka arah perlambatan mobil tersebut berlawanan arah dari kecepatan. Apabila mobil mengalami kendala pada saat di jalan raya maka mobil akan melakukan pengereman untuk berhenti, dan mobil akan digas atau dipercepat yang searah kecepatan ketika mobil untuk menyusul mobil lain yang berada didepannya.

Percepatan secara matematis yang dinyatakan sebagai berikut:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Dimana:

a = percepatan (m/s^2)

Δv = Perubahan kecepatan (m/s)

Δt = Selang waktu (s)

v_2 = Kecepatan akhir (m/s)

v_1 = Kecepatan awal (m/s)

t_2 = Waktu akhir (s)

t_1 = Waktu awal (s)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. Besaran-Besaran Gerak. Fisika Dasar 1, 81–159.
- Bueche, F. J dan Hecht, E. 2006. Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga.
- Chandra, A. 2015. Estimasi Jarak Tempuh Order Picking System- Low Level to Part di PT. GMS. Jurnal Metris.
- Giancoli, Douglas C. 2001. Fisika. Jakarta: Erlangga
- Kindarto, Asdani. 2008. Asik Berinternet Dengan Beragam Layanan Google. Yogyakarta: Andi
- Mikrajuddin Abdullah. 2016, Fisika Dasar I. Bandung : Profesi Fisika Institut Teknologi Bandung.
- Nowikow, Igor dan Brian Heimbecker. 2001. Physics Concepts and Connections. Canada: Irwin Publishing Ltd.
- Tipler. 2003. Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga
- Young, H.D., & Freedman, R.A. 2002. Fisika Universitas/Edisi Kesepuluh Jilid I. Jakarta: Erlangga

BAB 5

GERAK DUA DIMENSI

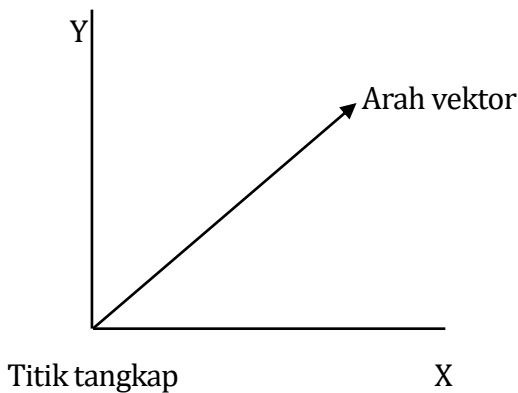
Oleh Dodi Satriawan

5.1 Pendahuluan

Gerak dua dimensi merupakan gerak dalam bidang datar yang mengacu pada sumbu x dan sumbu y . Gerak dua dimensi ini merupakan gerak suatu benda yang dibuat sederhana untuk memahami gerak suatu benda dalam bidang tiga dimensi. Didalam bab ini kita akan mempelajari besaran vektor yang menjadi dasar dari pemahaman gerak dua dimensi. Besaran vektor merupakan besaran yang memiliki nilai dan arah dalam suatu ruang. Contoh dari besaran vektor ini adalah kecepatan, perpindahan, percepatan, gaya, momentum dan medan listrik. Kebalikan dari besaran vektor merupakan besaran skalar. Besaran skalar merupakan besaran yang memiliki nilai namun tidak memiliki arah. Contoh dari besaran skalar ini adalah temperatur, massa, jarak, maupun kelajuan. Pada bab ini kita akan fokus membahas tentang gerak dua dimensi berupa vektor, perpindahan vektor dan penjumlahan vektor, vektor kecepatan, dan vektor percepatan.

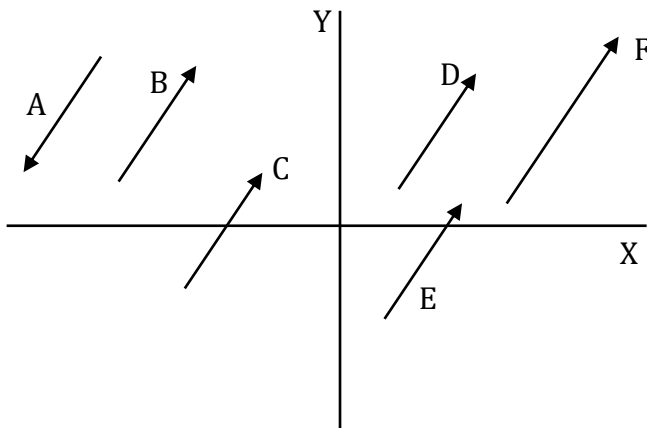
5.2 Sifat Vektor

Suatu vektor dapat dilambangkan dengan suatu anak panah pada sumbu x dan sumbu y , yang memiliki pangkal yang disebut dengan titik tangkap vektor serta ujung lainnya yang berupa mata panah yang disebut dengan arah vektor. Panjang dari vektor yang berupa anak panah menunjukkan nilai dari vektor tersebut.



Gambar 5.1. Penggambaran vektor

Satu vektor dapat memiliki panjang dan arah yang berbeda dengan vektor lainnya. Suatu vektor dapat kita sebutkan memiliki nilai sama bila vektor tersebut kesamaan tiga hal yaitu kesamaan arah, kesamaan nilai dan kesamaan jenis.



Gambar 5.2. Berbagai macam vektor

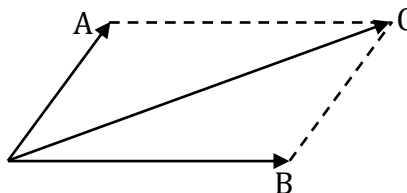
Pada gambar 5.2 terdapat enam macam vektor. Vektor yang dikatakan sama terdapat pada vektor “B”, vektor “C”, vektor “D” dan vektor “E”. Empat jenis macam vektor tersebut dikatakan sama dikarenakan vektor-vektor tersebut memiliki jenis, arah dan besar yang sama. Vektor F memiliki arah yang sama dengan vektor B, C, D dan E namun besarnya tidak sama. Begitu juga dengan vektor A, walaupun memiliki besar yang sama dengan vektor B, C, D dan E namun tidak memiliki arah yang sama.

5.3 Penjumlahan Vektor

Penjumlahan vektor dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan metode jajargenjang, metode polygon dan metode segitiga.

5.3.1 Metode Jajargenjang

Penjumlahan vektor dengan metode jajargenjang merupakan penjumlahan vektor dengan dua vektor yang dapat dijumlahkan dengan syarat dua vektor tersebut memiliki titik pangkal yang sama.



Gambar 5.3. Penjumlahan vektor dengan metode jajargenjang.

Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung penjumlahan vektor pada metode jajargenjang ditunjukkan pada persamaan 5.1.

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cdot \cos\theta} \quad (5.1)$$

dimana :

C = nilai penjumlahan vektor

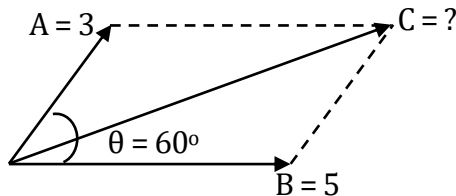
A = nilai vektor pertama

B = nilai vektor kedua

θ = sudut yang membentuk vektor A dan vektor B

Contoh 5.1.

Terdapat dua buah vektor yang memiliki nilai berupa vektor A sebesar 3 dan vektor B sebesar 5. Dua vektor tersebut memiliki titik pangkal yang sama dan membentuk sudut 60° . Tentukan jumlah dari vektor A dan B tersebut. Gambar vektor A dan B dapat dilihat pada gambar 5.4.



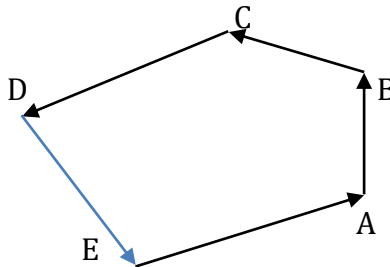
Gambar 5.4. Dua vektor A dan vektor B

Penjumlahan vektor C dapat menggunakan rumus 5.1 sehingga dapat dihasilkan:

$$\begin{aligned} C &= \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cdot \cos \theta} \\ &= \sqrt{3^2 + 5^2 + 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \cos 60} \\ &= \sqrt{49} \\ &= 7 \end{aligned}$$

5.3.2 Metode Poligon

Penjumlahan vektor dengan menggunakan metode poligon (poli artinya banyak, gon artinya sisi) merupakan metode penjumlahan vektor bila jumlah vektor lebih dari dua vektor. Metode penjumlahan dengan metode poligon ini dihitung dengan cara menghubungkan ujung vektor satu dengan pangkal vektor lainnya. Penjumlahan dengan metode poligon ini dengan mengukur pangkal awal vektor dengan ujung akhir dari vektor yang terbentuk. Gambar 5.5 menunjukkan penjumlahan vektor dengan menggunakan metode poligon.

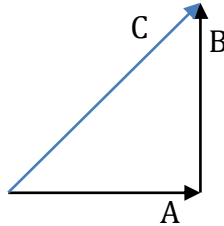


Gambar 5.5. Penjumlahan vektor dengan Metode Poligon

Vektor E pada gambar 5.5 merupakan penjumlahan dari vektor A, vektor B, vektor C, dan vektor D. Nilai vektor E dapat diketahui dengan mengukur berapa panjang dari ujung vektor D ke pangkal vektor A.

5.3.3 Metode Segitiga

Penjumlahan vektor dengan menggunakan metode segitiga bila dua buah vektor bergabung membentuk suatu segitiga. Penjumlahan vektor dengan metode segitiga berlaku bila ujung vektor pertama bertemu dengan pangkal vektor ke dua seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.6.



Gambar 5.6. Penjumlahan vektor dengan metode segitiga.

Vektor C pada gambar 5.6 merupakan penjumlahan dari vektor A dan vektor B dengan metode segitiga. Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung penjumlahan vektor pada metode segitiga merujuk pada persamaan 5.2

$$C = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (5.2)$$

dimana :

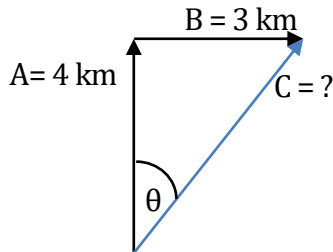
C = nilai penjumlahan vektor

A = nilai vektor pertama

B = nilai vektor kedua

Contoh 5.2

Seorang pedagang bakso keliling berjalan 4 km ke arah utara untuk menawarkan jualan baksonya. Setelah itu, pedagang bakso berjalan kembali 3 km ke timur. Hitunglah jarak perpindahan pedagang bakso tersebut?



Gambar 5.7. Perpindahan pedagang bakso keliling

Gambar 5.7 menunjukkan proses perpindahan pedagang bakso keliling dari vektor A ke vektor B. Jarak perpindahan pedagang bakso dinyatakan dengan vektor C. nilai vektor C dapat dicari dengan menggunakan persamaan 5.2 sehingga didapatkan

$$\begin{aligned}
 C &= \sqrt{A^2 + B^2} \\
 &= \sqrt{(4 \text{ km})^2 + (3 \text{ km})^2} \\
 &= 5 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Arah perpindahan vektor C dapat ditentukan dengan menghitung nilai sudut dari θ . Sudut θ didapatkan dengan menggunakan persamaan trigonometri sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \tan \theta &= \frac{\text{nilai vektor B}}{\text{nilai vektor A}} \\
 &= \frac{3 \text{ km}}{4 \text{ km}} \\
 &= 0,75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \tan^{-1} 0,75 \\ &= 36,67^\circ\end{aligned}$$

5.4 Vektor Kecepatan

Vektor kecepatan merupakan rasio dari perpindahan vektor yang dibagi dengan waktu. Vektor kecepatan digunakan untuk mengetahui seberapa lama waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perpindahan vektor dari satu titik ketitik yang lainnya. Perpindahan vektor dari titik pangkal suatu vektor ke ujung akhir dari suatu vektor dilambangkan dengan Δr . Nilai dari Δr yang merupakan nilai vektor perpindahan dinyatakan pada persamaan 5.3.

$$\Delta r = r_2 - r_1 \quad (5.3)$$

Dimana

Δr = perpindahan vektor

r_1 = posisi vektor 1

r_2 = posisi vektor 2

Waktu yang digunakan untuk perpindahannya suatu vektor dilambangkan dengan Δt . Nilai dari Δt ditunjukkan pada persamaan 5.4

$$\Delta t = t_2 - t_1 \quad (5.4)$$

Dimana

Δt = lama waktu perpindahan

t_1 = waktu pada vektor 1

t_2 = waktu pada vektor 1

Sehingga rumus umum dari vektor kecepatan ini dapat dilihat pada persamaan 5.5.

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (5.5)$$

Dimana

v = vektor kecepatan

Δr = perpindahan vektor

Δt = lama waktu perpindahan

Contoh 5.3

Kapal nelayan berlayar dari koordinat awal perjalanan $(x_1, y_1) = (200 \text{ m}, 100 \text{ m})$. Setelah lima menit, kapal nelayan mencapai koordinat $(x_2, y_2) = (230 \text{ m}, 120 \text{ m})$. Tentukan:

- Perpindahan kapal nelayan pada vektor x ?
- Perpindahan kapal nelayan pada vektor y ?
- Kecepatan kapal nelayan pada vektor x ?
- Kecepatan kapal nelayan pada vektor y ?
- Vektor kecepatan rata-rata kapal nelayan?

Penyelesaian:

- Perpindahan kapal nelayan pada vektor x

Perpindahan kapal nelayan pada vektor x dapat menggunakan persamaan 5.3 sehingga menjadi

$$\begin{aligned} \Delta x &= x_2 - x_1 \\ &= 230 \text{ m} - 200 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m} \end{aligned}$$

- b. Perpindahan kapal nelayan pada vektor y
Perpindahan kapal nelayan pada vektor y juga menggunakan persamaan 5.3 sehingga menjadi

$$\begin{aligned}\Delta y &= y_2 - y_1 \\ &= 120 \text{ m} - 100 \text{ m} \\ &= 20 \text{ m}\end{aligned}$$

- c. Kecepatan kapal nelayan pada vektor x
Kecepatan kapal nelayan pada vektor x dapat dicari dengan menggunakan persamaan 5.5

$$\begin{aligned}v_x &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ &= \frac{240 \text{ m} - 200 \text{ m}}{5 \text{ menit}} \\ &= 8 \text{ m/menit}\end{aligned}$$

- d. Kecepatan kapal nelayan pada vektor y
Kecepatan kapal nelayan pada vektor y juga dicari dengan menggunakan persamaan 5.5

$$\begin{aligned}v_y &= \frac{\Delta y}{\Delta t} \\ &= \frac{120 \text{ m} - 100 \text{ m}}{5 \text{ menit}}\end{aligned}$$

$$= 4 \text{ m/menit}$$

e. Vektor kecepatan rata-rata kapal nelayan

Vektor kecepatan rata-rata kapal nelayan dicari dengan menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} v_{rata-rata} &= \sqrt{(v_x)^2 + (v_y)^2} \\ &= \sqrt{(4 \text{ m/menit})^2 + (8 \text{ m/menit})^2} \\ &= 8,944 \text{ m/menit} \end{aligned}$$

5.5 Vektor Percepatan

Vektor percepatan merupakan rasio atau perbandingan antara perubahan vektor kecepatan Δv yang dihasilkan dengan waktu Δt yang dibutuhkan. Vektor percepatan ini digunakan untuk mengetahui seberapa konstan laju kecepatan suatu benda yang dibutuhkan dalam selang waktu yang ditentukan. Persamaan vektor percepatan suatu benda dapat ditentukan dengan persamaan 5.5

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (5.5)$$

Dimana

a = vektor percepatan

Δv = perbedaan vektor kecepatan

Δt = lama waktu yang dibutuhkan

Contoh 5.4

Kapal nelayan bergerak ke arah timur dengan kecepatan 50 km/jam selama 60 menit. Kemudian bergerak ke arah utara dengan kecepatan 45 km/jam. Tentukan percepatan kapal nelayan tersebut?

Penyelesaian:

Percepatan kapal nelayan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5.5

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ &= \frac{45 \text{ km/jam} - 50 \text{ km/jam}}{60 \text{ menit}} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} \\ &= -5 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

Tanda minus pada nilai percepatan menunjukkan bahwa kapal nelayan mengurangi percepatannya 5 km/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Gibilisco, S. 2002. *Physics Demystified*. McGraw-Hill. doi:10.1036/0071412123.
- Kuhn, K.F. 2019. *Basic Physics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Myers, R.L. 2006. *The Basics of Physics, Choice Reviews Online*. Greenwood Press. doi:10.5860/choice.43-6587.
- Takigawa, N. dan Washiyama, K. 2017. *Fundamentals of nuclear physics, Springer*. Springer.
- Walker, J., Halliday, D. dan Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics, Wiley*.

BAB 6

DINAMIKA

Oleh Fera Annisa

6.1 Pendahuluan

Dinamika merupakan cabang ilmu mekanika yang menganalisa penyebab benda bergerak yaitu mempertimbangkan gaya-gaya yang mempengaruhi gerak benda dan sistem yang bergerak seperti perubahan arah benda, perubahan bentuk benda, maupun perubahan kecepatan benda. Hukum Newton tentang gerak merupakan bagian fundamental dalam membahas dinamika. Hukum-hukum ini memberikan contoh yang luas dengan kesederhanaan prinsip dimana alam berfungsi, hukum ini juga berlaku secara universal untuk situasi serupa di bumi maupun di luar angkasa.

Dalam mempelajari dinamika tentang gerak, berhubungan dengan Hukum Newton I, II dan III serta pengaplikasiannya, perbandingan massa dan berat serta hubungannya, perbandingan massa inersia dan massa gravitasi aktif maupun pasif, Hukum Newton yang digunakan pada tegangan tali bidang miring dan katrol, gaya normal dan gaya gesek serta arahnya, hubungan antara gaya gesek dan Hukum Newton, diagram benda bebas, gaya sentripetal, dan contoh soal tentang dinamika gerak. (Azhari dan Herty Afrina Sianturi, 2021).

6.2 Pengertian Dinamika

Sir Issac Newton (1642-1727) ialah seorang ahli yang merumuskan tentang bidang mekanika, menjelaskan 3 dinamika fundamental yang berfungsi sebagai pondasi mekanika dunia makro. Ruang-waktu disajikan sebagai konsep yang berbeda dan

mutlak oleh hukum Newton. Untuk gerak berkelajuan rendah, pengukuran berdasarkan hukum Newton cukup akurat, tetapi kurang untuk gerak berkelajuan tinggi. Teori relativitas khusus Einstein diperlukan untuk gerak berkelajuan tinggi yang mendekati laju cahaya. (Rito Anugraha, 2018). Dinamika adalah cabang ilmu mekanika yang meninjau gerak partikel dengan tidak mengabaikan penyebab geraknya.

6.3 Dinamika Partikel

Suatu cabang mekanika yang dikenal sebagai dinamika partikel yang mempelajari tentang pemicu dari suatu gerak. Gaya adalah kuantitas yang menggerakkan suatu benda. Oleh karena itu, gaya yang diberikan pada objek dan gerakan yang dihasilkannya akan disediakan oleh dinamika partikel.

Suatu besaran yang menimbulkan gerak benda adalah gaya. Oleh karena itu, pada dinamika partikel akan menyediakan beberapa gaya yang bekerja pada benda dan gerak yang akan dihasilkannya.

6.3.1 Hukum-Hukum Gerak

- **Aristotle** (384-322 B.C): gaya, tarik atau dorong, diperlukan untuk menjaga sesuatu bergerak.
- **Galileo Galilei** (awal 1600-an): benda bergerak mempunyai "kuantitas gerak" secara intrinsik.
- **Issac Newton** (1665 - 1666):
Hukum Newton mengandung 3 konsep: massa, gaya, momentum
 1. Massa : mengukur kuantitas bahan dari suatu benda.
 2. Gaya : tarikan atau dorongan.
 3. Momentum : kuantitas gerak
"kuantitas gerak" atau momentum diukur dari perkalian massa benda dengan kecepatannya:

$$p = m \cdot v$$

Keterangan:

p = momentum (kg m/s)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s)



Gambar 6.1. Dua orang memberikan gaya pada gerobak
(Sumber: Dinamika Partikel, 2020)

6.4 Konsep Gaya

Dorongan atau tarikan yang diberikan pada suatu benda disebut sebagai gaya (*force*). Kemudian ada yang namanya gaya gravitasi. Gaya gravitasi dikenal sebagai berat benda, merupakan gaya yang bekerja antara bumi dan suatu benda yang letaknya relatif dekat dengan permukaan bumi. Matahari, bumi, dan planet lain juga bekerja oleh gaya gravitasi. Ada juga gaya elektromagnetik yang termasuk gaya magnet dan gaya listrik.

Dalam mekanika dikenal empat gaya populer, antara lain gaya berat benda, gaya gesek, gaya tegangan tali dan gaya normal. Berat benda adalah gaya yang dialami oleh suatu benda karena pengaruh gaya tarik bumi yang arahnya menuju ke pusat bumi. Gaya gesek adalah gaya yang dialami oleh suatu benda yang bergerak di atas lintasan yang kasar, arahnya selalu berlawanan dengan arah gaya benda. Gaya tegangan tali adalah gaya yang bekerja pada tali jika suatu benda digantung dengan tali karena

pengaruh dari gaya berat. Sedangkan gaya normal adalah gaya yang arahnya selalu tegak lurus dengan bidang benda berada.

A. Beberapa Jenis Gaya

1. Gaya Berat

Sebuah benda yang bergerak menuju pusat bumi akan dipercepat jika terletak dekat dengan permukaan bumi. Percepatan semacam ini dinamakan percepatan gravitasi bumi. Akibatnya, mengingat benda memiliki massa tertentu, benda di dekat permukaan bumi bekerja suatu gaya ($F=ma$). Gaya berat dirumuskan:

$$w = m \cdot g$$

Dengan g ialah percepatan gravitasi bumi nilainya $9,8 \text{ m/s}^2$. Benda yang terletak jauh dari permukaan bumi, diselesaikan dengan perumusan percepatan gravitasi universal untuk gaya berat.

2. Gaya Pegas

Suatu pegas ideal apabila diregangkan atau ditekan akan memberikan gaya yang sebanding dengan besar perubahan panjang pegas tetapi arahnya berlawanan dengan arah perubahan panjang. Misalnya, jika tangan kita menarik ke arah kiri suatu pegas, maka pegas akan menarik kita ke arah kanan. Jadi, gaya yang diberikan oleh pegas adalah:

$$F = - kx$$

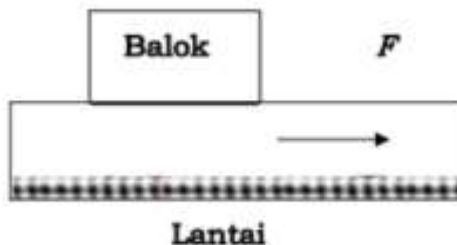
Tanda negatif persamaan di atas menunjukkan arah gaya yang bekerja berlawanan dengan arah perubahan panjang pegas, di mana x merupakan vektor besaran perubahan itu. Konstanta kesebandingan k tersebut juga selaku konstanta pegas. Untuk nilai x yang cukup kecil, Umumnya, pegas nyata (real) akan mengikuti persamaan di atas.

