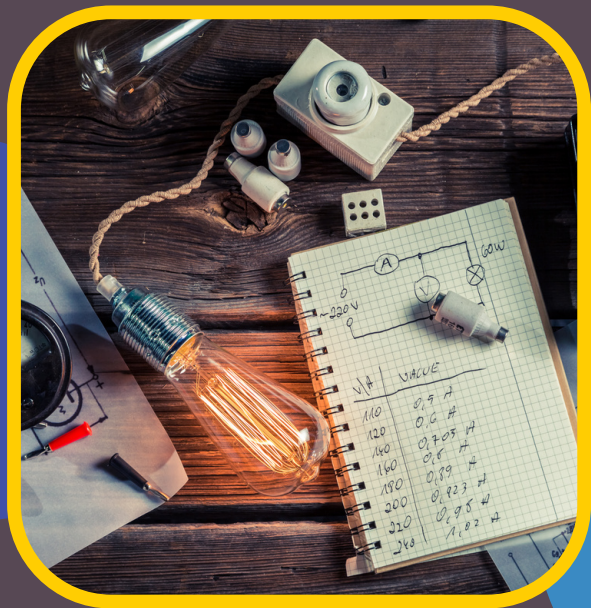
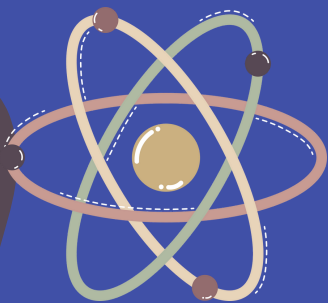


FISIKA



Arif Rahman Hakim, Zahriah, Siti Shofiah,
Muhammad Nasir, La Ode Asmin, Fera Annisa,
Feby Permata Sari, Langgeng Asmoro,
Andi Rosman N, Unan Yusmaniar Oktiawati, Astuty



FISIKA

**Arif Rahman Hakim
Zahriah
Siti Shofiah
Muhammad Nasir
La Ode Asmin
Fera Annisa
Feby Permata Sari
Langgeng Asmoro
Andi Rosman N
Unan Yusmaniar Oktiawati
Astuty**



PT GLOBAL EKSEKUTIF TEKNOLOGI

FISIKA

Penulis :

Arif Rahman Hakim
Zahriah
Siti Shofiah
Muhammad Nasir
La Ode Asmin
Fera Annisa
Feby Permata Sari
Langgeng Asmoro
Andi Rosman N
Unan Yusmaniar Oktiawati
Astuty

ISBN : 978-623-198-328-2

Editor : Dr. Neila Sulung, S.Pd., Ns., M.Kes.

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 Tangah
Padang Sumatera Barat

Website : www.globaleksekutifteknologi.co.id

Email : globaleksekutifteknologi@gmail.com

Cetakan pertama, Mei 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 ini.

Buku Ini Membahas Besaran dan vector, Kinematika partikel, Dinamika partikel, Kerja dan energy, Dinamika rotasi, Getaran, Panas dan Hukum Termodinamika, Arus listrik, Medan magnet, Gaya gerak listrik induksi, Arus bolak balik.

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, Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 BESARAN DAN VEKTOR.....	1
1.1 Besaran Pokok.....	1
1.2 Besaran Turunan	3
1.3 Konversi Satuan.....	4
1.4 Notasi Ilmiah.....	5
1.5 Dimensi	6
1.6 Vektor	8
1.7 Vektor Satuan.....	12
1.8 Penjumlahan Vektor	13
1.9 Pengurangan Vektor	16
1.10 Perkalian Vektor	18
DAFTAR PUSTAKA.....	22
BAB 2 KINEMATIKA PARTIKEL.....	23
2.1 Pendahuluan.....	23
2.2 Gerak Satu Dimensi	23
2.2.1 Posisi.....	23
2.2.2 Jarak dan Perpindahan.....	24
2.2.3 Kecepatan Rata-rata dan Kelajuan Rata-rata.....	26
2.2.4 Kecepatan Sesaat.....	27
2.2.5 Percepatan rata-rata dan Percepatan Sesaat	27
2.2.6 Gerak dengan Kecepatan Konstan	28
2.2.7 Gerak dengan Percepatan Konstan.....	29
2.2.8 Gerak Benda Jatuh	31
2.3 Gerak Dua Dimensi	33
2.3.1 Posisi dan Perpindahan	33
2.3.2 Kecepatan Rata-rata dan Kecepatan Sesaat.....	34
2.3.3 Percepatan Rata-rata dan Percepatan Sesaat.....	34

2.3.4 Gerak Peluru.....	36
2.3.5 Gerak Melingkar.....	41
DAFTAR PUSTAKA.....	46
BAB 3 DINAMIKA PARTIKEL.....	47
3.1 Pendahuluan.