3. Gaya Normal

Gaya normal merupakan gaya yang terjadi akibat saling bersentuhannya dua permukaan benda. Dari satu permukaan benda ke permukaan benda lainnya akan ada gaya, begitu pula sebaliknya. Gaya normal membentuk pasangan aksi-reaksi dengan permukaan dan bergerak dalam arah tegak lurus terhadapnya. Jika besar gaya lain diketahui, persamaan hukum Newton dapat digunakan untuk menentukan besar gaya normal.

4. Gaya Gesek

Gaya yang ada diantara dua permukaan bergerak yang relatif berlawanan dikenal sebagai gaya gesek.



Gambar 6.2. Gaya gesek balok pada lantai
(sumber: Dinamika Partikel, 2020)

Adhesi permukaan ada antara permukaan lantai dan balok. Ini menjelaskan mengapa mendorong balok tampak lebih berat saat statis daripada saat bergerak. Diperlukan lebih banyak gaya untuk memecahkan ikatan karena gaya ikatan antara atom atau molekul cukup kuat saat diam. Tinjau sebuah balok yang terletak pada bidang datar yang kasar. (Ilyas, 2020)

6.5 Konsep dan Hukum Dasar Dinamika

Perubahan gerak yang menyebabkan adanya percepatan $\vec{a}$ terjadi karena pengaruh luar yang selanjutnya disebut gaya luar (external/force) $\vec{F}$ (Rinto Anugraha, 2018).

1. Hukum I Newton

Sebuah batu yang sangat besar di lereng gunung akan tetap diam pada tempatnya hingga terdapat gaya luar lain yang memindahkannya, seperti gaya mesin dari bulldoser atau gaya tektonik/gempa bumi. Demikian pula, bongkahan meteor di ruang angkasa hampa udara akan tetap bergerak dengan kecepatan konstan sampai adanya gaya yang mengubah kecepatannya, misalnya gaya gravitasi suatu planet atau gaya lain yang menghentikannya, misalnya bertumbukan dengan meteor lain.

Perumusan hukum pertama Newton ini adalah pernyataan alami dan berbunyi sebagai berikut:

“Sebuah benda akan tetap diam atau tetap bergerak lurus beraturan jika tidak ada resultan gaya yang bekerja pada benda itu. Jadi jika jumlah gaya yang bekerja pada benda adalah nol, maka ada dua kemungkinan keadaan benda yaitu benda dalam keadaan diam atau benda sedang bergerak dengan kecepatan benda konstan”.

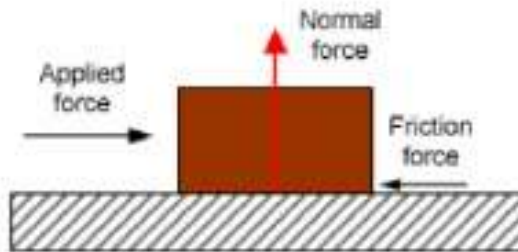
Hukum I Newton lebih tepat dibanding dengan apa yang diusulkan oleh Galileo. Sebuah benda yang bergerak akan terus bergerak walaupun tidak ada gaya dari luar. Dengan kata lain, baik besar maupun arah kecepatan tidak akan berubah. Inersia adalah kemampuan suatu benda untuk menahan perubahan arah geraknya. Sangat mudah untuk memahami bagian pertama dari hukum pertama Newton yang menyatakan bahwa suatu benda memang akan tetap diam jika tidak dikenai gaya eksternal apa pun. Pasti gaya-gaya konservatif seperti gaya berat dan gaya normal saling meniadakan karena keduanya konstan, sama besar,

dan bergerak berlawanan arah. Keadaan benda statis demikian tersebut dinamakan keseimbangan. Dari pernyataan diatas, hukum pertama Newton dapat dinotasikan dengan rumus:

$$\Sigma f = 0$$

Keterangan:

ΣF = Resultan gaya yang bekerja pada benda (N) atau (kg m/s²)



Gambar 6.3. Arah gaya dorong, gaya berat, gaya gesekan, dan gaya Normal yang seimbang menyebabkan benda diam
(Sumber: Dinamika Partikel, 2020)

Jika sebuah benda tidak dikenai gaya atau resultan gaya, maka benda tersebut akan selalu berusaha untuk mempertahankan keadaan awalnya. Karena itu, hukum pertama Newton juga disebut sebagai hukum inersia/kelembaman (inert untuk berubah dari keadaan awal). Secara matematis, hukum pertama Newton sering dinyatakan sebagai berikut.

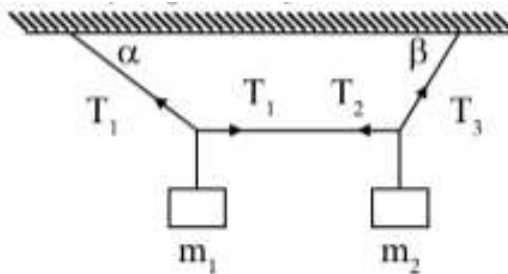
$$\Sigma f = 0$$

Dimana Σf ialah resultan gaya yang bekerja pada benda. Dapat disimpulkan: $\Sigma F = 0$ dan $a = 0$ karena benda tersebut bergerak tranlasi, maka ada sistem koordinat Cartesius dituliskan:

$$\Sigma F_x = 0 \text{ dan } \Sigma F_y = 0$$

Contoh:

Hitunglah tegangan T_1 , T_2 dan T_3 .



Dari gambar diatas, karena sistem seimbang, maka untuk kedua sistem massa berlaku

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

Diperoleh

$$T_1 \sin \alpha = m_1 g, T_3 \sin \beta = m_2 g, T_1 \cos \alpha = T_2 \text{ dan } T_3 \cos \beta = T_2$$

Juga diperoleh

$$T_1 \sin \alpha + T_3 \sin \beta = (m_1 + m_2) g \text{ dan } T_1 \cos \alpha = T_3 \cos \beta$$

Sehingga

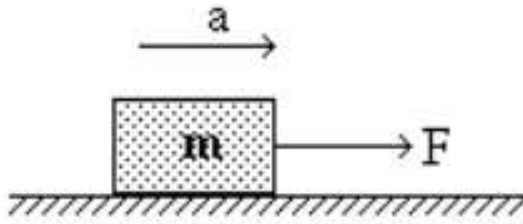
$$T_1 = \frac{m_1 g}{\sin \alpha} = \frac{(m_1 + m_2) g \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

$$T_2 = m_1 g \cot \alpha = m_2 g \cot \beta$$

Yang berarti

$$m_1 \cot \alpha = m_2 \cot \beta \text{ dan } T_3 = \frac{m_1 g}{\sin \alpha} = \frac{(m_1 + m_2) g \cos \beta}{\sin(\alpha + \beta)}$$

2. Hukum II Newton



Untuk benda yang memiliki resultan gaya nol, maka hukum pertama Newton berlaku dalam situasi tertentu. Apa yang terjadi jika setiap benda berada di bawah pengaruh gaya total? Misalnya, bayangkan melempar balok ke permukaan yang kasar. Gaya gesek bekerja saat balok sedang bergerak, hingga kecepatan balok berkurang dan akhirnya terhenti. Dengan peristiwa gerak, biasanya ini situasinya. Jumlah gerak suatu benda akan berubah sebagai akibat dari gaya eksternal yang bekerja padanya. Hukum kedua Newton didasarkan pada pernyataan ini.

Berbagai pengamatan menunjukkan bahwa pengaruh eksternal yang berbeda dari berbagai besaran diperlukan untuk menghasilkan perubahan kecepatan yang sama pada berbagai objek. Perubahan kecepatan benda, bagaimanapun, berubah secara berbeda dengan jumlah pengaruh yang sama. Oleh karena itu, ada kualitas intrinsik (diri) dalam suatu objek yang menentukan sejauh mana pengaruh luar dapat mengubah jarak objek. Maka kuantitas ini akan sebanding dengan jumlah dan jenis zat. Massa inersia, diwakili oleh simbol m yaitu nama yang diberikan untuk kuantitas intrinsik materi ini. Pengukuran derajat inersia atau derajat kelembaman massa suatu objek

menghasilkan massa inersia (juga dikenal sebagai massa). Dalam satuan SI, kilogram berfungsi sebagai satuan massa. Semakin besar massa suatu benda, semakin sulit untuk mengubah kondisi geraknya.

Hubungan antara gaya dan gerak serta perubahan keadaan gerak secara kuantitatif dinyatakan dalam hukum kedua Newton, yaitu:

“Percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya netto yang bekerja padanya, dan berbanding terbalik dengan massa. Arah percepatan adalah gaya neto yang bekerja pada benda”.

Sehingga dapat diumuskan:

$$a = \frac{\Sigma F}{m} \text{ atau } \Sigma F = m \cdot a$$

keterangan:

ΣF = resultan gay ayang bekerja pada benda (N) atau (kg m/s²)

a = percepatan (m/s²)

m = massa (kg)

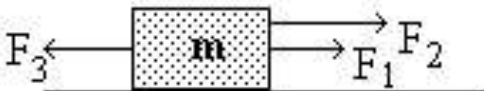
Persamaan $\Sigma F = m \cdot a$ dapat dimaksud dalam pernyataan berikut:

- Ketika sebuah benda bermassa m mengalami percepatan a , maka gaya sebesar $m \cdot a$ bekerja pada benda tersebut.
- Jika sebuah benda bermassa m mengalami gaya F , maka benda tersebut akan mengalami percepatan dengan laju $\frac{\Sigma F}{m}$.

Pengembangan:

- 1) Jika benda bekerja banyak gaya yang horizontal maka berlaku:

$$\Sigma F = m \cdot a$$



$$F_1 + F_2 - F_3 = m \cdot a$$

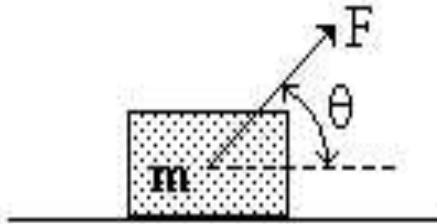
Arah gerak benda sama dengan F_1 dan F_2 jika $F_1 + F_2 > F_3$
 Arah gerak benda sama dengan F_3 jika $F_1 + F_2 < F_3$
 (tanda $a = -$)

- 2) Jika pada benda beberapa benda bekerja banyak gaya yang horizontal maka berlaku:
 $\Sigma F = \Sigma m \cdot a$



$$F_1 + F_2 - F_3 = (m_1 + m_2) \cdot a$$

- 3) Jika pada benda bekerja gaya yang membentuk sudut θ dengan arah mendatar maka berlaku: $F \cos \theta = m \cdot a$



Gaya Gravitasi: Massa dan Berat

Dari hukum kedua Newton bahwa massa mengukur ketahanan benda untuk berubah gerakannya, yaitu inersianya. Massa adalah sifat intrinsic dari sebuah benda, tidak tergantung ketinggian maupun keadaan yang lain.

Berat merupakan gaya yang diperlukan benda untuk melakukan gerak jatuh bebas. Untuk gerak jatuh bebas $a = g$ = percepatan gravitasi setempat.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\mathbf{w} = m \cdot \mathbf{g}$$

Berat tergantung pada lokasi terhadap bumi, percepatan gravitasi bumi besarnya $9,789 \text{ m/s}^2$ pada permukaan laut di khatulistiwa dan $9,832 \text{ m/s}^2$ pada permukaan lat di kutub utara dan mempermukah maka rata-rata percepatan gravitasi di bumi dibulatkan menjad 10 m/s^2 .

Contoh:

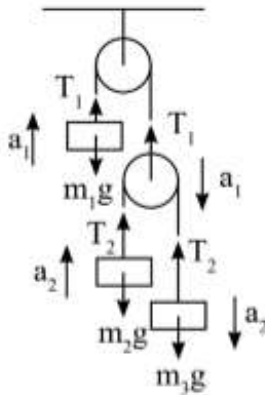
Pada sistem di bawah ini, asumsikan $m > m_2$ dan $m_2 + m_3 > m_1$. Katrol licin dan tidak bessa. Tunjukkan bahwa:

$$T_1 = \frac{8m_1m_2m_3g}{4m_2m_3+m_1(m_2+m_3)}$$

Serta percepatan m_1 adalah

$$a_1 = \frac{4m_2m_3 - m_1(m_2+m_3)}{4m_2m_3+m_1(m_2+m_3)}g$$

Bagaimana hasilnya untuk $m_2 = m_3$?



Jawaban:

Dari gambar diatas, percepatan terhadap ab adalah a_1 ke atas, karena itu katrol 2 terhadap ab adalah a_1 ke bawah. Percepatan m_2 relatif terhadap ab adalah a_2 ke atas sehingga percepatan m_2 relatif terhadap ab adalah $a_2 - a_1$ ke atas. Percepatan m_3 relatif terhadap katrol 2 adalah a_2 ke bawa, sehingga percepatan relative terhadap lab adalah $a_2 = a_1$ ke bawah. Tegangan tali pada katrol 1 adalah T_1 sedangkan pada katrol 2 adalah T_2 .

Untuk katrol 2 : $T_1 = 2T_2$

Untuk m_1 : $T_1 - m_1g = m_1a_1$ atau $2T_2 - m_1g = m_1a_1$

Untuk m_2 : $T_2 - m_2g = m_2(a - a_1)$

Untuk m_3 : $m_3g - T = m_3(a + a_1)$

Dari persamaan-persamaan di atas maka dapat dibuktikan bahwa

$$T_1 = \frac{8m_1m_2m_3g}{4m_2m_3+m_1(m_2+m_3)} \text{ dan } a_1 = \frac{4m_2m_3-m_1(m_2+m_3)}{4m_2m_3+m_1(m_2+m_3)}g$$

Untuk $m_2 = m_3$ maka

$$T_1 = \frac{4m_1m_2mg}{2m_2+m_1} \text{ dan } a_1 = \frac{2m_2-m_1}{2m_2+m_1}g.$$

3. Hukum III Newton

Akibat aksi timbal balik antara dua benda, setiap gaya mekanik selalu timbul berpasangan. Jika gaya B memberikan gaya pada benda A, maka gaya A akan memberikan gaya pada benda B. Hukum ketiga Newton mendefinisikan pasangan gaya ini sebagai pasangan aksi-reaksi:

“Apabila sebuah gaya mengarah pada benda kedua, benda ini akan mengarahkan gaya yang sama besarnya namun berlawanan arah pada benda pertama”.

Hukum III Newton ini ada pasangan gaya aksi-reaksi antar 2 benda yang saling berinteraksi. Pasangan gaya aksi-reaksi:

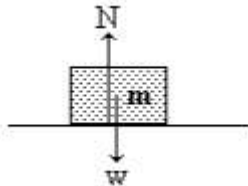
- 1) Sama besar
- 2) Arahnya berlawanan dan
- 3) Bekerja pada benda yang berlainan, dengan satu benda bekerja pada benda A dan satu lagi pada benda B. Sepasang aksi dan reaksi dikatakan memenuhi bentuk lemah dari hukum ketiga Newton jika ketiga syarat ini

terpenuhi. Ada kombinasi aksi-reaksi lain yang juga memenuhi persyaratan tambahan

4) Berlawanan arah. (Ilyas, 2020)

a. Pasangan Aksi Reaksi

Pada sebuah benda yang statis diatas lantai berlaku:

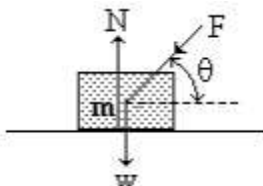
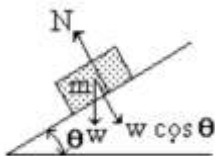


w = Gaya yang bekerja pada lantai disebabkan oleh gaya berat benda.

N = gaya normal (gaya yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda).

Hal tersebut bukan merupakan pasangan Aksi-Reaksi. (tanda $()$ hanya menjelaskan arah berlawanan)

Beberapa keadaan (besar) gaya normal.

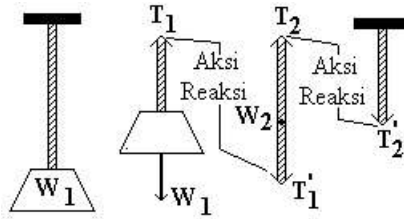


$$N = w \cos \theta + F \sin \theta$$

$$N = w - F \sin \theta$$

$$N = w$$

b. Pasangan Aksi-Reaksi Pada Benda Yang Digantung



Balok yang digantung dalam keadaan statis pada tali vertikal. Gaya w_1 dan T_1 bukan merupakan pasangan aksi-reaksi, meskipun besarnya sama, berlawanan arah dan segaris kerja. Sementara pasangan aksi-reaksi ialah gaya:

Demikian juga halnya gaya T_2 dan T'_2 adalah pasangan aksi-reaksi

Hubungan Tegangan Tali Terhadap Percepatan.

	a. Jika benda dalam keadaan statis, atau dalam keadaan dinamik lurus beraturan maka: $T = \text{gaya tegangan tali}$
	b. Benda bergerak ke atas dengan percepatan a maka: $T = m \cdot g + m \cdot a$ $T = \text{gaya tegangan tali}$
	c. Benda bergerak ke bawah dengan percepatan a maka: $T = m \cdot g - m \cdot a$ $T = \text{gaya tegangan tali}$

DAFTAR PUSTAKA

- Anugraha, Rinto. 2018. *Pengantar Mekanika Klasik*. Yogyakarta: C. V Andi Offset.
- Azhari dan Herty Afrina Sianturi. 2021. *Buku Ajar Fisika Bagian 1*. Jawa Tengah. PT Nasya Expanding Management.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Jilid I (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Giancoli, D.C. 2008. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics (4th ed.)*. Pearson Education, Inc.
- Halliday & Resnick. 1991. *Fisika Jilid I (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. 2014. *Fundamentals of Physics, Extended (10th ed.)*. John Wiley & Sons, Inc
- Ilyas. 2020. *Buku Ajar Dinamika Partikel*. Jawa Barat: Media Sains Indonesia.
- Serway, R.A. & Jewett, J.W. 2014. *Physics for Scientists and Engineers (9th ed.)*. Brooks/Cole, Cengage Learning.
- Tipler, P.A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid I (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Young, Hugh D. & Freedman, Roger A., 2002. *Fisika Universitas (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.

BAB 7

HUKUM KETIGA NEWTON

Oleh Johni S Pasaribu

7.1 Pendahuluan

Salah satu hukum paling sederhana dalam Fisika yang dapat dilafalkan oleh sebagian besar siswa Fisika atau sains adalah hukum gerak Ketiga Newton. Tetapi apakah memang siswa memahami konsep hukum tersebut dengan mudah sama dengan saat mereka membacanya? Jawaban atas pertanyaan ini terungkap dalam cara mereka menerapkan hukum Ketiga Newton tentang gerak dalam menyelesaikan masalah atau aktivitas kehidupan nyata (Andy, R., & Rudra, 2002).

Dalam pengalaman kita sehari-hari, kita dapat menyebabkan suatu tubuh seseorang bergerak baik dengan mendorong atau menarik tubuh orang itu. Hal ini menggambarkan sebagai efek dari kekuatan tenaga seseorang. Namun, benda yang ditempatkan pada bidang miring, atau saat dilepaskan dalam keadaan diam dan jatuh bebas, akan bergerak tanpa adanya dorongan atau tarikan. Galileo merujuk pada gaya yang bekerja pada benda-benda ini, deskripsi yang dia terbitkan pada tahun 1623 dalam bukunya Mekanika. Pada tahun 1687, Isaac Newton menerbitkan tiga hukum geraknya dalam *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ("Prinsip Matematika Filsafat Alam"), yang memperluas pengamatan Galileo. Hukum Pertama mengungkapkan gagasan bahwa ketika tidak ada gaya yang bekerja pada benda, benda itu akan tetap diam atau mempertahankan gerak seragam; ketika gaya diterapkan pada benda, itu akan mengubah keadaan geraknya (Newton, 1999).

Hukum Pertama Newton menyatakan bahwa dengan tidak adanya gaya eksternal, benda yang diam akan tetap diam dan benda yang bergerak seragam dalam garis lurus akan mempertahankan gerak tersebut. Kerangka inersia adalah kerangka yang tidak mengalami percepatan. Hukum Kedua Newton menyatakan bahwa percepatan suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Gaya total yang bekerja pada sebuah benda sama dengan perkalian massa dan percepatannya: $F = ma$. Hukum Ketiga Newton menyatakan bahwa jika dua benda berinteraksi, maka gaya yang diberikan oleh benda 1 pada benda 2 sama besarnya dan berlawanan arah dengan gaya yang diberikan oleh benda 2 pada benda 1. Dengan demikian, gaya yang terisolasi tidak dapat eksis di alam.

Dua hukum gerak pertama Newton menjelaskan bagaimana gerak suatu benda berubah. Jika gaya yang bekerja pada benda seimbang, benda akan diam atau bergerak dengan kecepatan tetap. Jika gaya tidak seimbang, benda akan dipercepat searah gaya total. Hukum Kedua Newton memberi tahu cara menghitung percepatan, atau perubahan gerak, suatu benda jika gaya total yang bekerja padanya diketahui.

Hukum Ketiga Newton, umumnya dikenal sebagai hukum "aksi-reaksi", adalah yang paling mengejutkan dari ketiga hukum tersebut. Penemuan hebat Newton adalah bahwa ketika dua benda berinteraksi, mereka masing-masing mengerahkan kekuatan yang sama besarnya satu sama lain. Hukum Ketiga Newton tentang gerak menyatakan bahwa: Jika benda A memberikan gaya pada benda B, maka B akan memberikan gaya pada A dengan arah berlawanan dengan besar yang sama.

7.2 Hukum Pertama Newton

Sebelum membahas hukum Pertama Newton, perhatikan percobaan sederhana berikut: Misalkan sebuah buku tergeletak di atas meja dimana buku itu tetap diam. Sekarang misalkan seseorang mendorong buku dengan gaya horizontal yang cukup besar untuk mengatasi gaya gesekan antara buku dan meja. (Gaya yang diberikan baik itu gaya gesek dan gaya lain apa pun yang diberikan pada buku oleh benda lain disebut sebagai gaya eksternal). Seseorang dapat membuat buku tetap bergerak dengan kecepatan konstan dengan menerapkan gaya yang besarnya sama terhadap gaya gesekan dan bekerja dalam arah yang berlawanan. Jika orang tersebut kemudian mendorong lebih keras sehingga besarnya gaya yang diberikan melebihi besarnya gaya gesekan, buku bergerak lebih cepat. Jika orang tersebut berhenti mendorong, buku berhenti setelah bergerak dalam jarak pendek karena gaya gesekan memperlambat gerakannya. Misalkan seseorang sekarang mendorong buku itu melintasi lantai yang halus dan berlapis lilin. Buku kembali berhenti setelah orang tersebut berhenti mendorong tetapi tidak secepat sebelumnya. Sekarang bayangkan sebuah lantai yang sangat halus sehingga tidak ada gesekan; dalam hal ini buku setelah digerakkan, bergerak hingga berhenti menyentuh dinding.

Sebelum sekitar tahun 1600, para ilmuwan merasa bahwa keadaan alami benda adalah keadaan diam. Galileo adalah orang pertama yang mengambil pendekatan berbeda terhadap gerak dan keadaan alami benda. Dia menyusun eksperimen seperti yang baru saja didiskusikan untuk sebuah buku di atas permukaan tanpa gesekan, dan menyimpulkan bahwa bukanlah sifat suatu objek untuk berhenti begitu bergerak: melainkan hal itu untuk menolak perubahan dalam gerakannya. Dalam kata-katanya, "Setiap kecepatan yang diberikan ke benda yang bergerak akan dipertahankan selama penyebab eksternal penghambat dihilangkan." Hukum Gerak Pertama, yang biasa disebut "Prinsip

Inersia", sebenarnya pertama kali disadari oleh Galileo. (Newton tidak mengakui kontribusi Galileo).

Pendekatan terhadap gerak ini kemudian diformalkan oleh Newton dalam bentuk yang kemudian dikenal sebagai **hukum gerak pertama Newton**: Dengan tidak adanya gaya eksternal, benda yang diam tetap diam dan benda yang bergerak terus bergerak dengan kecepatan konstan (yaitu dengan kecepatan konstan dalam garis lurus).

Dalam istilah yang lebih sederhana dapat dikatakan bahwa **ketika tidak ada gaya yang bekerja pada suatu benda, percepatan benda itu nol**. Jika tidak ada yang bertindak untuk mengubah gerak benda, maka kecepatannya tidak berubah. Dari hukum pertama, disimpulkan bahwa setiap benda terisolasi (benda yang tidak berinteraksi dengan lingkungannya) akan tetap diam atau terus bergerak dengan kecepatan konstan. Kecenderungan suatu benda untuk melawan setiap upaya untuk mengubah kecepatannya disebut inersia benda. Gambar 7.1 menunjukkan contoh dramatis dari konsekuensi hukum pertama Newton.

Contoh lain dari gerak seragam (kecepatan konstan), pertimbangkan sebuah pesawat ruang angkasa yang bepergian di luar angkasa dan jauh dari planet atau materi lainnya. Pesawat ruang angkasa membutuhkan beberapa sistem propulsi untuk mengubah kecepatannya. Namun, jika sistem propulsi dimatikan saat pesawat ruang angkasa mencapai kecepatan v , pesawat meluncur dengan kecepatan konstan dan astronot mendapatkan tumpangan gratis (yaitu tidak diperlukan sistem propulsi untuk membuat mereka tetap bergerak dengan kecepatan v).



Gambar 7.1. Jika tidak ada gaya eksternal total yang bekerja padanya, benda yang diam akan tetap diam dan benda yang bergerak akan terus bergerak dengan kecepatan tetap. Dalam hal ini, dinding bangunan tidak memberikan gaya yang cukup besar pada kereta yang bergerak untuk menghentikannya.
(Sumber: (Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, 2013))

7.2.1 Kerangka Inersia

Objek bergerak dapat diamati dari sejumlah kerangka acuan. Hukum Pertama Newton yang juga disebut hukum inersia, mendefinisikan kerangka acuan khusus yang disebut kerangka inersia. **Kerangka acuan inersia adalah kerangka acuan yang tidak mengalami percepatan.** Karena hukum Pertama Newton hanya berurusan dengan benda yang tidak dipercepat, ia hanya berlaku dalam kerangka inersia. Setiap kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan konstan relatif terhadap kerangka inersia itu sendiri merupakan kerangka inersia.

Jika sebuah benda bergerak dengan kecepatan konstan, seorang pengamat dalam satu kerangka inersia (katakanlah diam relatif terhadap benda) menyatakan bahwa percepatan benda dan resultan gaya yang bekerja padanya adalah nol. Pengamat dalam kerangka inersia menemukan bahwa $a = 0$ dan $\sum F = 0$ untuk objek tersebut. Menurut hukum pertama, benda yang diam dan benda yang bergerak dengan kecepatan konstan adalah setara. Seorang penumpang di dalam mobil yang bergerak di sepanjang jalan lurus dengan kecepatan tetap 100 km/jam dapat dengan mudah menuangkan kopi ke dalam cangkir. Tetapi jika pengemudi menginjak pedal gas atau rem atau memutar setir sambil menuangkan kopi, mobil akan berakselerasi dan tidak lagi menjadi kerangka inersia. Hukum gerak tidak bekerja seperti yang diharapkan, dan air kopi terjatuh mengenai penumpang!

7.3 Hukum Kedua Newton

Hukum Pertama Newton menjelaskan apa yang terjadi pada suatu benda ketika tidak ada gaya yang bekerja padanya. Benda itu tetap diam atau bergerak dalam garis lurus dengan kecepatan konstan. Hukum Kedua Newton menjawab pertanyaan tentang apa yang terjadi pada sebuah benda dimana terdapat resultan gaya tidak sama dengan nol bekerja padanya.

Bayangkan mendorong balok es melintasi permukaan horizontal tanpa gesekan. Ketika mengerahkan gaya horizontal $\mathbf{F}$, balok bergerak dengan percepatan $\mathbf{a}$. Jika menerapkan gaya dua kali lebih besar, percepatan dua kali lipat. Jika meningkatkan gaya yang diberikan menjadi $3F$, percepatan menjadi tiga kali lipat, dan seterusnya. Dari pengamatan tersebut, dapat disimpulkan bahwa **percepatan suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya.**

Percepatan suatu benda juga bergantung pada massanya. Kita dapat memahami ini dengan mempertimbangkan percobaan berikut. Jika menerapkan gaya $\mathbf{F}$ ke balok es pada permukaan

tanpa gesekan, maka balok tersebut mengalami percepatan **a**. Jika massa balok digandakan, maka gaya yang sama menghasilkan percepatan **a/2**. Jika massa dikalikan tiga kali lipat, maka gaya yang sama menghasilkan percepatan **a/3**, dan seterusnya. Berdasarkan pengamatan ini, dapat disimpulkan bahwa **besar percepatan suatu benda berbanding terbalik dengan massanya**.

Pengamatan ini dirangkum dalam **hukum kedua Newton**: Percepatan suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya.

Dengan demikian, kita dapat menghubungkan massa dan gaya melalui pernyataan matematis dari hukum kedua Newton berikut ini: $\sum \mathbf{F} = m \mathbf{a}$

Perhatikan bahwa persamaan ini adalah ekspresi vektor dan karenanya setara dengan tiga persamaan komponen:

$$\sum F_x = m a_x \qquad \sum F_y = m a_y \qquad \sum F_z = m a_z$$

7.3.1 Satuan Gaya

Satuan SI untuk gaya adalah Newton, yang didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada massa 1 kg dengan menghasilkan percepatan 1 m/s². Dari definisi ini dan hukum kedua Newton, kita melihat bahwa Newton dapat dinyatakan dalam bentuk satuan dasar massa, panjang, dan waktu seperti berikut ini:

$$1 \text{ N} \equiv 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

7.4 Hukum Ketiga Newton

Jika Anda membungkuk terlalu jauh, Anda akan jatuh. Tetapi jika Anda mencondongkan tubuh dengan tangan terulur dan menyentuh dinding seperti Gambar 7.2, Anda dapat melakukannya tanpa terjatuh. Ketika Anda mendorong ke dinding, dinding itu mendorong Anda kembali. Itu sebabnya Anda ditahan. Tanyakan teman Anda mengapa Anda tidak jatuh. Berapa banyak yang akan

menjawab, “Karena tembok mendorongmu dan menahan menempatkan Anda tetap berada di tempat”? Mungkin tidak banyak orang, kecuali mereka tipe fisika, yang menyadari bahwa tembok dapat mendorong kita sebanyak kita mendorongnya. Demikian pula, dayung kayak yang mendorong air ke belakang didorong ke depan oleh air.



Gambar 7.2. Untuk setiap gaya, ada gaya yang sama dan berlawanan.

Eksperimen sederhana ini mengilustrasikan prinsip umum yang sangat penting yang dikenal sebagai **hukum ketiga Newton**: Jika dua benda berinteraksi, gaya F yang dikerjakan oleh benda 1 pada benda 2 sama besarnya dan berlawanan arah dengan gaya F yang dikerjakan oleh benda 2 pada benda 1: $\mathbf{F}_{1,2} = - \mathbf{F}_{2,1}$

Pertimbangkan dua benda (obyek) yang terlibat dalam interaksi timbal balik. Misalnya label masing-masing obyek 1 dan 2. Biarkan $F_{1,2}$ menjadi gaya pada benda 2 karena interaksi dengan benda 1, dan $F_{2,1}$ menjadi gaya pada benda 1 akibat interaksi dengan benda 2. Gaya-gaya ini digambarkan pada Gambar 7.3.



Gambar 7.3. Pasangan gaya aksi-reaksi

7.4.1 Gaya dan Interaksi

Dalam pengertian yang paling sederhana, gaya adalah dorongan atau tarikan. Melihat lebih dekat, bagaimanapun Newton menyadari bahwa gaya bukanlah sesuatu dalam dirinya sendiri. **Suatu gaya selalu merupakan bagian dari aksi timbal balik yang melibatkan kekuatan lain.** Tindakan timbal balik adalah **interaksi** antara satu hal dengan lainnya. Misalnya, interaksi antara palu dan paku seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.4. Sebuah palu memberikan gaya pada paku dan mendorongnya ke papan. Tetapi gaya ini hanya separuh cerita, karena harus ada juga gaya yang diberikan pada palu untuk menghentikannya dalam proses. Apa yang mengerahkan kekuatan ini? Paku itu! Newton beranggapan bahwa sementara palu memberikan gaya pada paku, paku memberikan gaya pada palu. Jadi, dalam interaksi antara palu dan paku, terdapat sepasang gaya, yang satu bekerja pada paku dan yang lainnya bekerja pada palu. Pengamatan seperti itu membawa Newton ke hukum ketiganya: hukum aksi dan reaksi.



Gambar 7.4. Interaksi yang menggerakkan paku sama dengan interaksi yang menghentikan palu

Hukum Ketiga Newton menggambarkan hubungan antara dua gaya dalam suatu interaksi: **setiap kali satu benda memberikan gaya pada benda kedua, benda kedua memberikan gaya yang sama dan berlawanan pada benda pertama.** Satu gaya disebut gaya aksi, lainnya disebut gaya reaksi. Tidak masalah mana yang disebut aksi dan mana yang disebut reaksi. Yang penting adalah mereka mitra dalam satu interaksi dan tidak ada kekuatan yang ada tanpa yang lain. Mereka sama dalam kekuatan dan berlawanan arah. Hukum Ketiga Newton sering dinyatakan: "Untuk setiap tindakan selalu ada reaksi lawan yang sama."

Perhatikan Gambar 7.5 dan 7.6. Dalam setiap interaksi, selalu terjadi gaya secara berpasangan. Misalnya, Anda berinteraksi dengan lantai saat berjalan. Anda mendorong lantai, dan lantai mendorong Anda. Demikian pula, ban mobil berinteraksi dengan jalan untuk menghasilkan gerak mobil. Ban mendorong ke jalan, dan jalan secara bersamaan mendorong ban ke belakang. Saat berenang, Anda berinteraksi dengan air. Anda mendorong air ke belakang, dan air mendorong Anda ke depan. Perhatikan bahwa interaksi dalam contoh ini bergantung pada besarnya gesekan. Misalnya, seseorang yang mencoba berjalan di atas es, di mana gesekannya minimal, mungkin tidak dapat mengerahkan gaya aksi terhadap es. Tanpa gaya aksi tidak akan ada gaya reaksi, dan dengan demikian tidak ada gerak maju yang dihasilkan.



Gambar 7.5. Saat gadis itu melompat ke tepi pantai, perahunya bergerak mundur



Gambar 7.6. Anjing itu mengibaskan ekornya dan ekornya mengibaskan anjing tersebut

7.4.2 Identifikasi Aksi dan Reaksi

Terkadang identitas pasangan gaya aksi dan reaksi dalam suatu interaksi tidak mudah terlihat. Misalnya, apa gaya aksi dan reaksi dalam kasus batu besar yang jatuh? Anda mungkin mengatakan bahwa gaya gravitasi Bumi pada batu besar adalah gaya aksi, tetapi dapatkah Anda mengidentifikasi gaya reaksi? Apakah itu berat batu? Tidak, berat hanyalah nama lain dari gaya gravitasi. Apakah disebabkan oleh tanah tempat batu itu mendarat? Tidak, tanah tidak bekerja di atas batu sampai batu itu mengenainya.

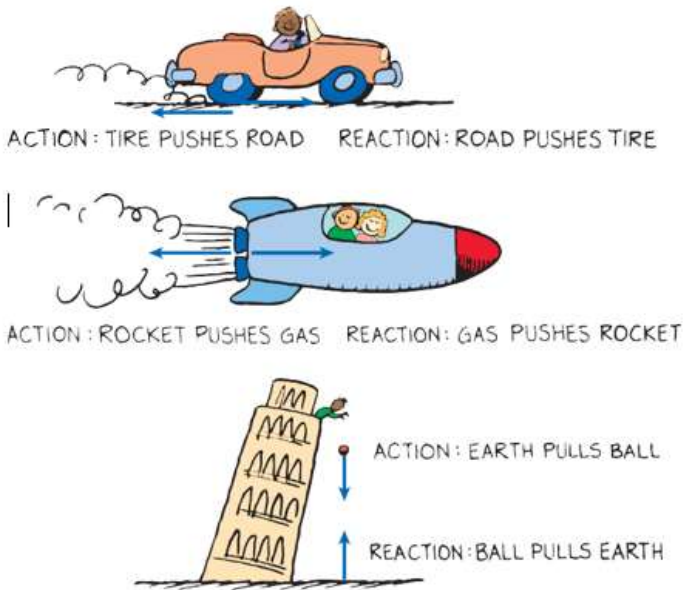
Ada cara sederhana untuk menangani gaya aksi dan reaksi. Identifikasi interaksi terlebih dahulu. Katakanlah satu benda A berinteraksi dengan benda lain B. Gaya aksi dan reaksi dinyatakan dalam bentuk ini:

Aksi: Benda A memberikan gaya pada benda B.

Reaksi: Benda B memberikan gaya pada benda A.

Perhatikan Gambar 7.7. **Untuk mengidentifikasi pasangan gaya aksi-reaksi, pertama-tama identifikasi objek A dan B yang berinteraksi, dan jika aksinya A pada B, reaksinya adalah B pada A.** Jadi, dalam kasus batu yang jatuh, interaksi

selama jatuh adalah gaya tarik gravitasi antara batu besar dan bumi. Jika kita menyebut aksi Bumi yang mengerahkan gaya pada batu besar, maka reaksinya adalah batu besar yang secara bersamaan mengerahkan gaya pada Bumi.



Gambar 7.7. Dalam pasangan gaya antara benda A dan benda B, perhatikan bahwa ketika aksi A memberikan gaya pada B, reaksinya adalah B memberikan gaya pada A

DAFTAR PUSTAKA

- Andy, R., & Rudra, P. 2002. *Introduction to Statics and Dynamics*. . Oxford, England: Oxford University Press.
- Halliday, David; Resnick, Robert; Walker, J. 2013. *Fundamentals Of Physics*. 10th Editi. Wiley Publishing, Inc.
- Newton, I. 1999. *Mathematical Principles of Natural Philosophy*. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.

BAB 8

MOMENTUM

Oleh Erwin Randjawali

8.1 Pendahuluan

Momentum yang juga disebut sebagai momentum linear sebuah benda merupakan salah satu besaran fisika yang diperoleh dari hasil mengalikan massa serta kecepatan benda. Istilah momentum linear ini digunakan untuk membedakannya dengan momentum angular (Tipler, 1998). Simbol dari besaran ini adalah $\vec{p}$. Apabila sebuah benda bermassa m dan berkecepatan $\vec{v}$, momentum benda tersebut adalah sebagai berikut (Giancoli, 2014).

$$\vec{p} = m\vec{v} \tag{1}$$

Karena m memiliki satuan kg dan $\vec{v}$ memiliki satuan m/s , maka satuan dari besaran momentum adalah $kg.m/s$.

Kecepatan adalah sebuah besaran vektor, dengan demikian ketika dikalikan dengan massa sebagai besaran skalar, akan menghasilkan momentum yang juga merupakan besaran vektor. Karena momentum adalah besaran vektor, maka tentu memiliki besar dan arah. Besar sebuah vektor dapat dituliskan sebagai $p = mv$. Sedangkan arah dari momentum sama dengan arah kecepatan (Giancoli, 2014; Tipler, 1998). Berdasarkan persamaan (1) terlihat bahwa besar sebuah momentum sebanding dengan massa dan kecepatan benda. Apabila massa benda semakin besar, maka momentumnya pun semakin besar. Demikian halnya jika kecepatannya semakin besar, maka momentumnya pun akan semakin besar (Lyublinskaya *et al.*, 2017). Momentum juga dapat dimaknai sebagai ukuran kesukaran dalam menghentikan sebuah

benda. Semakin besar momentum sebuah benda, sukar untuk mendiamkan benda yang bergerak tersebut. Apabila gerak benda tersebut dihentikan karena bertumbukan dengan benda lain, maka dampak yang ditimbulkan oleh benda tersebut pun semakin besar (Giancoli, 2014).

Contoh momentum adalah dalam permainan sepak bola. Misalnya seorang pemain bola bermassa 90kg berlari dengan kecepatan 10m/s. Momentum pemain bola tersebut adalah $p_{pb} = 900 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. Dimisalkan juga bahwa pemain tersebut ingin menangkap bola sepak bermassa 0.45kg yang dilemparkan ke dalam lapangan dengan kecepatan 24m/s. Momentum bola tersebut adalah $p_{bs} = 10.8 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$. Perbandingan momentum antara pemain bola dan bola sepak adalah $\frac{p_{pb}}{p_{bs}} = \frac{900}{10.8} = 83.33$. Dari contoh ini terlihat bahwa sekalipun bola sepak memiliki kecepatan yang lebih besar dibandingkan pemain bola, akan tetapi momentumnya jauh lebih kecil. Hal ini karena massa pemain bola jauh lebih besar dibandingkan dengan massa bola. Dengan demikian, apabila pemain bola tersebut menangkap bola, dampak yang diterima oleh pemain bola tidak begitu besar (Lyublinskaya et al., 2017).

Contoh lainnya adalah sebuah truk bermuatan banyak yang bergerak dengan kelajuan tinggi, dan sebuah motor yang bergerak dengan kelajuan rendah. Truk tersebut tentu memiliki momentum yang lebih besar dibandingkan dengan momentum motor. Dengan demikian, dampak kerusakan yang ditimbulkan apabila gerak truk tersebut dihentikan melalui sebuah tabrakan dengan benda lain akan lebih besar (Giancoli, 2014).

8.2 Hubungan Momentum dan Hukum Newton

Besaran momentum telah dikenal sejak awal berkembangnya fisika klasik. Besaran ini dipandang sangat penting, sehingga dikenal juga dengan istilah "kuantitas gerak"

(Lyublinskaya *et al.*, 2017). Istilah tersebut dikemukakan oleh Newton pada saat menyatakan hukum gerak Newton yang kedua. Agar dapat meningkatkan atau mengecilkan momentum, maupun mengubah arah momentum sebuah benda, diperlukan sebuah gaya (Giancoli, 2014). Newton menyatakan bahwa jumlah gaya eksternal yang bekerja pada sebuah benda sama dengan laju perubahan momentum benda tersebut. Hukum gerak Newton yang kedua dalam kaitannya dengan konsep momentum dirumuskan sebagai (Giancoli, 2014; Lyublinskaya *et al.*, 2017; Tipler, 1998):

$$\sum \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \quad (2)$$

$\sum \vec{F}$ dalam persamaan (2) merupakan jumlah seluruh vektor gaya eksternal yang bekerja pada benda. $\Delta \vec{p}$ merupakan perubahan momentum benda, dan Δt adalah interval waktu. Persamaan (2) hanya akan berlaku apabila $\sum \vec{F}$ dianggap tidak berubah selama interval waktu Δt . Selain itu, Δt diasumsikan sebagai interval waktu yang sangat singkat (Giancoli, 2014).

Penjabaran persamaan (2) agar diperoleh $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ dapat dijelaskan sebagai berikut. Misalkan sebuah benda bermassa m . Benda tersebut memiliki kecepatan awal $\vec{v}_a$, dengan demikian memiliki momentum awal $\vec{p}_a = m\vec{v}_a$. Setelah selang waktu Δt , benda tersebut memiliki kecepatan $\vec{v}_b$, sehingga momentumnya adalah $\vec{p}_b = m\vec{v}_b$. Jika massa benda tidak berubah, maka perubahan momentum benda tersebut adalah:

$$\Delta \vec{p} = \vec{p}_b - \vec{p}_a = m\vec{v}_b - m\vec{v}_a = m(\vec{v}_b - \vec{v}_a) = m\Delta \vec{v} \quad (3)$$

Jika persamaan (3) disubstitusikan ke persamaan (2), diperoleh:

$$\sum \vec{F} = \frac{m\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (4)$$

Karena $\frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{a}$, maka persamaan (4) dapat dituliskan menjadi:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \quad (5)$$

Persamaan di atas adalah bentuk hukum gerak Newton kedua yang lebih sering ditemui. Akan tetapi, persamaan (2) berlaku lebih umum karena dapat diterapkan juga untuk sistem dengan massa yang tidak konstan. Sebagai contoh, kita ingin meninjau masalah gerak pada roket yang mengalami perubahan massa karena terbakarnya bahan bakar yang dibawa roket tersebut (Giancoli, 2014; Lyublinskaya *et al.*, 2017).

Contoh penerapan persamaan (2) pada sebuah roket yang lepas landas adalah sebagai berikut. Misalkan roket tersebut menyemburkan gas buangnya dengan kelajuan 1350kg/s , atau $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 1350 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$. Apabila gas tersebut disemburkan dengan kecepatan 44000m/s , relatif terhadap roket, maka gaya dorong roket tersebut adalah:

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= \frac{\Delta m \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \vec{v} \\ &= \left(\frac{1350\text{kg}}{\text{s}} \right) \left(\frac{44000\text{m}}{\text{s}} \right) \\ &= 5.9 \times 10^7 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \\ &= 5.9 \times 10^7 \text{ N}\end{aligned}$$

Gaya tersebut memiliki arah yang berlawanan dengan percepatan gas buang (Giancoli, 2014).

8.3 Kekekalan Momentum

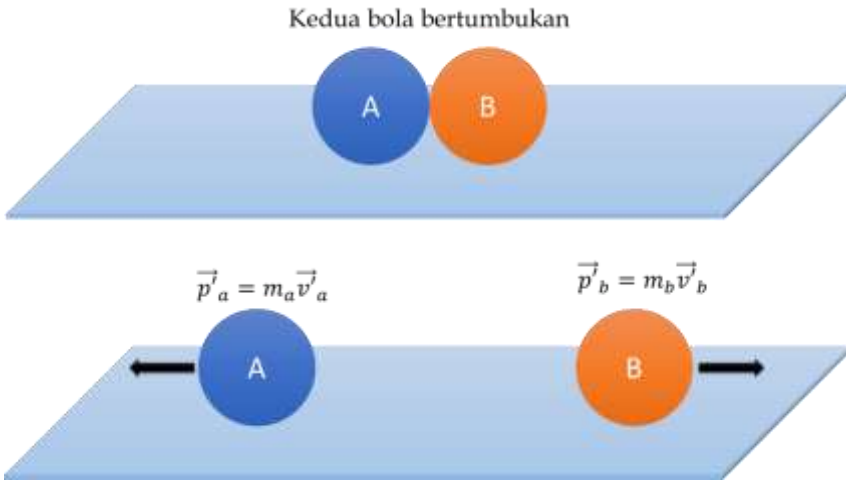
Persamaan (2) yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya dapat dipergunakan pada saat menganalisis suatu sistem yang terdiri atas dua atau lebih partikel. Hal ini mengarah pada hukum kekekalan momentum bagi sistem yang terisolasi. Penggunaan hukum kekekalan momentum dapat membantu menyederhanakan analisis gerak yang rumit (Serway & Jewett,

2008). Hukum kekekalan momentum dapat diilustrasikan sebagai berikut.

Misalkan terdapat dua buah bola yakni A dan B, dengan massa masing-masing m_a dan m_b pada sistem terisolasi. Karena sistem terisolasi, gaya-gaya yang bekerja pada sistem tersebut secara signifikan adalah gaya-gaya yang dihasilkan antara kedua bola tersebut. Bola A bergerak dengan kecepatan $\vec{v}_a$, sedangkan bola B bergerak dengan kecepatan $\vec{v}_b$. Dengan demikian bola A memiliki momentum awal $\vec{p}_a = m_a \vec{v}_a$, dan bola B memiliki momentum awal $\vec{p}_b = m_b \vec{v}_b$. Kedua momentum awal tersebut diukur sesaat sebelum terjadinya tumbukan. Total momentum sebelum terjadi tumbukan adalah $\vec{p}_a + \vec{p}_b = m_a \vec{v}_a + m_b \vec{v}_b$, seperti diilustrasikan pada gambar berikut ini.



Gambar 8.1. Ilustrasi dua bola dengan momentum awal $\vec{p}_a$ dan $\vec{p}_b$



Gambar 8.2. Ilustrasi dua bola yang memiliki momentum $\vec{p}'_a$ dan $\vec{p}'_b$ setelah tumbukan

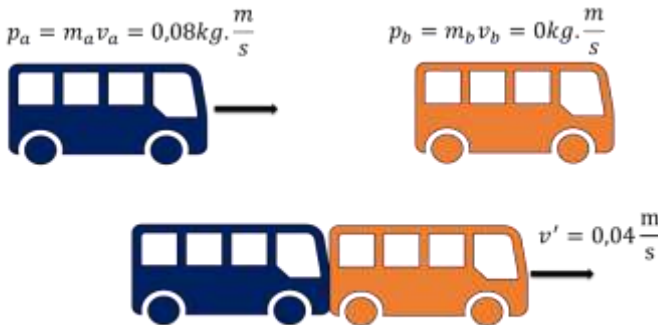
Kedua bola tersebut bertumbukan, sehingga memiliki kecepatan dengan besar dan arah yang berbeda dengan kecepatan awalnya. Bola A bergerak dengan kecepatan $\vec{v}'_a$, sedangkan bola B bergerak dengan kecepatan $\vec{v}'_b$. Dengan demikian bola A memiliki momentum setelah tumbukan $\vec{p}'_a = m_a \vec{v}'_a$, dan bola B memiliki momentum setelah tumbukan $\vec{p}'_b = m_b \vec{v}'_b$. Total momentum setelah terjadi tumbukan adalah $\vec{p}'_a + \vec{p}'_b = m_a \vec{v}'_a + m_b \vec{v}'_b$. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa apabila tidak terdapat gaya eksternal pada sistem tersebut, momentum total sesaat sebelum terjadi tumbukan akan sama besarnya dengan momentum total kedua benda tersebut setelah terjadinya tumbukan. Hal ini pun tidak dipengaruhi oleh besar maupun massa kedua benda.

Konservasi momentum kedua benda yang bertumbukan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \vec{p}_a + \vec{p}_b &= \vec{p}'_a + \vec{p}'_b \\
 m_a \vec{v}_a + m_b \vec{v}_b &= m_a \vec{v}'_a + m_b \vec{v}'_b
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Contoh penggunaan konservasi momentum dalam kehidupan sehari-hari adalah sebagai berikut. Misalkan terdapat sebuah mobil mainan bermassa 200gram . Mobil tersebut bergerak di kelajuan $0,4\text{m/s}$. Mobil tersebut selanjutnya menumbuk sebuah mobil mainan lainnya yang bermassa 300gram yang berada dalam keadaan diam, sehingga kedua mobil tersebut bergandengan. Kelajuan kedua mobil tersebut dapat dihitung dengan menggunakan konservasi momentum (Tipler, 1998).

Mobil mainan pertama bermassa $m_a = 200\text{gram} = 0,2\text{kg}$. Mobil ini bergerak dengan kelajuan $v_a = 0,4\frac{\text{m}}{\text{s}}$, sehingga memiliki momentum awal $p_a = m_a v_a = 0,08\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Mobil mainan kedua bermassa $m_b = 300\text{gram} = 0,3\text{kg}$. Mobil tersebut berada dalam keadaan diam $v_b = 0\frac{\text{m}}{\text{s}}$, sehingga momentum awalnya adalah $p_b = m_b v_b = 0\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Dengan demikian, momentum total sistem tersebut adalah $p_a + p_b = (0,08 + 0)\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = 0,08\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Kedua mobil tersebut bergandengan setelah bertumbukan, dengan demikian memiliki kelajuan yang sama (v'). Berdasarkan persamaan (6), kelajuan kedua mobil setelah bertumbukan adalah:



Gambar 8.3. Ilustrasi dua buah mobil mainan yang bertumbukan

$$\begin{aligned}
 \vec{p}_a + \vec{p}_b &= \vec{p}'_a + \vec{p}'_b \\
 0,08kg \cdot \frac{m}{s} &= (m_a + m_b)v' \\
 0,08kg \cdot \frac{m}{s} &= (0.2kg + 0.3kg)v' \\
 v' &= \frac{0,08 \text{ kg} \frac{m}{s}}{0.5kg} \\
 &= 0,16 \frac{m}{s}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, kelajuan kedua kereta tersebut sesaat setelah tumbukan adalah $v' = 0,16 \frac{m}{s}$.

8.4 Kekekalan Momentum dan Energi Kinetik pada Peristiwa Tumbukan

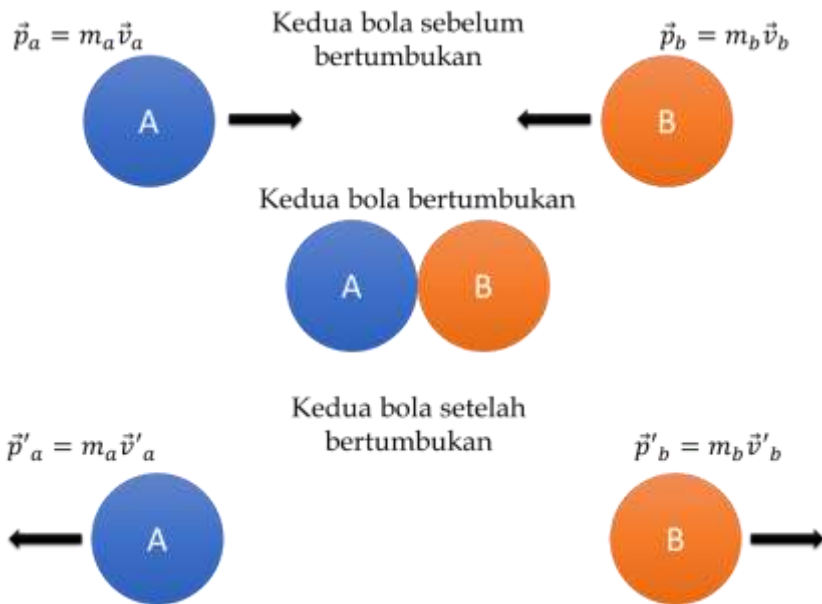
Apabila informasi terkait gerak benda sebelum terjadi tumbukan telah diketahui, informasi gerak benda setelah tumbukan pun dapat dilakukan, misalnya kecepatan benda setelah tumbukan. Informasi tentang gerak tersebut diperoleh dengan menggunakan hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik. Misalnya pada peristiwa tumbukan antara dua buah bola bilyard. Seperti telah dijelaskan pada sub bab 8.3 bahwa pada tumbukan antara kedua bola tersebut, momentum total sistem akan bersifat kekal apabila tidak ada gaya eksternal yang bekerja dalam sistem tersebut. Selain itu, apabila tumbukan tersebut tidak menghasilkan panas maupun energi dalam bentuk yang lain, jumlah energi kinetik sistem sesaat sebelum tumbukan sama dengan jumlah energi kinetik setelah tumbukan. Pada saat kedua benda saling kontak, separuh atau seluruh jumlah energi kinetik disimpan untuk sementara dalam bentuk energi potensial internal. Jumlah energi kinetik sesaat sebelum tumbukan bernilai sama dengan jumlah energi potensial sesaat setelah tumbukan.

Dengan demikian, energi kinetik sistem bersifat kekal, sehingga tumbukan yang terjadi disebut sebagai tumbukan elastis (Giancoli, 2014). Apabila jumlah energi kinetik sebelum tumbukan tidak sama dengan jumlah energi kinetik setelah tumbukan, tumbukan tersebut merupakan tumbukan tidak elastis (Tipler, 1998).

Ilustrasi tumbukan elastik antara dua buah bola bilyard A dan B seperti pada Gambar 9.4. Tumbukan antara dua buah bola bilyard yang keras serta lenting hampir mendekati tumbukan lenting sempurna. Misalkan bola A bermassa m_a memiliki kecepatan awal $\vec{v}_a$, dan bola B bermassa m_b memiliki kecepatan awal $\vec{v}_b$. Kedua bola tersebut kemudian bertumbukan, dan memantul dengan kecepatan yang sama, namun arahnya berlawanan dengan arah kecepatan sebelum tumbukan yakni $\vec{v}'_a$ dan $\vec{v}'_b$. Persamaan kekekalan momentum dalam peristiwa tumbukan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut.

$$EK_a + EK_b = EK'_a + EK'_b$$

$$\frac{1}{2}m_a v_a^2 + \frac{1}{2}m_b v_b^2 = \frac{1}{2}m_a v'^2_a + \frac{1}{2}m_b v'^2_b \quad (6)$$



Gambar 8.4. Ilustrasi kekekalan momentum pada tumbukan elastik

8.5 Tumbukan Lenting dalam Kerangka Satu Dimensi

Dalam sub bab ini dicontohkan penggunaan hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik. Misalkan pada peristiwa tumbukan elastik antara dua buah bola bilyard seperti diilustrasikan pada Gambar 8.4. Berdasarkan hukum kekekalan momentum dapat dituliskan:

$$m_a v_a + m_b v_b = m_a v'_a + m_b v'_b \quad (7)$$

Atau dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{aligned} m_a v_a - m_a v'_a &= m_b v'_b - m_b v_b \\ m_a (v_a - v'_a) &= m_b (v'_b - v_b) \end{aligned} \quad (8)$$

Selanjutnya, dengan menggunakan hukum kekekalan energi kinetik:

$$\frac{1}{2}m_a v_a^2 + \frac{1}{2}m_b v_b^2 = \frac{1}{2}m_a v_a'^2 + \frac{1}{2}m_b v_b'^2 \quad (9)$$

Jika kedua ruas persamaan (9) dikalikan 2, dan kemudian persamaan tersebut diatur ulang, maka diperoleh:

$$\begin{aligned} m_a v_a^2 + m_b v_b^2 &= m_a v_a'^2 + m_b v_b'^2 \\ m_a v_a^2 - m_a v_a'^2 &= m_b v_b'^2 - m_b v_b^2 \\ m_a (v_a^2 - v_a'^2) &= m_b (v_b'^2 - v_b^2) \end{aligned} \quad (10)$$

Dengan menggunakan aturan aljabar dalam matematika bahwa:

$$a^2 - b^2 = (a - b)(a + b) \quad (11)$$

Maka persamaan (10) dapat dituliskan menjadi:

$$m_a (v_a - v_a')(v_a + v_a') = m_b (v_b - v_b')(v_b + v_b')$$

Jika persamaan di atas dibagi dengan persamaan (8), maka akan diperoleh:

$$\frac{m_a (v_a - v_a')(v_a + v_a')}{m_a (v_a - v_a')} = \frac{m_b (v_b - v_b')(v_b + v_b')}{m_b (v_b' - v_b)}$$

$$v_a + v_a' = v_b + v_b'$$

Persamaan di atas dapat tuliskan juga dalam bentuk:

$$\begin{aligned} v_a - v_b &= v_b' - v_a' \\ v_a - v_b &= -(v_a' - v_b') \end{aligned} \quad (12)$$

Contoh penerapan persamaan di atas adalah sebagai berikut. Misalkan terdapat sebuah bola tenis bermassa $m_t = 0,06\text{kg}$ yang bergerak dengan kecepatan $v_t = 5,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ke arah kanan. Bola tenis ini kemudian menumbuk bola lain yang bermassa $m_b = 0,09\text{kg}$ yang juga bergerak ke arah kanan dengan kecepatan $v_b = 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Jika tumbukan antara keduanya adalah tumbukan elastik sempurna, kecepatan kedua bola tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (7) dan (12). Dengan menggunakan persamaan (7) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 (0,06)(5,5) + (0,09)(3,0) &= (0,06)v'_t + (0,09)v'_b \\
 0,33 - 0,27 &= 0,06 v'_t + 0,09v'_b \quad (13) \\
 0,06 &= 0,06 v'_t + 0,09v'_b
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (12) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 v_t - v_b &= v'_b - v'_t \\
 5,5 - 3,0 &= v'_b - v'_t \\
 2,5 &= v'_b - v'_t \\
 v'_b &= v'_t + 2,5
 \end{aligned} \quad (14)$$

Substitusikan persamaan (14) ke persamaan (13), maka:

$$\begin{aligned}
 0,06 &= 0,06v'_t + (0,09)(v'_t + 2,5) \\
 0,06 &= 0,06 v'_t + 0,09v'_t + 0,225 \\
 0,06 &= 0,15 v'_t + 0,225 \\
 v'_t &= \frac{-0,165}{0,15} \\
 &= -1,1 \frac{m}{s}
 \end{aligned}$$

8.6 Tumbukan Tidak Lenting

Apabila dalam peristiwa tumbukan tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik, maka tumbukan tersebut merupakan tumbukan tidak elastis atau dikenal juga sebagai tumbukan tidak lenting. Energi kinetik awal benda diubah menjadi energi dengan bentuk lainnya seperti energi potensial, energi panas, dan bentuk-bentuk lainnya. Hal ini mengakibatkan terjadinya pengurangan jumlah energi kinetik setelah terjadinya tumbukan. Akan tetapi, dalam fenomena lainnya seperti pada peristiwa ledakan, jumlah energi kinetik sistem akan meningkat atau lebih besar setelah terjadinya tumbukan, dibandingkan dengan sebelum tumbukan. Hal tersebut dikarenakan terjadinya pelepasan energi seperti energi nuklir atau energi inti atom.

Apabila setelah terjadi tumbukan, kedua benda tersebut bergandengan dan bergerak bersama, tumbukan tersebut

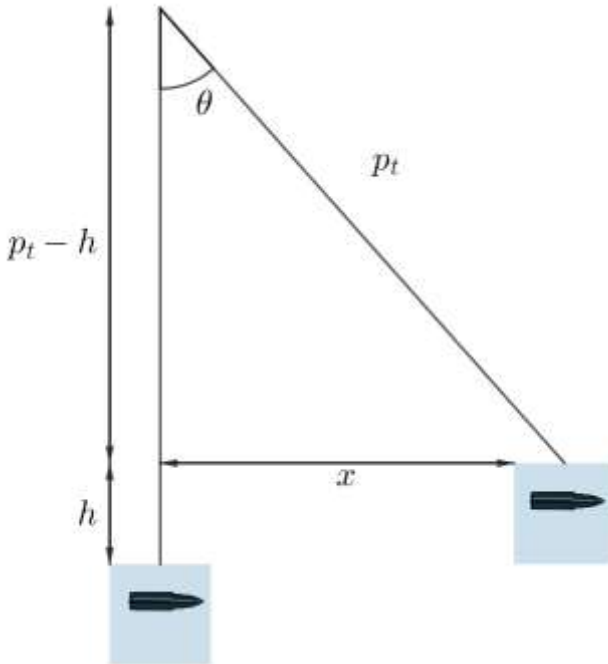
merupakan tumbukan tidak lenting sempurna. Misalnya pada contoh dua buah mobil mainan yang bergerak bersama setelah bertumbukan yang dijelaskan pada sub bab 9.3. Contoh lainnya adalah pada peristiwa tumbukan antara dua buah bola yang terbuat dari lilin. Kedua bola tersebut saling melekat setelah terjadi tumbukan (Giancoli, 2014).

Contoh peristiwa tumbukan tidak lenting lainnya adalah sebuah peluru yang ditembakkan ke sebuah bandul. Misalkan, terdapat sebuah bandul bermassa $m_b = 3,1kg$ yang berada dalam keadaan diam dan digantungkan dengan menggunakan seutas tali yang memiliki panjang $p_t = 2,8m$. Bandul tersebut kemudian ditembakkan dengan sebuah peluru yang bermassa $m_p = 0,028 kg$ dengan kecepatan $v_p = 190 \frac{m}{s}$ hingga menembus bandul serta bersarang di dalam bandul, yang menyebabkan bandul tersebut terayun naik ke atas dengan lintasan melengkung. Kecepatan bandul dan peluru yang terdapat di dalamnya adalah v_{bp} , seperti diilustrasikan pada Gambar 9.5. Persamaan kekekalan momentum yang berlaku dapat dituliskan sebagai berikut:

$$m_b v_b + m_p v_p = (m_b + m_p) v_{bp}$$

$$(3,1kg) \left(0 \frac{m}{s} \right) + (0,028kg) \left(190 \frac{m}{s} \right) = (3,1kg + 0,028kg) v_{bp}$$

$$5,32 kg \frac{m}{s} = (3,128 kg) v_{bp}$$



Gambar 8.5. Peluru yang menembus bandul

$$v_{bp} = \frac{5,32 \text{ kg} \frac{m}{s}}{3,128 \text{ kg}}$$

$$= 1,70 \frac{m}{s}$$

Dimisalkan saat bandul berada dalam keadaan lurus $y_1 = 0$; dan ketika bandul berayun dan mencapai ketinggian maksimum $y_2 = h$. Persamaan kekekalan energi mekanik sistem sesaat sesudah terjadi tumbukan, dan ketika mencapai ketinggian maksimum dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}(m_b + m_p)(v_{bp})^2 + (m_b + m_p)gy_1 &= 0 + (m_b + m_p)gy_2 \\ \frac{1}{2}(3,1 + 0,028)(1,70)^2 &= (3,1 + 0,028)(9,8) h \\ h &= \frac{2,89}{(2)(9,8)} \\ &= 0,147 \text{ m}\end{aligned}$$

Selanjutnya, berdasarkan Gambar 8.5 dan dengan menggunakan Teorema Pythagoras, diperoleh hubungan:

$$\begin{aligned}x^2 + (p_t - h)^2 &= p_t^2 \\ x^2 + (2,8 - 0,147)^2 &= 2,8^2 \\ x^2 + 7,04 &= 7,84 \\ x^2 &= 0,80 \\ x &= \sqrt{0,80} \\ &= 0,89 \text{ m}\end{aligned}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli, D. C. 2014. *Fisika: Prinsip dan Aplikasi, Jilid 1 (Terjemahan Irzam Hardiansyah, S.T)* (7th ed., Vol. 1). Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Lyublinskaya, I., Wolfe, G., Ingram, D., Pujji, L., Oberoi, S., & Czuba, N. 2017. *College Physics for AP Courses*. Texas: OpenStax. Retrieved from <https://openstax.org/details/books/college-physics-ap-courses>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. 2008. *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (7th ed.). United States of America: Thomson Learning, Inc.
- Tipler, P. A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik, Jilid 1 (Terjemahan Dra. Lea Prasetio, M.Sc. Dan Rahmad W. Adi, Phd.)* (3rd ed.). Jakarta: Erlangga.

BAB 9

GRAVITASI

Oleh Zahriah

9.1 Pendahuluan

Gaya gravitasi merupakan gaya tarik menarik yang dapat menahan objek untuk tetap berada di atas permukaan bumi, menahan posisi bulan untuk tetap mengitari bumi pada orbitnya, dan mempertahankan posisi bumi untuk mengelilingi matahari. Gaya gravitasi menjangkau seluruh bagian galaksi bima sakti (*milky way*), menyatukan berbagai macam objek seperti molekul, partikel, debu, galaksi-galaksi bintang yang jumlahnya sangat banyak.



(a)

(b)

Gambar 9.1. (a) Gaya gravitasi benda-benda di alam semesta, (b) *Blackhole*

Sumber: www.infoastronomy.org

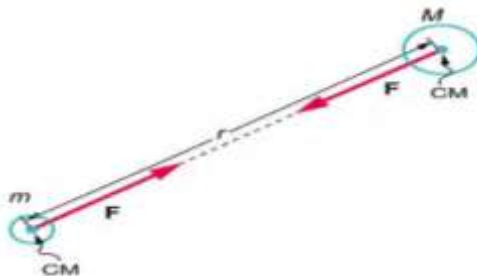
Gaya gravitasi juga bertanggung jawab dalam hal yang misterius di alam semesta, yaitu lubang hitam (*black hole*). Ketika sebuah bintang yang ukurannya jauh lebih besar dari ukuran matahari mengalami ledakan, maka gaya gravitasi antar partikelnya dapat menyebabkan bintang runtuh dengan sendirinya dan membentuk lubang hitam. Gaya gravitasi di permukaan bintang yang runtuh tersebut sangat kuat sehingga partikel dan cahaya yang mendekati permukaan lubang hitam akan terperangkap di dalamnya.

9.2 Hukum Newton Tentang Gravitasi

Hukum gravitasi Newton menyatakan bahwa setiap partikel di alam semesta menarik setiap partikel lainnya dengan gaya yang sama sepanjang garis yang menghubungkan setiap partikel tersebut. Gaya gravitasi berbanding lurus dengan besarnya massa masing-masing partikel dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara partikel tersebut. Secara matematis dirumuskan:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (9.1)$$

G adalah konstanta gravitasi umum yang besarnya $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ atau $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\text{kg}/\text{s}^2$.



Gambar 9.2. Gaya gravitasi antara dua benda bermassa
Sumber: OpenStax College (2013)

Gaya gravitasi yang dialami benda 1 yang bermassa m akibat tarikan dari benda 2 yang bermassa M besarnya adalah sama dengan gaya gravitasi yang dialami benda 2 akibat tarikan dari benda 1.

Contoh:

Matahari memiliki massa sebesar $2 \times 10^{30}\text{kg}$ dan massa bumi adalah $5,96 \times 10^{24}\text{kg}$. Jarak rata-rata matahari ke bumi adalah 150 juta kilometer. Tentukan besar gaya gravitasi matahari terhadap bumi!

Penyelesaian:

$$F = G \frac{M_M M_B}{r_{MB}^2}$$

$$F = 6,67 \times 10^{-11} \frac{(2 \times 10^{30})(5,96 \times 10^{24})}{(150.000.000)^2}$$

$$F = 3,5 \times 10^{22} \text{ N}$$

9.3 Percobaan Cavendish

Konstanta gravitasi universal G diperoleh secara eksperimental oleh Henry Cavendish (1731-1810) yaitu seorang ilmuwan Inggris pada tahun 1798. Cavendish mengukur gaya gravitasi yang sangat kecil antara dua benda yang bermassa maksimal puluhan kilogram menggunakan peralatan. Salah satu hal penting dengan menemukan G adalah dapat ditentukan massa bumi secara akurat. Hal ini dilakukan dengan mengukur percepatan gravitasi seakurat mungkin dan kemudian menghitung massa bumi melalui hukum gravitasi Newton.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

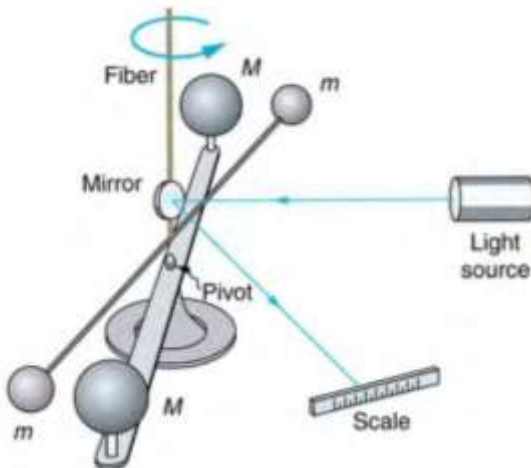
$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

$$mg = G \frac{mM}{r^2}$$

$$g = G \frac{M}{r^2}$$

$$M = \frac{Gr^2}{g} \quad (9.2)$$

Cavendish menggunakan alat di bawah ini untuk mengukur gaya gravitasi antara dua bola m dan dua bola M dengan mengamati torsi yang dihasilkan dari putaran. Jarak antara bola bermassa dibuat bervariasi untuk mengamati ketergantungan massa dengan jarak.



Gambar 9.3. Percobaan Cavendish
Sumber: OpenStax College (2013)

9.4 Kuat Medan Gravitasi pada Permukaan Bumi

Asumsikan bahwa bumi adalah bola seragam yang bermassa M , maka besarnya gaya gravitasi bumi pada partikel bermassa m yang terletak di luar bumi berjarak r dari pusat bumi adalah:

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (9.3)$$

Jika partikel tersebut terlepas, partikel akan jatuh menuju pusat bumi akibat dari gaya gravitasi dengan percepatan yang disebut dengan percepatan gravitasi a_g . Hukum ke-2 Newton menyatakan bahwa hubungan F dengan a_g yaitu:

$$F = ma_g \quad (9.4)$$

$$a_g = g$$

Substitusi persamaan (9.4) ke dalam persamaan (9.3) menghasilkan:

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad (9.5)$$

Jika diasumsikan bumi merupakan kerangka inersia dengan mengabaikan rotasinya, maka hal ini memungkinkan bahwa partikel yang bergerak jatuh bebas dengan kuat medan gravitasi g sama dengan percepatan gravitasi partikel a_g , sehingga dapat dikatakan nilai g memiliki nilai konstanta sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ di sembarang tempat di permukaan bumi. Akan tetapi setiap nilai g yang diukur dengan menggunakan persamaan (10.5) pada suatu lokasi tertentu akan berbeda dengan lokasi lainnya, ini disebabkan karena tiga alasan, yaitu:

- a. Massa bumi tidak terdistribusi secara merata, demikian halnya dengan densitas (massa per satuan volume) bumi bervariasi antara satu tempat dengan tempat lain di bagian kerak bumi.
- b. Bumi bukanlah sebuah bola, bentuk bumi digambarkan *ellipsoid*, yang agak pepat di bagian kutubnya dan menggembung di bagian khatulistiwa, dengan jari-jari bumi di khatulistiwa lebih besar dari pada di bagian kutub. Dengan demikian kuat medan gravitasi di daerah kutub lebih besar dibandingkan di bagian khatulistiwa.
- c. Bumi berputar dengan sumbu rotasi bergerak melalui kutub utara dan kutub selatan bumi. Objek yang terletak di bagian mana saja di permukaan bumi bergerak melingkar

sedemikian rupa yang dipengaruhi oleh percepatan sentripetal yang arahnya menuju pusat lingkaran.

Untuk objek yang terletak sejauh h dari permukaan bumi, maka kuat medan gravitasi yang dialami objek tersebut besarnya:

$$g = G \frac{M_B}{(R_B + h)^2} \quad (9.6)$$

Tabel 9.1. Variasi nilai g berdasarkan ketinggian

Ketinggian (km)	g (m/s ²)	Letak ketinggian
0	9,83	Permukaan bumi
8,8	9,80	Puncak Everest
36,6	9,71	Balon berawak tertinggi
400	8,70	Orbit pesawat ulak alik
35700	0,225	Satelit komunikasi

Sumber: Halliday & Resnick (2011)

Contoh:

Tentukan kuat medan gravitasi pada sebuah planet X yang ukuran jari-jarinya empat kali dari jari-jari bumi dan massanya 90 kali dari massa bumi.

Penyelesaian:

Diketahui: $R_x = 4 R_b$ dan $m_x = 90 m_B$, maka:

$$g_x = G \frac{M_x}{R_x^2} g_B$$

$$g_x = G \frac{(4M_B)}{(90R_B)^2}$$

$$g_x = 5,63 G \frac{M_B}{R_B^2}$$

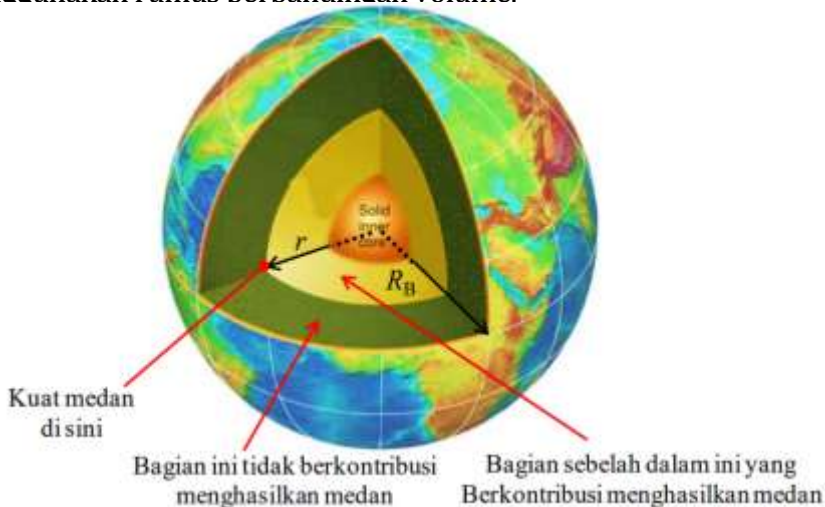
$$g_x = 5,63 g_B$$

$$g_x = 5,63 (9,8 \text{ m/s}^2)$$

$$g_x = 55,1 \text{ m/s}^2)$$

9.5 Kuat Medan Gravitasi di dalam Bumi

Semakin jauh dari permukaan bumi maka kuat medan gravitasi yang dialami suatu objek akan semakin berkurang, demikian sebaliknya. Untuk menentukan kuat medan gravitasi di dalam bumi, maka ditentukan sebuah posisi r yang ukurannya lebih kecil dari jari-jari bumi R_B ($r < R_B$), sehingga diasumsikan terlebih dahulu bumi adalah bola yang berjari-jari r dengan menggunakan rumus perbandingan volume.



Gambar 9.4. Kuat medan gravitasi di dalam bumi
Sumber: Abdullah (2017)

Volume bumi keseluruhan:

$$V_B = \frac{4\pi}{3} R_B^3 \quad (9.7)$$

Volume bola berjari-jari r :

$$V_b = \frac{4\pi}{3} r^3 \quad (9.8)$$

Jika massa bumi adalah M_B dan massa benda adalah m , maka:

$$\begin{aligned}\frac{m}{M_B} &= \frac{V_b}{V_B} \\ \frac{m}{M_B} &= \frac{\frac{4\pi}{3}r^3}{\frac{4\pi}{3}R_B^3} \\ m &= \frac{r^3}{R_B^3} M_B\end{aligned}\quad (9.9)$$

Kuat medan gravitasi di permukaan bola dianggap sama dengan kuat medan gravitasi pada jarak r dari permukaan bumi.

$$\begin{aligned}g &= G \frac{M}{r^2} \\ g &= G \frac{\frac{R_B^3}{r^2} M_B}{r^2} \\ g &= \frac{GM_B}{R_B^3} r\end{aligned}\quad (9.10)$$

Dari persamaan (9.10) tampak bahwa percepatan gravitasi bumi sebanding dengan jarak dari pusat bumi, sehingga dapat disimpulkan kuat medan gravitasi terbesar terletak pada permukaan Bumi, sedangkan di pusat Bumi bernilai nol.

9.6 Energi Potensial Gravitasi

Partikel yang letaknya dekat dengan permukaan bumi dapat dianggap gaya gravitasi yang dialaminya adalah konstan. Sedangkan untuk partikel yang letaknya berjarak dari permukaan bumi maka energi potensialnya akan semakin berkurang.

Jika energi potensial gravitasi antara dua partikel bermassa m dan M yang terpisah pada jarak r adalah U maka dapat dituliskan dalam persamaan :

$$U = - \frac{GMm}{r}\quad (9.11)$$

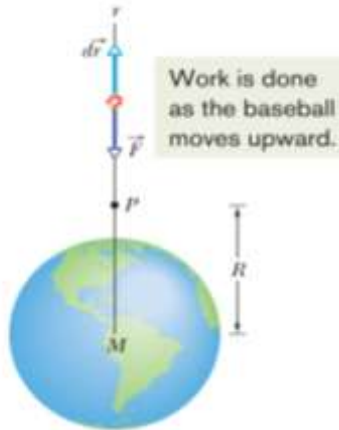
Energi potensial gravitasi pada persamaan 9.11 berlaku hanya untuk dua sistem partikel saja. Jika dalam sistem terdapat lebih dari dua partikel , maka dapat dinyatakan dengan :

$$U = -\left(\frac{Gm_1m_2}{r_{12}} + \frac{Gm_1m_3}{r_{13}} + \frac{Gm_2m_3}{r_{23}}\right) \quad (9.12)$$

Ketika sebuah partikel (misalkan bola) dilemparkan dari permukaan bumi dan mencapai titik P pada jarak R dari pusat bumi, maka usaha dalam notasi vektor dapat dituliskan :

$$W = \int_R^\infty \vec{F}(r) \cdot d\vec{r}$$

Dengan



Gambar 9.5. Bola yang dilempar dari permukaan bumi memiliki energi potensial gravitasi
Sumber: Halliday & Resnick (2011)

$$\vec{F}(r) \cdot d\vec{r} = Fr \cdot dr \cos \phi \quad (9.13)$$

Substitusi persamaan (10.3) ke dalam persamaan (9.13) maka :

$$\vec{F}(r) \cdot d\vec{r} = -\frac{GMm}{r^2} dr$$

$$W = -GMm \int_R^\infty \frac{1}{r^2} dr = \left[\frac{GMm}{r} \right]_R^\infty$$

$$W = 0 - \frac{GMm}{R} = \frac{GMm}{R}$$

Dimana W adalah usaha yang diperlukan untuk memindahkan bola dari titik P pada jarak R pada suatu posisi yang tak terhingga, dengan :

$$\Delta U = -W$$

Maka dapat dituliskan :

$$U_{\infty} - U = -W$$

Karena energi potensial pada jarak yang tak terhingga bernilai nol, maka U adalah energi potensial di titik P, dengan demikian usaha yang diperlukan bola dapat dinyatakan dengan :

$$U = W = \frac{GMm}{R} \quad (9.14)$$

Gaya dan Energi Potensial

Berdasarkan persamaan (9.11) fungsi energi potensial $U(r)$ diturunkan dari fungsi gaya, yaitu :

$$(F(x) = \frac{-dU(x)}{dx} \quad (9.15)$$

Dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$F = -\frac{dU}{dr} = -\frac{d}{dr} \left(-\frac{GMm}{r} \right)$$

Sehingga ;

$$F = -\frac{GMm}{r^2} \quad (9.16)$$

Persamaan tersebut merupakan hukum gravitasi Newton, dengan tanda negatif menunjukkan bahwa gaya pada massa m mengarah ke dalam menuju massa M .

Contoh :

Tentukan energi gravitasi yang dimiliki bulan akibat gaya gravitasi bumi, dengan massa bulan sebesar $7,4 \times 10^{22} \text{kg}$ dan jarak dari bumi adalah 384.404 km.

Penyelesaian :

Energi potensial gravitasi bulan :

$$U = - \frac{GM_B m_b}{r_{Bb}}$$

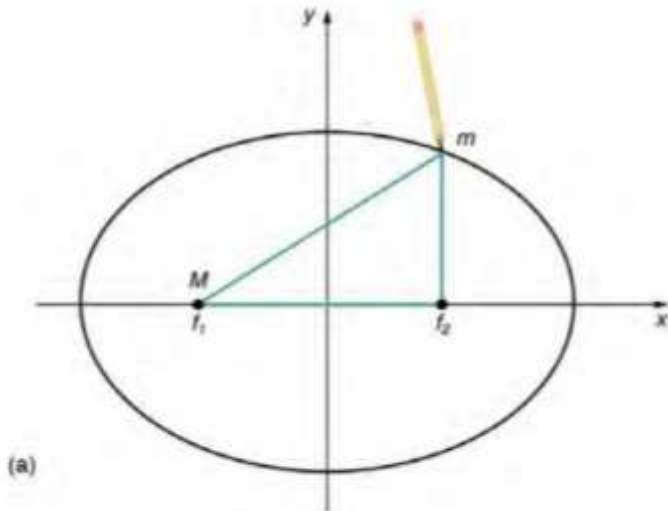
$$U = - \frac{(6,67 \times 10^{-11})(5,96 \times 10^{24})(7,4 \times 10^{22})}{384.404.000}$$

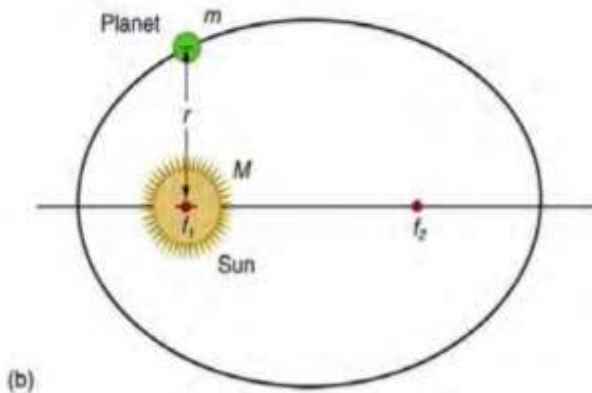
$$U = -7,65 \times 10^{28} J$$

9.7 Hukum Keppler

Hukum I Keppler:

Semua planet bergerak pada lintasan yang berbentuk elips dengan matahari sebagai salah satu titik fokusnya.



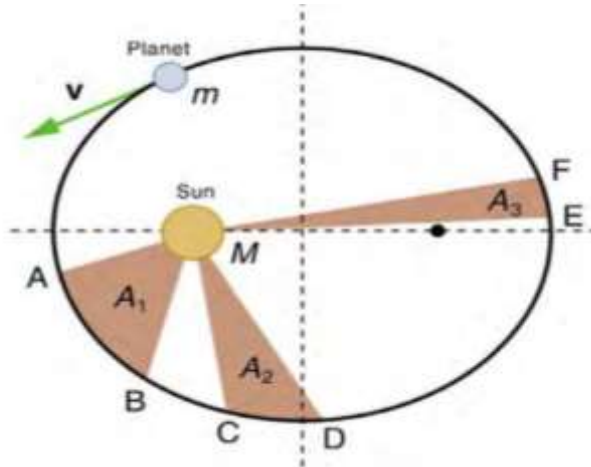


Gambar 9.6. (a) Elips merupakan kurva tertutup sedemikian rupa sehingga jarak dari titik f_1 dan f_2 adalah konstan (b) untuk sembarang orbit gravitasi tertutup, m mengikuti lintasan elips dengan M berada pada salah satu titik fokusnya. Ini menggambarkan posisi planet yang mengorbit mengelilingi matahari.

Sumber: OpenStax College (2013)

Hukum II Keppler:

Garis yang menghubungkan planet ke matahari menyapu luasan yang sama dalam interval waktu yang sama yaitu dA/dt yang menyapu luasan A adalah konstan.



Gambar 9.7. Daerah yang diarsir memiliki luasan yang sama. Planet bermassa m membutuhkan selang waktu yang sama saat bergerak dari A ke B, dari C ke D, dan dari E ke F. Planet bermassa m bergerak lebih cepat ketika posisinya berada di dekat M.
Sumber: OpenStax College (2013)

Hukum III Keppler

Rasio kuadrat periode dua planet manapun di sekitar matahari sama dengan rasio pangkat tiga jarak rata-rata planet tersebut ke matahari.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3} \quad (9.16)$$

Dimana T adalah periode (waktu yang dibutuhkan dalam sekali mengorbit) dan r adalah jarak rata-rata. Persamaan ini berlaku untuk membandingkan dua planet bermassa kecil dan sama-sama mengorbit matahari.

Penerapan hukum III Kepler untuk orbit planet yang berbentuk lingkaran

$$F_g = F_c \quad (9.17)$$

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r}$$
$$\frac{GM}{r} = v^2 \quad (9.18)$$

Dimana $v = \omega r$

dan

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

maka :

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

Sehingga:

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r^3 \quad (9.19)$$

Dengan menganggap satelit 1 dan satelit 2 adalah berbeda, maka dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3}$$

Jika digunakan

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM}\right) r^3$$

Untuk $\frac{r^3}{T^2}$ maka:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} M \quad (9.20)$$

Contoh:

Tentukan periode satelit yang bergerak mengitari bumi pada orbit 1000 km di atas permukaan bumi.

Penyelesaian:

Jarak total satelit:

$$r = r_B + 1000 \text{ km} = 6,38 \times 10^6 \text{ m} + 1 \times 10^6 \text{ m} = 7,38 \times 10^6 \text{ m}.$$

Periode satelit dapat ditentukan dengan:

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{G}{4\pi^2} M$$

dimana:

$$M_B = \frac{gR_B^2}{G}$$

Sehingga:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{gR_e^2}$$

$$T^2 = \frac{4(3,14)^2 (7,38 \times 10^6 \text{ m})^3}{(9,8 \text{ m/s}^2) (6,38 \times 10^6 \text{ m})^2}$$

$$T^2 = 3,97 \times 10^7 \text{ s}^2$$

$$T = 6300 \text{ s}$$

9.8 Orbit dan energi satelit

Ketika satelit mengorbit bumi dalam lintasan elips, energi potensial gravitasinya dinyatakan dengan :

$$U = -\frac{GMm}{R} \quad (9.21)$$

dengan nilai $U = 0$ dalam ruang yang tak terbatas dan R adalah jari-jari satelit. Jika Bumi diasumsikan berbentuk lingkaran dengan M adalah massa Bumi dan m massa satelit maka untuk mencari energi kinetik satelit dalam orbit lingkaran melalui hukum ke-2 Newton

$$F = ma_s \quad (9.22)$$

Dimana $a_s = m\omega^2 r$, sehingga:

$$G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$$

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad (9.23)$$

$\frac{v^2}{r}$ adalah percepatan sentripetal satelit, dengan demikian energi kinetik satelit dinyatakan:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$$

Yang menunjukkan bahwa untuk satelit dalam orbit melingkar:

$$K = -\frac{U}{2}$$

Energi mekanik total satelit ketika mengorbit adalah :

$$E = K + U = \frac{GMm}{2r} - \frac{GMm}{r}$$

atau

$$E = \frac{GMm}{2r} \quad (9.24)$$

Untuk orbit melingkar. Hal ini menunjukkan bahwa untuk satelit dalam orbit melingkar, energi total E adalah negatif dari energi kinetik K.

$$E = -K$$

Untuk satelit dalam orbit elips dengan sumbu semimayor r, energi mekanik dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$E = -\frac{GMm}{2r} \quad (9.25)$$

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin. 2016. *Fisika Dasar I*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Halliday, D. Resnic, R dan Walker, J. 2011. *Fundamental of Physics*. United States: Wiley.
- Halpern, Alvin. 1995. *Schaum's Outlines Beginning Physics I: Mechanics and Heat*. United States of America: McGraw-Hill Education.
- Young & Freedman. 2003. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- OpenStax College. 2013. *College Physics*. Texas: Rice University.

BAB 10

FLUIDA

Oleh Juniar Afrida

10.1 Pendahuluan

Fluida adalah zat yang dapat mengalir. Kata Fluida mencakup zat cair, air dan gas karena kedua zat ini dapat mengalir, sebaliknya batu dan benda-benda keras atau seluruh zat padat tidak digolongkan kedalam fluida karena tidak bisa mengalir. Susu, minyak pelumas, dan air merupakan contoh zat cair, dan Semua zat cair itu dapat dikelompokkan ke dalam fluida karena sifatnya yang dapat mengalir dari satu tempat ke tempat yang lain. Selain zat cair, zat gas juga termasuk fluida. Zat gas juga dapat mengalir dari satu satu tempat ke tempat lain. Hembusan angin merupakan contoh udara yang berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Fluida merupakan salah satu aspek yang penting dalam kehidupan sehari-hari. Setiap hari manusia menghirupnya, meminumnya, terapung atau tenggelam didalamnya. Setiap hari pesawat udara terbang melaluinya dan kapal laut mengapungdi atasnya. Demikian juga kapal selam dapat mengapung atau melayang didalamnya. Air yang diminum dan udara yang dihirup juga bersirkulasi di dalam tubuh manusia setiap saat meskipun sering tidak disadari.

Fluida adalah zat alir atau zat dalam keadaan bisa mengalir dan memberikan sedikit hambatan terhadap perubahan bentuk ketika ditekan. Ada dua macam fluida yaitu cairan dan gas. Salah satu ciri fluida adalah kenyataan bahwa jarak antara dua molekulnya tidak tetap, bergantung pada waktu. Hal ini disebabkan oleh lemahnya ikatan antara molekul (kohesi). Fluida juga

memberikan banyak manfaat bagi manusia karena sifat keistimewaan yang dimilikinya. Seperti kemudahan dalam transportasi air dan udara yang merupakan salah satu contoh aplikasi teknologi yang berkaitan dengan sifat fluida. Seperti contoh pada gambar berikut.



Gambar 10.1. Serangga di atas permukaan air karena adanya tegangan permukaan pada fluida
Sumber: <https://www.google.com/>

Berdasarkan sifat alir Fluida terbagi menjadi dua yaitu fluida statis (hidrostatika) yang tidak dapat bergerak dan fluida dinamis (hidrodinamika) yang dapat bergerak atau mengalir.

Sehingga Fluida adalah Suatu zat yang dapat mengalir meliputi cairan, yang mengalir di bawah pengaruh gravitasi sampai menempati daerah terendah yang mungkin dari penampungnya, dan gas, yang mengembang mengisi penampungnya tanpa peduli bentuknya (Paul A. Tipler, 1991)

10.2 Fluida Statis

Fluida statis merupakan fluida yang berada pada fase diam atau tidak bergerak. Adapun dalam keadaan bergerak tetapi tak ada perbedaan kecepatan antar partikel fluida tersebut bisa

dikatakan bahwa partikel-partikel bergerak dengan kecepatan seragam sehingga memiliki gaya geser. Fluida Statis selalu mempunyai bentuk yang dapat berubah secara kontinyu seperti wadahnya, sebagai akibat gaya geser (tidak dapat menahan gaya geser).

Didalam fluida statis yang kita pelajari adalah mekanika fluida tentang gas atau cair pada keadaan tetap, artinya suatu zat cair atau gas yang pada permukaannya dengan tekanan tetap, akan tetapi hanya berbeda ketinggiannya. (Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto, 2009)

Ada tiga fase umum materi atau zat di antaranya yaitu padat, cair dan gas. Ketiga fase tersebut sangat sederhana untuk dibedakan, zat padat memiliki ciri mempertahankan ukuran dan bentuknya agar tetap (Keras) tidak mudah di deformasikan. Sehingga memerlukan gaya yang besar untuk mengubah volume atau bentuk benda padat. Zat padat membentuk struktur molekul dari suatu zat atau materi yang mengungkapkan beberapa zat-zat yang biasanya kita anggap sebagai benda padat antara lain besi, beton, baja, kayu, batu bata dan masih banyak lagi. Molekul yang terbentuk pada zat padat sesungguhnya memiliki jarak yang sangat rapat di antara molekul tersebut dengan gaya-gaya kohesi antara molekul yang sangat besar, yang memungkinkan benda padat tersebut akan mempertahankan bentuknya.

Zat cair memiliki ciri yang mempertahankan bentuk akan tetapi volumenya akan mengikuti bentuk dari wadah tersebut (lunak) sehingga zat cair mudah dideformasikan. Zat cair seperti air, minyak, oli dan masih banyak lagi contoh yang lainnya memiliki molekul-molekul yang agak renggang dan agak terpisah antara satu dan lainnya sehingga gaya-gaya molekulnya lebih lemah dibandingkan pada benda-benda yang cenderung padat, dan molekul tersebut memiliki yang lebih bebas dari pada molekul yang ada di benda padat. Karena hal tersebut zat cair dengan mudah mengalami deformasi (tetapi tidak mudah dimampatkan),

dan apabila dituangkan ke dalam satu bentuk wadah zat tersebut akan mengikuti bentuknya sesuai dengan volume zat cair.

Zat gas memiliki ciri bentuk dan ukuran yang berubah-ubah, bergantung pada bentuk dan tempat gas berada. Gas sendiri akan memuai untuk mengisi wadahnya, contohnya ketika udara yang dipompa ke dalam ban sepeda, udara tersebut tidak mengalir ke bagian bawah ban seperti cairan, namun menyebar untuk mengisi seluruh volume ban. Oksigen, udara, atau gas-gas umum lainnya memiliki jarak yang lebih besar lagi antara molekulnya dengan gerakan-gerakan molekulnya yang lebih bebas, dan gaya-gaya yang ada di antara molekulnya dapat di abaikan sehingga zat gas sangat mudah untuk di deformasikan (dan dimampatkan). Zat gas akan mengisi secara penuh volume suatu bejana di manapun gas tersebut ditempatkan. Secara lebih terperinci, perbandingan antara zat padat, zat cair, dan gas diperlihatkan pada Tabel 10.1.

Tabel 10.1. Perbandingan Zat padat, Zat cair, dan gas

	Zat Padat	Zat Cair	Gas
Penampakan secara umum			
Gambaran makroskopik	Zat padat memiliki bentuk yang tetap, tidak membutuhkan wadah	Zat cair mengambil bentuk sesuai wadahnya dan akan tetap dalam wadah yang terbuka	Gas dapat mengembang untuk memenuhi ruang dalam wadah yang tertutup
Gambaran	Molekul	Zat cair umumnya	Molekul

	Zat Padat	Zat Cair	Gas
makroskopik (gerakan molekul)	tidak bebas bergerak karena molekul terikat dalam sebuah struktur inter-molekular yang kuat	mudah mengalir meskipun memiliki ikatan intermolekularyang kuat	bergerak bebas dengan interaksi jarang, kecuali pada saat tumbukan
Kerapatan/rapat massa secara umum	Zat padat memiliki kerapatan tinggi, misal rapat massa baja adalah 7.700 kg/m^3	Zat cair memiliki kerapatan sedang, misal rapat massa air adalah 1.000 kg/m^3	Gas memiliki kerapatan kecil, misal rapat massa udara diatas permukaan air laut adalah $1,2 \text{ kg/m}^3$
Ruang bebas antarmolekul	Ruang bebas antarmolekul sangat kecil. Molekul sangat berdekatan	Ruang bebas antarmolekul kecil. Molekul berdekatan dan diikat oleh gaya intermolekuler	Ruang bebas antarmolekul cukup besar. Molekul terpisah cukup jauh.
Efek dari tegangan geser	Menyebabkan perubahan bentuk	Menyebabkan adanya aliran	Menyebabkan adanya aliran
Efek dari tegangan normal	Menyebabkan perubahan bentuk dan	Menyebabkan perubahan bentuk yang	Menyebabkan perubahan bentuk yang

	Zat Padat	Zat Cair	Gas
	volume yang berakibat kerusakan	berakibat pada perubahan volume	berakibat pada perubahan volume
Viskositas	Tidak ada	Viskositas tinggi, menurun dengan peningkatan suhu.	Viskositas rendah, naik seiring dengan peningkatan suhu
Kemampatan	Zat padat sulit dimampatkan. Modulus menyeluruh (<i>bulk modulus</i>) besi adalah 160×10^9 pa	Zat cair sulit dimampatkan. Modulus menyeluruh (<i>bulk modulus</i>) air adalah $2,2 \times 10^9$ pa	Gas mudah dimampatkan. <i>Bulk Modulus</i> udara pada kondisi ruangan adalah $1,0 \times 10^5$ pa

(Clayton T. Crowe, Donald F. Elger, Barbara C. Williams, 2009)

Fluida statis juga memiliki sifat-sifat diantaranya, massa jenis, tekanan, tegangan permukaan, kapilaritas, dan viskositas.

10.2.1 Massa Jenis

Pernahkah Anda membandingkan berat kapas dengan berat kayu? Apakah benar pernyataan yang mengatakan bahwa lebih berat kayu dibandingkan kapas? Tentu saja pernyataan tersebut kurang tepat, karena sekarang besar kapas lebih berat daripada sebuah balok kayu yang kecil. Pernyataan yang tepat untuk perbandingan antara kapas dan kayu adalah, kayu lebih padat dibandingkan kapas. Kadang kalau kita perhatikan orang

banyak mengatakan bahwa buah manggis lebih berat daripada kapas atau besi lebih berat daripada plastik. Hal ini tidak seluruhnya benar karena seua itu tergantung ukuran dari masing-masing benda.

Anda pasti masih mengingat bahwa setiap benda memiliki kerapatan massa yang berbeda-beda serta merupakan sifat alami dari benda tersebut. Kepadatan suatu zat dapat diartikan sebagai massa persatuan volume, di mana m adalah massa sampel zat dan V adalah volumenya. Kepadatan adalah sifat dari setiap zat murni. Benda yang terbuat dari zat murni seperti emas murni dapat memiliki ukuran atau massa apapun tetapi kepadatannya akan sama untuk masing-masing.

Massa jenis ρ dari suatu fluida homogen (massanya dibagi oleh volumenya) dapat bergantung pada banyak faktor, seperti temperatur fluida dan tekanan yang mempengaruhi fluida tersebut. (David Halliday, 1985)

Ukuran kepadatan (densitas) benda homogen disebut massa jenis, yaitu massa per satuan volume. Secara matematis, massa jenis dituliskan sebagai berikut.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

dengan: m = massa (kg atau g)

V = volume (m^3 atau cm^3)

ρ = massa jenis (kg/m^3 atau g/cm^3)

Adapun beberapa massa jenis zat yang ditunjukkan pada Tabel 11.2.

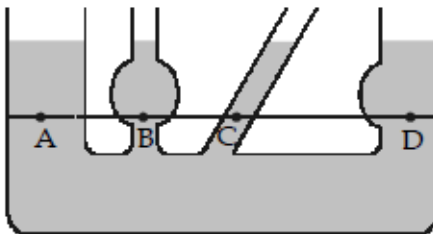
Tabel 11.2. Massa Jenis atau Kerapatan Massa (*Density*) Beberapa Zat

Bahan	Massa Jenis (g/cm ³)	Bahan	Massa Jenis (g/cm ³)
Air	1,00	Gliserin	1,26
Aluminium	2,7	Kuningan	8,6
Baja	7,8	Perak	10,5
Benzena	0,9	Platina	21,4
Besi	7,8	Raksa	13,6
Emas	19,3	Tembaga	8,9
Es	0,92	Timah Hitam	11,3
Etil Alkohol	0,81		

(Serway Vuille, 2012)

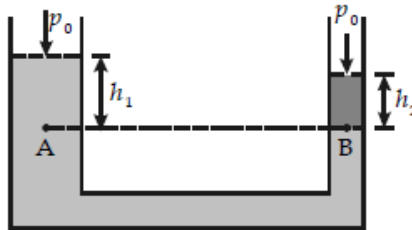
10.2.2 Tekanan Hidrostatik

Perhatikanlah dibawah ini. Gambar tersebut memperlihatkan sebuah bejana berhubungan yang diisi dengan fluida, misalnya air. Anda dapat melihat bahwa tinggi permukaan air di setiap tabung adalah sama, walaupun bentuk setiap tabung berbeda. Bagaimanakah tekanan yang dialami oleh suatu titik di setiap tabung? Samakah tekanan total di titik A, B, C, dan D yang letaknya segaris? Untuk menjawab pertanyaan tersebut, Anda harus mengetahui Hukum Utama Hidrostatik.



Hukum Utama Hidrostatik menyatakan bahwa semua titik yang berada pada bidang datar yang sama dalam fluida homogen, memiliki tekanan total yang sama. Jadi, walaupun bentuk penampang tabung berbeda, besarnya tekanan total di titik A, B, C, dan D adalah sama.

Persamaan Hukum Utama Hidrostatik dapat diturunkan dengan memerhatikan Gambar dibawah. Misalkan, pada suatu bejana berhubungan dimasukkan dua jenis fluida yang massa



jenisnya berbeda, yaitu ρ_1 dan ρ_2 . Jika diukur dari bidang batas terendah antara fluida 1 dan fluida 2, yaitu titik B dan titik A, fluida 2 memiliki ketinggian h_2 dan fluida 1 memiliki ketinggian h_1 . Tekanan total di titik A dan titik B sama besar. Menurut persamaan tekanan hidrostatik, besarnya tekanan di titik A dan titik B bergantung pada massa jenis fluida dan ketinggian fluida di dalam tabung. Secara matematis, persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} p_A &= p_B \\ p_0 + \rho_1 g h_1 &= p_0 + \rho_2 g h_2 \\ \rho_1 h_1 &= \rho_2 h_2 \end{aligned}$$

dengan: h_1 = jarak titik A terhadap permukaan fluida 1,

h_2 = jarak titik B terhadap permukaan fluida 2,

ρ_1 = massa jenis fluida satu, dan

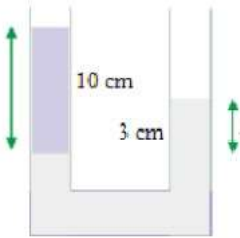
ρ_2 = massa jenis fluida dua

Contoh Soal:

1. Di dalam sebuah tabung gelas terdapat zat cair setinggi 10 cm. Tekanan air pada dasar tabung adalah 1200 N/m^2 . Jika

$g = 10 \text{ m/s}^2$. Abaikan tekanan udara,. Berapakah massa jenis zat cair?

Pembahasan:



Dik:

$$h = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$P = 1200 \text{ N/m}^2$$

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

Dit:

$$\rho = \dots?$$

Penyelesaian:

$$P = \rho g h$$

$$\rho = \frac{P}{g h}$$

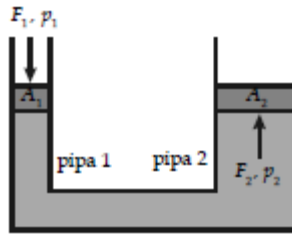
$$\rho = \frac{1200}{(10)(0,1)}$$

$$\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$$

10.2.3 Hukum Pascal

Bagaimana jika sebuah bejana U diisi dengan fluida homogen dan salah satu pipanya ditekan dengan gaya sebesar F ? Proses Fisika yang terjadi pada bejana U seperti itu diselidiki oleh **Blaise Pascal**. Melalui penelitiannya, Pascal berkesimpulan bahwa apabila tekanan diberikan pada fluida yang memenuhi sebuah ruangan tertutup, tekanan tersebut akan diteruskan oleh fluida tersebut ke segala arah dengan besar yang sama tanpa mengalami pengurangan. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum Pascal yang dikemukakan oleh Pascal pada 1653.

Secara analisis sederhana, Hukum Pascal dapat digambarkan seperti pada Gambar. Tekanan oleh gaya sebesar F_1 terhadap pipa 1 yang memiliki luas penampang pipa A_1 , akan diteruskan oleh fluida menjadi gaya angkat sebesar F_2 pada pipa 2 yang memiliki luas penampang pipa A_2 dengan besar tekanan yang sama. Oleh karena itu, secara matematis Hukum Pascal ditulis sebagai berikut.



$$p_1 = p_2$$

$$\frac{A_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

dengan: F_1 = gaya pada pengisap pipa 1,

A_1 = luas penampang pengisap pipa 1,

F_2 = gaya pada pengisap pipa 2, dan

A_2 = luas penampang pengisap pipa 2.

10.2.4 Hukum Archimedes

Anda tentunya sering melihat kapal yang berlayar di laut, benda-benda yang terapung di permukaan air, atau batuan-batuan yang tenggelam di dasar sungai. Konsep terapung, melayang, atau tenggelamnya suatu benda di dalam fluida, kali pertama diteliti oleh **Archimedes**.

Menurut Archimedes, benda yang dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam fluida, akan mengalami gaya ke atas. Besar gaya ke atas tersebut besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda. Secara matematis, Hukum Archimedes dituliskan sebagai berikut.

$$F_A = \rho_f V_f g$$

dengan: F_A = gaya ke atas (N),

ρ_f = massa jenis fluida (kg/m^3),

V_f = volume fluida yang dipindahkan (m^3), dan

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

DAFTAR PUSTAKA

- Clayton T. Crowe, Donald F. Elger, Barbara C. Williams, J. A. R. 2009. *Engineering Fluid Mechanics*. 9th ed. Edited by Mark Owens. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- David Halliday. 1985. *Fisika*. Edisi Ket. Jakarta: Erlangga.
- Paul A. Tipler. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Edited by S. S. Joko Sutrisno. Jakarta: Erlangga.
- Prof. Dr. Ir. Bambang Suharto, M. 2009. *Mekanika Fluida*. Cetakan I. Edited by Saiful Iqbal. Malang: UB Press.
- Serway Vuille. 2012. *College Physics*. 9th edn. Edited by Brandi Kirksey. Boston: Charles Hartford.

BAB 11

JENIS-JENIS ALIRAN FLUIDA

Oleh Masniah

11.1 Jenis Fluida

Secara umum, fluida terbagi ke dalam dua jenis yakni fluida statis dan fluida dinamis. Kedua fluida tersebut terus diteliti sampai terus mengalami perkembangan. Fluida statis merupakan cabang keilmuan dari ilmu fisika. Jenis fluida ini berhubungan sangat dekat dengan jenis fluida yang lain, keseimbangan dan tekanan. Sedangkan fluida adalah sejenis zat mengalir yang bisa mengadakan hambatan kecil waktu mendapatkan tekanan. Contoh fluida adalah zat gas atau zat cairan. (Castera, 2022).

Akan tetapi, tidak semua fluida mesti mengalir. Ada sebagian jenis fluida yang bersifat tetap atau tak mengalir. Fluida semacam ini dinamakan sebagai fluida statis atau tetap. Jenis inipun terbagi lagi ke dalam dua unsur yang terdapat di dalamnya yaitu Tekanan Hidrostatik dan Tekanan Mutlak. (Castera, 2022)

11.2 Fluida Statis dan Dinamis

Statis adalah tetap atau lawannya dinamis. Dengan demikian fluida statis adalah jenis fluida yang bersifat tetap atau diam. Sedangkan fluida dinamis adalah fluida yang tidak tetap atau tidak diam (Jurado, et al, 1990)

Menurut salah seorang ahli fisika, Kusrini memberikan definisi fluida hidrostatik atau statis merupakan suatu zat fluida yang diam. Fluida tetap dinamakan pula sebagai hidrostatik.

Pada dasarnya, fluida tetap mempelajari segala hal yang berhubungan dengan besaran tekanan yang dilakukan fluida statis di suatu objek. Contohnya tekanan air yang mengalami

peningkatan di suatu kedalaman sampai berubahnya tekanan pada atmosfer. Adapun orang yang menemukan fluida statis pertama kali adalah Blaise Pascal, seorang filsuf dan matematikawan yang terkenal berasal dari negara Prancis. Beliau menemukan konsep dan formulasi serta rumus fluida statis di tahun 1647. Untuk menghormati jasanya maka nama konsep fluida hidrostatik yang dilontarkannya diganti dengan nama Hukum Pascal (Jurado, et al, 1990).

Fluida yang terdiri-dari dua macam yaitu fluida statis dan fluida dinamis memiliki sifat masing-masing. Sifat fluida tetap adalah diam. Hal ini berbanding terbalik dengan fluida dinamis yang selalu bergerak mengalir atau mengadakan pergerakan secara tetap. Fluida sangat berbeda dengan zat padat. Zat padat tidak gampang mengalami perubahan bentuk. Sedangkan fluida sangat gampang untuk mengadakan perubahan bentuk. Hal tersebut salah satunya lewat udara dengan cara bergerak mengalir sebagai sifat fluida. (Wallace, et al, 2022).

Untuk sifat-sifat yang dimiliki oleh fluida, antara lain tegangan permukaan, viskositas, compressibility, suhu atau temperatur, tekanan dan massa jenis.

Sehingga benda-benda padat yang terbiasa anda jumpai sehari-hari bukan termasuk fluida. Sebab sifatnya yang tak bisa mengalir sedikitpun. Pendek kata, hanya zat cair dan gas merupakan dua zat mutlak yang akrab dalam kehidupan sehari-hari manusia yang jadi bagian dari fluida. Fluida yang berbentuk zat cair contohnya juga sangat banyak. Misalkan air, minyak pelumas, susu dan lain-lain. Zat cair ataupun zat gas semuanya termasuk dalam fluida karena sifatnya yang gampang mengalir atau bergerak. Dengan demikian, sangat banyak jumlah fluida di dunia ini (Wallace, et al, 2022).

Angin ataupun udara merupakan suatu zat yang sangat mudah mengalir dan berhembus maupun berpindah dari satu area ke area lainnya. Hal ini bisa disebut juga sebagai fluida. Udara

sebagai media manusia untuk bernafas seperti halnya angin memegang kontribusi penting bagi kehidupan manusia.

Setiap benda di muka bumi mempunyai massa jenis masing-masing. Begitu juga dengan kapal laut yang mempunyai massa jenis. Dengan tingkat massa jenis lebih tinggi ketimbang massa jenis air membuat kapal laut dapat berlayar di tengah lautan. Semua pelajaran dan konsep itu baru dapat dipahami secara baik jika sudah memahami konsep, materi, dan teori fluida hidrostatik.

Fluida statis adalah materi ilmu penting dalam mata pelajaran fisika yang berkenaan dengan sifat-sifat zat cair yang dalam posisi tak bergerak. Dalam ilmu fisika, fluida tetap ini kerap kali dinamakan hidrostatika. Materi fluida ini yang diajarkan oleh guru kelas akan banyak mengenai mempelajari tekanan fluida.

Fluida terdapat pada zat gas dan air. Dengan alasan kedua zat tersebut memiliki sifat yang mudah mengalir dan berpindah-pindah. Misalkan berpindah karena hembusan angin atau udara sekitar. Adapun manfaat mempelajari fluida sangat besar. (Castera, 2022)

Salah satu manfaat mengetahui apa yang dimaksud dengan fluida statis dan contohnya yaitu siswa mampu memahami setiap fenomena alam yang tengah terjadi. Misalkan memahami fenomena peningkatan tekanan air di kedalaman tertentu dan tekanan atmosfer yang berubah secara drastis. Hal tersebut membuat siswa siswi dapat lebih bijak menyikapi fenomena alam yang tengah terjadi secara ilmiah dan objektif. (Castera, 2022)

11.2.1 Fluida Statis

Fluida statis merupakan sebuah zat fluida yang mempunyai tahapan diam atau tak bergerak sama sekali. Sehingga tak mempunyai gaya pergeseran. Adapun sebaliknya adalah fluida dinamis.

Fluida statis memiliki contoh dua kategori yakni pertama, contoh fluida statis tak sederhana, seperti air di sungai yang

memiliki kecepatan tertentu yang sama pada molekulnya. Mencakup dasar sungai dan permukaan sungai.

Yang kedua, contoh fluida statis yang sangat sederhana. Misalkan bak mandi yang tak mendapatkan gaya sedikitpun. Seperti berwujud panas, angin serta gaya lain sebagainya. Gaya mengakibatkan air di dalam bak mandi tak melakukan pergerakan sama sekali.

Untuk contoh fluida dalam bentuk cair seperti oli dan minyak. Bahkan udara dan angin termasuk ke dalam fluida hidrostatik disamping zat air atau gas. Dikarenakan sifat udara atau angin yang gampang mengalir atau berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. (Castera, 2022)

Beberapa contoh fluida statis yang sering kita temukan, antara lain:

1. Rem piringan hidrolik
2. Mesin Pengempes Hidrolik
3. Mesin hidrolik pengangkat mobil
4. Pompa hidrolik ban sepeda
5. Dongkrak hidrolik

11.2.2 Fluida Dinamis

Fluida dinamis adalah jenis fluida yang tidak diam. Tapi senantiasa melakukan pergerakan sehingga memunculkan padanya gaya geser berdasarkan kecepatan. Untuk menghitung besaran fluida dinamis berdasarkan beberapa faktor seperti tekanan, jarak, suhu, kepadatan, dan kecepatan.

Sedangkan fluida dinamis yang mempunyai sifat zat fluida yang terus bergerak membuat terdapat beberapa contoh yang bisa anda temui sehari-hari. Misalkan penghitungan momen dan gaya di perangkat pesawat terbang dan pemakaiannya untuk prediksi cuaca.

Namun dari antara perbedaan fluida statis dan dinamis yang paling mudah adalah dari segi sifat pergerakan. Fluida hidrostatik adalah jenis fluida yang tak bergerak sama sekali.

Sedangkan fluida dinamis adalah sejenis fluida yang senantiasa bergerak dinamis. Sehingga menimbulkan gaya gerak dan gaya geser yang dapat dihitung menggunakan rumus- rumus fluida. (Castera, 2022)

Sementara itu, contoh-contoh manfaat dari penerapan fluida hidrostatik yaitu terciptanya kapal selam, kapal laut, hidrometer, pompa hidrolik ban sepeda, dan dongkrak hidrolik

11.3 Fluida

Fluida dinamis atau statis mempunyai sifatnya masing-masing. Seperti fluida hidrostatik yang bersifat diam dan masih banyak lagi sifat lainnya. Lantas apa saja sifat sifat yang dimiliki fluida hidrostatik? Nah, berikut ini beberapa sifat yang ada pada fluida statis yang sebaiknya kalian ketahui.

1. Massa jenis

Massa jenis adalah suatu kadar isi kepadatan ukuran dari sebuah barang. Apabila semakin tinggi massa jenis maka benda tersebut membuat volume tekanan yang besar pula. Massa jenis sering dipakai dalam mengukur apakah sebuah barang bisa mengapung tidaknya di atas permukaan air berdasarkan massa jenis yang dimilikinya (Martinez, 2020).

2. Tekanan

Salah satu sifat dari fluida hidrostatik adalah memiliki tekanan. Tekanan pada fluida ini sering dipakai bagi pengukuran sebuah barang zat cair atau gas berdasarkan kekuatan yang dimilikinya.

3. Kapilaritas

Sifat fluida hidrostatik berikutnya memiliki kapilaritas. Apa itu kapilaritas? Kapilaritas adalah suatu gejala turun naiknya suatu zat cairan yang terdapat pada pipa kapiler. Sehingga untuk penghitungan kapilaritas tersebut dibuatlah sebuah rumus kapilaritas (Martinez, 2020).

4. Tegangan Permukaan

Sifat dari fluida hidrostatik selanjutnya adalah mempunyai tegangan permukaan.

5. Viskositas

Apa saja sifat sifat yang dimiliki fluida statis selanjutnya? Sifat fluida hidrostatik yang terakhir adalah mempunyai viskositas. Apa itu viskositas? Viskositas adalah hasil dari pengukuran ketahanan fluida.

Dari sifat-sifat fluida hidrostatik tersebut di atas memunculkan beberapa hukum fluida. Sejumlah hukum yang menjadi cikal bakal dasar dari perhitungan fluida tetap yaitu hukum Blaise Pascal, hukum Archimedes, Hukum Stokes dan Hukum Hidrostatik. (Gosselin, 2019).

DAFTAR PUSTAKA

- Castera, M. R., & Borhade , M. B. 2022. Fluid Management. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Gosselin F. P. 2019. Mechanics of a plant in fluid flow. *Journal of experimental botany*, 70(14), 3533–3548. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz288>
- Jurado, R., & Walker, H. K. 1990. Cerebrospinal Fluid. In H. K. Walker (Eds.) et. al., *Clinical Methods: The History, Physical, and Laboratory Examinations*. (3rd ed.). Butterworths.
- Martínez-Pedrero F. 2020. Static and dynamic behavior of magnetic particles at fluid interfaces. *Advances in colloid and interface science*, 284, 102233. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102233>
- Wallace, H. A., & Regunath, H. 2022. Fluid Resuscitation. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.

BAB 12

SUHU DAN KALOR

Oleh Neny Rochyani

12.1 Pendahuluan

Suhu dan kalor merupakan salah satu cabang dari ilmu Fisika. Konsep awal tentang suhu berdasarkan dari hal yang berkaitan tentang “panas” dan “dingin” yang dirasakan oleh indera perasa. Benda yang terasa panas memiliki suhu yang lebih tinggi dibandingkan benda yang terasa dingin. Dalam fisika suhu termasuk salah satu dari besaran pokok.

Contoh sederhana untuk memahami arti suhu dalam penerapan sehari-hari, misalnya suhu air mendidih dapat mencapai 100°C , suhu tubuh normal manusia antara $36,5 - 37,5^{\circ}\text{C}$, suhu udara $30-40^{\circ}\text{C}$, suhu es krim $0-10^{\circ}\text{C}$ dan lain-lain.

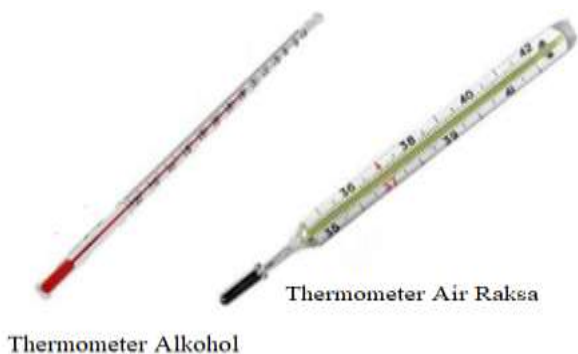
12.2 Suhu

Suhu adalah parameter pengukuran derajat panas atau dingin suatu benda atau zat. Atau suhu dapat juga diartikan sebagai ukuran rata-rata energi kinetik yang dimiliki oleh partikel atau molekul suatu zat. Semakin tinggi suhu maka semakin tinggi energi kinetiknya. Sedangkan temperatur merupakan istilah yang menyatakan panas dingin suatu zat.

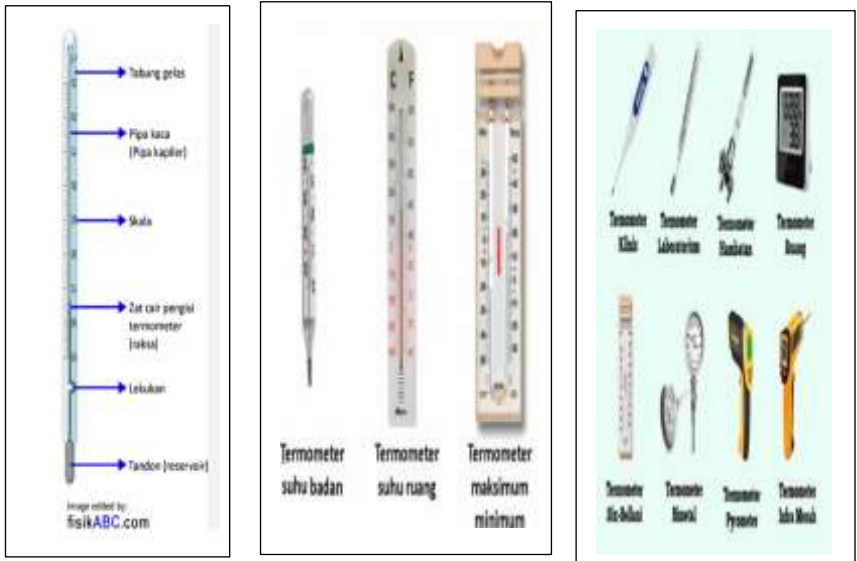
12.2.1 Alat Ukur Suhu

Alat pengukur yang dipergunakan dalam mengukur suhu disebut Termometer. Pada tahun 1595 pertama kali alat termometer diperkenalkan oleh Galileo Galilei (1564-1642). Termometer dibuat berdasarkan sifat Termometrik, antara lain perubahan wujud, tekanan, ukuran, warna dan daya hantar listrik.

Bahan cair yang digunakan dalam termometer saat ini adalah raksa dan alkohol. Pengukuran suhu pada kedua termometer ini berdasarkan titik beku (Tb) dan titik didih (Td). Penggunaan termometer air raksa untuk suhu -39 sampai 357°C sementara termometer alkohol untuk mengukur suhu yang lebih rendah (-144 hingga 78°C). Prinsip yang digunakan adalah pemuaian zat cair ketika terjadi peningkatan suhu benda.(Herliati, 2021) Beragam termometer berdasarkan fungsi penggunaanya terdiri dari termometer klinis, termometer ruang, termometer laboratorium, termometer digital, termokopel dan lain-lain. (Taqwa, 2019)



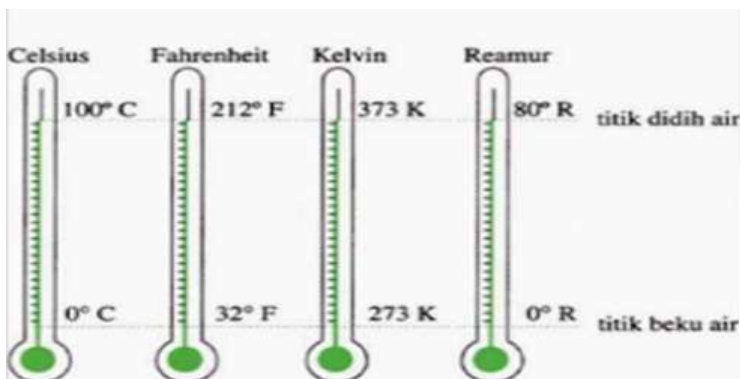
Gambar 12.1. Termometer Alkohol dan Raksa
Sumber : Shopee Indonesia



Gambar 12.2. Bagian dan Jenis-jenis Termometer
Sumber : Shopee Indonesia

12.2.2 Skala Suhu

Dalam fisika, terdapat empat macam skala yang biasa digunakan dalam pengukuran suhu, yaitu skala Celcius, Fahrenheit, Kelvin, dan Reamur. Masing-masing termometer tersebut mempunyai ketentuan-ketentuan tertentu dalam menetapkan nilai titik didih air dan titik beku air pada tekanan 1 atm.(Sofianto, 2020)



Gambar 12.3. Perbandingan Besaran Suhu

Sumber : (Supriyadi, 2021)

Tabel 12.1. Klasifikasi Besaran Skala Suhu

Derajat satuan, °	Titik Beku, (T_b)	Titik Didih, (T_d)	Skala (T_d - T_b)
Celsius ° (C)	0	100	100
Reamur (°R)	0	80	80
Fahrenheit (°F)	32	212	180
Kelvin (K)	273	373	100

Sumber : (Giancoli, 1998)

Pada skala Kelvin 0° mutlak (0° Kelvin) disebut juga suhu nol absolut (nol mutlak), artinya tidak ada panas yang terdeteksi karena kalor/panas yang ada sebanding dengan energi kinetic yang diperlukan partikel. $0^{\circ}\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$.

Rasio skala besaran suhu :

$$\begin{array}{cccc}
 \mathbf{C} & : & \mathbf{R} & : & \mathbf{F} \\
 100 & : & 80 & : & 180 \\
 5 & : & 4 & : & 9
 \end{array}$$

Formula Konversi Satuan Suhu

$$^{\circ}\text{C} = 5/4 \text{ }^{\circ}\text{R}$$

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F}-32)$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{ }^{\circ}\text{K} - 273$$

$$^{\circ}\text{R} = 4/5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$^{\circ}\text{R} = 4/9 (^{\circ}\text{F}-32)$$

$$^{\circ}\text{R} = 4/5 (^{\circ}\text{K}-273)$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{C} + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/4 \text{ }^{\circ}\text{R} + 32$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \text{ }^{\circ}\text{K} (^{\circ}\text{K}-273) + 32$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{K} = 5/4 \text{ }^{\circ}\text{R} + 273$$

$$^{\circ}\text{K} = 5/9 (^{\circ}\text{F}-32) + 273$$

Contoh soal :

1. Bila diketahui suhu dalam ruang 30°C . Berapa angka yang menunjukkan skala :

a. $^{\circ}\text{R}$

b. $^{\circ}\text{K}$

c. $^{\circ}\text{F}$

Penyelesaian :

$$\text{a. } ^{\circ}\text{R} = 4/5 \cdot 30^{\circ} = 24^{\circ}$$

$$\text{b. } ^{\circ}\text{K} = 273 + 30^{\circ} = 303^{\circ}$$

$$\text{c. } ^{\circ}\text{F} = (9/5 \cdot 30 + 32) = 86^{\circ}$$

2. Temperatur tubuh normal adalah $98,6^{\circ}\text{F}$. Berapa nilai pada skala celcius ?.

Penyelesaian :

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 (98,6 - 32)$$

$$^{\circ}\text{C} = 37,0$$

12.3 Kalor

Kalor atau panas merupakan salah satu bentuk energi, oleh karenanya sebagai energi, kalor dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lain, dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Energi bersifat kekal diperkuat dari pernyataan dari Hukum Kekekalan Energi, bahwa” energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, tetapi energi dapat berubah bentuk atau berpindah dari satu keadaan ke keadaan lainnya”.

Tiap benda atau zat pada dasarnya dapat berubah dari satu wujud ke wujud lainnya (cair, padat, gas) karena adanya peranan kalor. Pada proses perubahan wujud benda atau zat tersebut terjadi pelepasan ataupun penerimaan dengan adanya peristiwa perpindahan kalor.

12.3.1 Hubungan Suhu dan Kalor

Suhu dan kalor sangat berkaitan erat. Keduanya merupakan sesuatu yang berbeda. Suhu menyatakan derajat/ukuran panas atau dingin suatu benda, sedangkan kalor menyatakan perpindahan energi panasnya. Untuk mendeteksi keberadaan kalor yang dimiliki suatu benda yaitu dengan mengukur suhu. Kalor dapat berpindah karena adanya perbedaan suhu. Suatu benda yang dipanaskan (diberi kalor) maka benda tersebut akan mengalami kenaikan suhu.

Jika perpindahan energi terjadi hanya karena perbedaan suhu, maka perpindahan itu disebut perpindahan/aliran kalor. Energi yang dipindahkan ini dalam bentuk panas yang disebut dengan kalor. Jadi kalor merupakan energi yang berpindah dari satu benda yang suhunya tinggi ke benda lain yang suhunya rendah. Jika pada suhu menggunakan satuan skala Celcius, maka pada kalor satuan yang digunakan adalah Joule (J) atau Kalori (Kal). Satu kalori adalah banyaknya kalor untuk menaikkan suhu satu gram air bersuhu $14,5^{\circ}\text{C}$ menjadi $15,5^{\circ}\text{C}$. Namun dalam SI (MKS), satuan kalor adalah Joule dan satuan suhu, Kelvin, sedangkan menurut cgs yaitu erg dan untuk jenis

makanan/minuman satuannya Kalori. Alat untuk mengukur nilai kalor yaitu kalorimeter.

1 Kalori = 4,2 Joule ; 1 Joule = 0,24 Kalori

1 Kkal (kilokalori) = 1000 Kal (Kalori) = 4200 Joule = 4,2 KJ (kilojoule)

12.3.2 Perpindahan Kalor

Kalor didefinisikan sebagai energi yang dipindahkan dari benda dengan suhu yang lebih tinggi ke benda dengan suhu yang lebih rendah tanpa disertai dengan perubahan fisik pada benda-benda tersebut. Fenomena proses perpindahan kalor dapat terjadi melalui 3 cara :

A. Konduksi

Konduksi (hantaran) adalah perpindahan kalor melalui suatu perantara zat padat yang tidak ikut mengalami perpindahan. Artinya, perpindahan kalor pada suatu zat tersebut tidak disertai dengan perpindahan partikelnya.

Contoh :

1. Saat memasak air menggunakan panci, api kompor memanaskan dasar panci terlebih dahulu baru kemudian seluruh permukaan badan panci dan air.
2. Benda yang terbuat dari logam akan terasa hangat atau panas jika ujung benda dipanaskan, misalnya ketika memegang kembang api yang sedang dibakar.
3. Knalpot motor menjadi panas saat mesin dihidupkan.
4. Knalpot motor menjadi panas saat mesin dihidupkan.
5. Mentega yang dipanaskan dalam wajan menjadi meleleh karena panas.

Kemampuan zat atau benda secara alamiah dalam menghantarkan kalor dibedakan menjadi dua kelompok : **Konduktor** dan **Isolator**. Konduktor adalah kelompok benda

yang mudah menghantarkan kalor, umumnya benda yang terbuat dari logam, misalnya tembaga, besi, aluminium. Sedangkan Isolator adalah kelompok benda yang sukar menghantarkan kalor atau bahan yang terbuat dari non logam, seperti plastik, karet, kayu.

Dalam pemahaman Konduksi diketahui bahwa perpindahan panas tidak diikuti dengan adanya perpindahan partikel zat. Untuk mengetahui banyaknya kalor pada tiap satuan waktu digunakan rumusan sebagai berikut : (Halliday, 1985)

$$H = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

Dimana :

- H = Laju Perpindahan Kalor (J/s)
- k = Koefisien Konduksi
- A = Luas Penampang (m²)
- ΔT = Perubahan Suhu (°C)
- L = Panjang Penghantar (m)

B. Konveksi

Konveksi (aliran) adalah perpindahan kalor melalui aliran yang zat pengantarnya (aliran zat yang dipanaskan) ikut berpindah. Jika partikel berpindah dan mengakibatkan kalor merambat, terjadilah konveksi. Konveksi terjadi pada zat cair dan gas (udara/angin).

Contoh:

1. Perubahan panas saat memasak air
2. Asap cerobong pabrik yang membumbung tinggi
3. Terjadinya angin darat dan angin laut
4. Perpindahan panas dari pendingin yang berada dalam ruangan atau AC
5. Terjadinya angin darat dan angin laut.

Dalam pemahaman Konveksi diketahui bahwa perpindahan panas diikuti dengan adanya perpindahan partikel zat. Untuk mengetahui banyaknya kalor pada tiap satuan waktu digunakan rumusan sebagai berikut : (Halliday, 1985)

$$H = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Dimana :

- H = Laju Perpindahan Kalor (J/s)
- h = Koefisien Konveksi
- A = Luas Penampang (m²)
- ΔT = Perubahan Suhu (°C)

C. Radiasi

Perpindahan kalor tanpa zat perantara merupakan radiasi. Radiasi (Pancaran) adalah perpindahan panas tanpa zat perantara. Radiasi biasanya disertai cahaya.

Contoh radiasi:

1. Pakaian menjadi kering ketika dijemur di bawah terik matahari.
2. Tubuh terasa hangat ketika berada dekat sumber api.
3. Menetaskan telur unggas dengan lampu.
4. Panas matahari sampai ke bumi walau melalui ruang hampa.

Dalam pemahaman Radiasi diketahui bahwa perpindahan panas tanpa melalui medium atau zat. Energi panas dipancarkan dengan kecepatan yang sama dengan gelombang elektromagnetik lain pada ruang hampa (3 x 10⁸m/det). Untuk mengetahui banyaknya kalor pada tiap satuan waktu digunakan rumusan sebagai berikut :

$$P = e \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

yaitu :

- P = Banyak Kalor yang dipancarkan (J)

e = Koefisien emisivitas (daya pancaran)
 permukaan
 A = Luas Penampang (m^2)
 σ = Konstanta umum = $5.672 \times 10^{-8} \text{ watt}/m^2 k^4$
 T = Suhu ($^{\circ}C$)

Besarnya harga e tergantung pada jenis permukaan $0 < e < 1$, benda hitam sempurna memiliki nilai $e = 1$

12.3.3 Asas Black

Kenaikan suhu sebuah benda dipengaruhi oleh banyaknya kalor dan jenis benda. Besarnya kenaikan suhu yang dialami suatu benda yang diberi kalor (dipanaskan) tergantung pada jumlah kalor yang diterima atau diserap oleh benda dan jenis bendanya itu sendiri. Semakin banyak kalor yang diterima atau diserap oleh benda, semakin besar kenaikan suhunya.

Adapun kaitannya dengan jenis benda, ada beberapa benda yang membutuhkan sedikit kalor untuk menaikkan suhunya, akan tetapi ada pula beberapa benda yang membutuhkan kalor yang cukup besar untuk menaikkan suhunya. Selain bahasan tentang kalor ini berkaitan erat dengan hukum Kekekalan Energi, mekanisme penerimaan atau penyerapan dan pelepasan kalor dari suatu benda berlaku pernyataan yang diungkapkan oleh Joseph Black dan dikenal dengan istilah **Asas Black**. Bunyi Asas Black ; *"Pada pencampuran dua zat, banyaknya jumlah kalor yang dilepas zat yang suhunya lebih tinggi sama dengan banyaknya jumlah kalor yang diterima oleh zat yang suhunya ialah lebih rendah"*.

Artinya apabila dua buah benda yang berbeda suhunya dicampurkan, maka benda yang panas akan memberi sebuah kalor pada benda yang dingin sehingga suhu tersebut akhirnya sama. Begitu pula sebaliknya jumlah kalor yang diserap benda dingin

akan sama pada jumlah kalor yang dilepas dari benda panas. Benda yang didinginkan akan melepaskan kalor yang sama besar dengan kalor yang diserap jika dipanaskan. Hal ini dapat dilihat pada contoh es berubah wujud menjadi cair dan air berubah menjadi uap air.

Penulisan Asas Black secara matematis :

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{terima}}$$

Keterangan:

Q_{lepas} = merupakan jumlah kalor yang dilepaskan oleh suatu zat (Joule)

Q_{terima} = merupakan jumlah kalor yang diterima oleh suatu zat (Joule)

Kalor dapat menaikkan atau menurunkan suhu. Semakin besar kenaikan suhu maka kalor yang diterima semakin banyak. Semakin kecil kenaikan suhu maka kalor yang diterima semakin sedikit. Banyaknya kalor yang diterima atau dilepaskan oleh suatu benda bergantung dari sifat bendanya, yaitu kapasitas kalor suatu benda dan kalor jenis benda tersebut. Tidak semua kalor berguna dalam menaikkan suhu. Ada juga kalor yang digunakan suatu zat untuk berubah wujud, disebut kalor laten.

A. Kapasitas Kalor

Pemahaman Kapasitas kalor (C) adalah sebagai banyaknya kalor atau energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu benda sebesar 1 °C atau 1 K dengan satuan Joule/Kelvin (J/K). Apabila sejumlah kalor atau energi panas ditambahkan pada suatu zat, maka suhu zat akan naik. Banyaknya kalor (Q) yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat sebanding dengan perubahan temperatur (ΔT) zat tersebut. Rumus umum Kalor dengan perubahan Temperatur dan Kapasitas Panas :

$$Q = C \cdot \Delta T$$

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

B. Kalor Jenis

Kalor dapat menaikkan atau menurunkan suhu. Semakin besar kenaikan suhu maka kalor yang diterima semakin banyak. Semakin kecil kenaikan suhu maka kalor yang diterima semakin sedikit. Ada tiga faktor yang berpengaruh untuk menaikkan suhu suatu zat, yaitu: massa zat (m), kalor jenis (c) dan perubahan suhu (ΔT). Jadi kalor jenis (c) adalah banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kilogram zat itu sebesar 1 °C atau 1 K. Atau dengan kata lain, banyaknya kalor (Q) yang diperlukan untuk menaikkan suhu suatu zat sebanding dengan perubahan suhu (ΔT) dan massa (m) zat tersebut. Satuan kalor jenis (c) adalah J/kg.K.

Semakin besar massa zat (m) maka kalor (Q) yang diterima semakin banyak. Semakin kecil massa zat (m) maka kalor (Q) yang diterima semakin sedikit. Jadi kalor (Q) berbanding lurus atau sebanding dengan massa zat (m) jika kenaikan suhu (ΔT) dan kalor jenis zat (c) tetap. Semakin besar kalor jenis zat (c) maka kalor (Q) yang diterima semakin banyak. Semakin kecil kalor jenis zat (c) maka kalor (Q) yang diterima semakin sedikit. Jadi kalor (Q) berbanding lurus atau sebanding dengan kalor jenis zat (c) jika kenaikan suhu (ΔT) dan massa zat (m) tetap.

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Hubungan antara kapasitas kalor dan kalor jenis

$$\begin{aligned} Q &= Q \\ C \cdot \Delta T &= m \cdot c \cdot \Delta T \end{aligned}$$

Sehingga,

$$C = m \cdot c$$

$$c = \frac{C}{m}$$

Tabel 12.2. Kalor jenis (c) beberapa zat, 1atm dan suhu ruang

Jenis Benda	Kalor Jenis	
	J/Kg C ⁰	Kkal/Kg C ⁰
Air	4180	1.00
Alkohol (ethyl)	2400	0.57
Es	2100	0.50
Kayu	1700	0.40
Alumunium	900	0.22
Marmer	860	0.20
Kaca	840	0.20
Besi/ baja	450	0.11
Tembaga	390	0.093
Perak	230	0.056
Raksa	140	0.034
Timah hitam	130	0.031
Emas	126	0.034

Sumber :(Halliday, 1985)

C. Kalor Laten

Kalor dapat menyebabkan perubahan wujud pada benda atau zat. Telah diketahui bahwa wujud zat ada 3 jenis, yaitu padat cair dan gas. Kalor yang dibutuhkan untuk mengubah wujud zat tersebut ke wujud zat lain pada suhu dan tekanan yang tetap disebut **Kalor Laten**. Secara matematis dapat dituliskan :(Halliday, 1985)

$$Q = m \cdot L$$

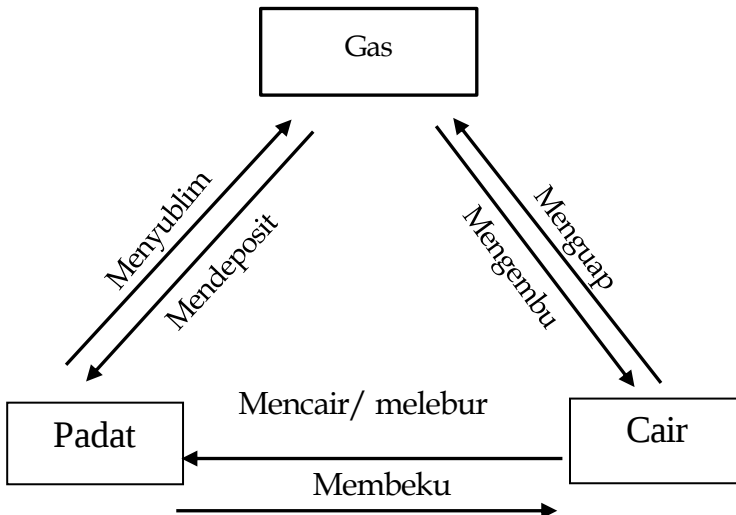
Yaitu :

Q = Kalor (kalori atau Joule)

m = massa (gram atau kg)

L = kalor laten (kal/g atau J/kg)

Pada perubahan wujud suatu zat diperlukan kalor laten yang digunakan untuk mengubah wujud zat tanpa menaikkan suhu tiap satuan massa. Kalor laten sendiri terdiri dari kalor lebur (kalor beku) dan kalor didih (kalor uap). Kalor lebur merupakan jumlah kalor yang dibutuhkan oleh 1kg zat untuk mengubah dari wujud padat menjadi cair pada titik leburnya. Kalor didih adalah banyaknya kalor yang diserap untuk mengubah 1kg zat dari wujud cair menjadi uap pada titik didihnya. Untuk memudahkan memahami proses perubahan wujud zat dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 12.4. Diagram Proses Perubahan Wujud Zat
Sumber : (Supriyadi, 2021)

Pada proses membeku, mengembun dan mendeposit zat melepaskan kalor, artinya ada perpindahan kalor dari zat kepada lingkungannya saat terjadinya perubahan wujud. Sementara pada proses mencair (melebur), menguap dan menyublim, zat membutuhkan kalor, maksudnya ada perpindahan kalor dari lingkungan kepada zat dan kalor itu sendiri digunakan untuk merubah wujud dari padat menjadi cair, atau dari cair menjadi gas, atau dari padat menjadi gas.

Tabel 12.3. Nilai Kalor Laten Zat

Zat	Titik Lebur (°C)	Kalor Lebur (J/Kg)		Titik Didih (°C)	Kalor Penguapan	
		Kkal /Kg	J/kg		Kkal /kg	J/kg
Oksigen	-218.8	3,3	0,14 X	-183	51	2.1 X10 ⁵
Nitrogen	-210.0	6.1	10 ⁵	-195.8	48	2.0 X10 ⁵
	-114	25	0.26X	78	204	8.5 X10 ⁵
Alkohol	-778	8.0	10 ⁵	-33.4	33	1.37 X10 ⁵
Amonia	0	79.7	1.04X	100	539	22.6 X10 ⁵
Air	327	5.9	10 ⁵	1750	208	8.7X10 ⁵
Timah	961	21	0.33X	2193	558	23 X10 ⁵
Perak	1808	69.1	10 ⁵	3023	1520	63.4 X10 ⁵
Besi	3410	44	3.33X	5900	1150	48X10 ⁵
Tungsten			10 ⁵			
			0.25X			
			10 ⁵			
			0.88X			
			10 ⁵			
			2.89X			
			10 ⁵			
			1.84X			
			10 ⁵			

Nilai-nilai numrik dalam kkal/Kg = kal/g

Sumber : (Giancoli, 1998)

Peralatan yang memanfaatkan sifat kalor diantaranya ;
kulkas, otoklap, alat penyulingan air (distilasi).

Contoh soal :

Tentukan banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk melebur 2,5 kg tembaga, dimana mula-mula suhu adalah 20 °C. Jika titik lebur tembaga adalah 1100 °C, kalor jenis tembaga $3,85 \times 10^2 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$ serta kalor lebur tembaga pada 49 kkal/kg.

Penyelesaian :

Diketahui: $m = 2,5 \text{ kg}$

$$c = 3,85 \times 10^2 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 1100 \text{ } ^\circ\text{C (titik lebur)}$$

$$L = 49 \text{ kkal/kg} = 2,06 \times 10^5 \text{ J/kg}$$

Ditanya: $Q = ?$

Kalor ditambahkan pada tembaga yang digunakan untuk menaikkan suhu tembaga dan mengubah wujudnya.

- a. Kebutuhan kalor untuk menaikkan suhu dari 20°C hingga 1100 °C adalah:

$$\begin{aligned} Q_1 &= m \cdot c \cdot \Delta T = m \cdot c (T_2 - T_1) \\ &= (2,5\text{kg}) (3,85 \times 10^2 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}) (1100 - 20^\circ\text{C}) \\ &= 10,395 \times 10^5 \text{ J} \end{aligned}$$

- b. Banyaknya kalor yang diperlukan untuk melebur Tembaga pada titik leburnya adalah:

$$Q_2 = m \cdot L$$

$$\begin{aligned}
 &= (2,5 \text{ kg}) (2,06 \times 10^5 \text{ J/kg}) \\
 &= 5,15 \times 10^5 \text{ J}
 \end{aligned}$$

- c. Kalor yang diperlukan untuk meleburkan tembaga dari suhu 20°C hingga 1100°C adalah:

$$\begin{aligned}
 Q &= Q_1 + Q_2 \\
 &= (10,395 \times 10^5 \text{ J} + 5,15 \times 10^5 \text{ J}) \\
 &= (10,395 + 5,15) \times 10^5 \text{ J} \\
 &= 15,545 \times 10^5 \text{ J}
 \end{aligned}$$

Jadi, banyaknya kalor yang diperlukan adalah 1554,5 KJ

DAFTAR PUSTAKA

- Giancoli. 1998. *Fisika* (H. Wibi, Ed.; 5th ed., Vol. 1). Erlangga.
- Halliday, D. R. R. 1985. *Fisika* (R. Resnick, Ed.; 3rd ed., Vol. 1). Erlangga.
- Herliati, MT. , P. H. 2021. *Bunga Rampai Proses Industri Kimia* (1st ed., Vol. 1).
- Sofianto, E. 2020. Upaya Meremediasi Konsp Fisika Pada Materi Suhu Dan Kalor. *Southeast Asian Journal of Islamic Education* , 2(2), 110–124.
- Supriyadi, U. 2021. E-Module Pada Materi Suhu, Pemuaian, dan Kalor: Valid dan Praktis. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(2), 204–213.
- Taqwa, A. 2019. Pemahaman Konsep Suhu Dan Kalor Mahasiswa Calon Guru. *Jurnal Pendidikan Fisika (JPF)*, VII(1), 56–67.

BIODATA PENULIS



Fathan Mubina Dewadi

Dosen Universitas Buana Perjuangan Karawang

Fathan Mubina Dewadi merupakan pria yang berusia 30 tahun sudah tertarik dengan bidang Pendidikan tinggi sejak tahun 2015. Sejak lulus jurusan Teknik mesin program pascasarjana Universitas Pancasila. Kini penulis sedang bekerja sebagai dosen tetap program studi Teknik mesin di Universitas Buana Perjuangan Karawang. Kini kesibukan penulis ialah lebih menghabiskan waktu untuk mengajar dan menulis. Karya-karya yang telah dibuat dimuat di media *online*, jurnal nasional, jurnal internasional dan jurnal nasional bereputasi. Sudah lebih dari 50 karya yang telah dibuat dan sedang proses untuk pembuatan buku dan bab buku.

BIODATA PENULIS



Prof. Dr. Ir. Erniati. ST., MT.

Dosen Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Fajar

Penulis lahir di Watampone, 06 Oktober 1977. Penulis menikah dengan Dr. Nur Zaman, SP., M.Si pada tahun 2006 dan Penulis telah memiliki 1 putra 2 putri yaitu Fitrah Alif Firmasnyah, Fadhilah Dwi Fatimah dan Faiqah Fauziah. Penulis anak ke dua dari pasangan Drs. H. Bachtiar Rasyid (Alm) dan Hj. Hatijah Nur. Penulis Guru Besar Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar. Penulis menyelesaikan studinya S1–Sarjana Teknik (S.T) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia (UMI) tahun 2000, S2 –Magister Teknik (M.T) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM) tahun 2003, S3–Program Doktor (Dr) Program studi ilmu Teknik sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (UNHAS) tahun 2015. Mengikuti Program Profesi Insinyur (PPI) di UNHAS tahun 2019 dan telah peroleh gelar Insinyur (Ir) Tahun 2020. Bergabung jadi Dosen Tetap pada Universitas Fajar sejak tahun 2008 - sekarang. Penulis telah meraih Guru Besar menjelang umur 45 tahun tepatnya pada tanggal 1 Otober 2022 di bidang Teknik Struktur dan Material. Penulis mengampuh mata kuliah Teknologi Bahan, Statika, Topik

Khusus Struktur, Teknologi Bahan lanjut. Penulis sangat tertarik tentang penelitian tentang Self Compacting Concrete (SCC), Beton Geopolimer dengan Bahan Dasar Limbah Fly Ash, Beton Ringan dengan Agregat Buatan dari Limbah Plastik. Penulis telah menulis beberapa jurnal nasional dan internasional dan buku. Penulis sebagai Ketua Lembaga Pengembangan dan Penjaminan Mutu Internal LP2MI (2015-2019), Dekan FT (2019-sekarang), asesor BKD dan Verifikator Sinta serta Ketua Tim PAK pada Universitas Fajar. SINTA ID: 5975589; Scopus ID:56568222900, email: erni@unifa.ac.id. HP/wa: 081354937610.

BIODATA PENULIS



Dr. Ir. Tukimun., ST., MT., IPM., Asean Eng

Dosen tetap Yayasan Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda pada
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil

Dr. Ir. Tukimun., ST., MT., IPM., Asean Eng Lahir di Magetan, pada tanggal 05 April 1977. Menyelesaikan S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda tahun 2002, S2 di Program Magister di Jurusan Teknik Sipil Program Pasca Sarjana Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya tahun 2004 dan Program Doktor S3 Jurusan Teknik Sipil PPS UNHAS tahun 2021 dan Program Profesi Insinyur (PPI) di UMI-Makassar tahun 2018. Program Profesi Insinyur Madya (IPM) tahun 2019 dan Program *Asean Engineering Registration* (Asean Eng) tahun 2019. Aktivitas saat ini adalah sebagai salah satu dosen tetap Yayasan Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil juga Jabatan saat ini sebagai Direktur Utama PT. Arcsindo Karya Utama *Engineering Consultant*. Penulis aktif sebagai pengurus organisasi profesi seperti pada DPP INKINDO KALTIM, DPP INTAKINDO KALTIM, Pengurus Persatuan Insinyur Indonesia (PII) cabang Kalimantan Timur. Selain itu juga aktif dalam organisasi seperti HPJI Kaltim, Komunitas Dosen Indonesia dan aktivitas lainnya terkait Asesment Keahlian BNSP/LSP HATSINDO serta Instruktur

di Bidang Teknik Sipil oleh Intansi Pemerintah baik Lokal maupun Nasional.

BIODATA PENULIS



Ir. Risnawaty Alyah, M.T

Dosen Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik Elektro Universitas Sawerigading Makassar

Penulis lahir di Ujung Pandang, pada 12 Februari 1971 sebagai anak ke-4 dari 4 bersaudara dari pasangan Baginda Ali dan Hamisah. Saat ini penulis bertempat tinggal jl. Dr. Ratulangi Gang 1 No. 33, Kel. Parang, Kec. Mamajang, Makassar. Pendidikan Sarjana ditempuh di Progran Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia lulus pada tahun 1996. Dan pada Tahun 2006, penulis diterima di Program Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Hasanuddin dan menamatkan pada tahun 2009. Penulis biasa disapa dengan nama Risna. Saat ini adalah sebagai dosen tetap program studi Teknik Elektro Universitas Sawerigading Makassar. Mengampu mata kuliah Elektronika Telekomunikasi, Kinerja Telekomunikasi, Sistem Komunikasi Serat Optik.

BIODATA PENULIS



**Dodi Satriawan, S.T., M.Eng., CPHCEP., CPMP., CPRW., CBOA.,
CNPHRP., CLMA., NNLP**

**Dosen Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan,
Politeknik Negeri Cilacap**

Penulis lahir di Bengkulu tanggal 07 Mei 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi D-IV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sriwijaya dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Kimia, Magister Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang bioproses, bioenergi, dan pengolahan air limbah.

BIODATA PENULIS



Fera Annisa, S.Pd., M.Sc.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Penulis lahir di Aceh Besar tanggal 5 Januari 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Menyelesaikan pendidikan S1 pada FKIP Pendidikan Fisika di Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh dan melanjutkan S2 di bidang Energy Technology pada Faculty Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia.

BIODATA PENULIS



Ir. Johni S. Pasaribu, MT.

Dosen Program Studi Sistem Informasi
Fakultas IT Politeknik Piksi Ganesha

Penulis lahir di Medan tanggal 1 Juni 1966 dari pasangan HA Pasaribu (alm) dan Taruli Tambunan (alm). Penulis adalah anak keempat dari enam bersaudara. Pendidikan yang ditempuh yaitu SD Methodist Medan lulus tahun 1979, SMPN 88 Jakarta lulus tahun 1982 dan SMAN 3 Jakarta lulus tahun 1985. Kemudian melanjutkan studi di ITB jurusan Teknik Fisika spesialisasi Instrumentasi dan Kontrol. Penulis melakukan penelitian untuk tugas akhir di PT IPTN dengan judul Perancangan Sistem Kendali Fly By Wire Gerak Longitudinal Pada Engineering Flight Simulator Pesawat N250-100 dan menyelesaikan gelar sarjana teknik Insinyur (Ir) tahun 1992.

Kemudian penulis bekerja di PT. IPTN (sekarang PT Dirgantara Indonesia) di Departemen Iron Bird kemudian berpindah di Departemen Engineering Flight Simulator (EFS). Penulis terlibat dalam Operation and Maintenance untuk EFS sehingga simulator N250-100 ini dapat digunakan saat dilakukan pengujian-pengujian pesawat melalui simulator sebelum pengujian langsung pesawat di udara. Tahun 1998 penulis melanjutkan studi

S2 di ITB pada jurusan Teknik Informatika untuk spesialisasi Software Engineering, dimana ilmu yang diperoleh dapat diaplikasikan dalam pekerjaan di lapangan. Tahun 2001 penulis menyelesaikan pendidikan S2 dengan gelar MT mengambil penelitian yang berjudul Pengembangan Perangkat Lunak Simulasi Sistem Perasa Kendali Elevator Pesawat N250-100 dimana penelitian ini juga dilakukan di Engineering Flight Simulator (EFS) N250-100. Tahun 2004 penulis mulai aktif mengajar di Perguruan Tinggi di Bandung diantaranya pernah mengajar di Unikom, ITHB, STT Telkom (kini TelU). Kini penulis penuh mengajar dan menjadi dosen tetap di Politeknik Piksi Ganesha. Bidang keahlian mengajar dan penelitian penulis adalah Artificial Intelligence (AI), Decision Support System (DSS), Software Engineering dan Software Testing. Penulis juga aktif melakukan bimbingan mahasiswa S1 dan publikasi di jurnal-jurnal nasional maupun internasional.

BIODATA PENULIS



Erwin Randjawali, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Matematika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Kristen Wira Wacana Sumba

Penulis aktif melaksanakan tridharma sebagai dosen tetap di Program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Beberapa matakuliah yang diampu oleh penulis adalah Fisika Dasar, Refrigerasi Perikanan, Pemrograman Komputer, Kalkulus, dan lain-lain. Penulis juga aktif melaksanakan kegiatan penelitian dengan bidang fokus pada energi terbarukan, pemodelan fisika, dan pendidikan. Selain itu, penulis juga aktif melaksanakan pengabdian kepada masyarakat di bidang pendidikan MIPA bagi sekolah-sekolah. Penulis juga hingga saat ini aktif menulis buku, dan memiliki beberapa Book Chapter yang telah diterbitkan.

BIODATA PENULIS



Zahriah, S.Pd.I, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh

Penulis lahir di Bener Meriah, Provinsi Aceh tanggal 13 April 1990. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry Banda Aceh. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Pendidikan Fisika IAIN Ar-Raniry Banda Aceh dan melanjutkan S2 pada Program Magister Pendidikan IPA (Konsentrasi Pendidikan Fisika) Universitas Syiah Kuala. Penulis memiliki keahlian di bidang Pendidikan Fisika dan saat ini aktif mengajar, menulis dan meneliti bidang tersebut sesuai dengan tuntutan tridharma perguruan tinggi.

BIODATA PENULIS



Juniar Afrida, M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Tarbiyah dan Keguruan Universitas Islam Negeri Ar-
Raniry

Penulis lahir di Jruek Balee tanggal 20 Juni 1989. Penulis adalah Seorang pengajar atau dosen pada program studi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan serta program studi Teknik lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh. Lahir di Jruek Balee kecamatan Indrapuri. Pada tahun 2011 menyelesaikan Pendidikan Sarjana Pendidikan Fisika pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP) Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Kemudian pada tahun 2015 menyelesaikan Pendidikan Magister Pendidikan IPA Konsentrasi Pendidikan Fisika pada program pascasarjana Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Setelah selesai menempuh program magister pada tahun 2016 diangkat menjadi dosen tetap di prodi Pendidikan Fisika Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Ar-Raniry. Pada tahun 2019 juga pernah menjadi pembimbing dalam kegiatan Olimpiade Sains dan Karya Inovasi Perguruan Tinggi Keagamaan Islam (OSKI PTKI) dan mahasiswa

bimbingan memperoleh medali emas pada Olimpiade Sains tersebut.

BIODATA PENULIS



Dra. Masniah, M.Kes., Apt

Staf Dosen Jurusan Farmasi

Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Medan

Penulis lahir di Pancurbatu tanggal 28 April 1962. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Diploma III Jurusan Farmasi Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Medan. Menyelesaikan pendidikan S1 Bidang Ilmu Farmasi di FMIPA Universitas Sumatera Utara, S2 Bidang Ilmu Promosi Kesehatan Universitas Sumatera Utara, dan Profesi Apoteker di Universitas Sumatera Utara. Saat ini sedang mengampu Mata Kuliah Fisika Farmasi, Mikrobiologi Farmasi, Farmasi Rumah Sakit, dan Ilmu Perilaku dan Etika Profesi.

BIODATA PENULIS



Neny Rochyani

Dosen Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknik

Penulis lahir di Palembang tanggal 09 Juni 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik kimia Fakultas Teknik, Universitas PGRI Palembang. Menyelesaikan pendidikan S1, S2 pada Jurusan Teknik kimia dan melanjutkan S3 pada program studi ilmu lingkungan dengan bidang kajian utama : Agro Industri Energi. Penulis juga telah menempuh pendidikan profesi keinsinyuran (Ir.) pada Unika Atmajaya Jakarta dan memegang registrasi sebagai Insinyur Profesional Madya (IPM). Pada bidang penulisan karya ilmiah, sampai dengan saat ini telah menghasilkan karya ilmiah utamanya penelitian yang berhubungan dengan materi ilmu kimia dan lingkungan dengan kajian utama berfokus terhadap restorasi dan pendalaman karakteristik lingkungan sebagai objek penelitian yang menjadi kekuatan pengelolaan lingkungan. Dalam ranah penulisan buku, sampai dengan saat ini telah menghasilkan buku materi ajar dan modul praktikum yang dipakai dan diaplikasikan pada lingkungan perguruan tinggi.

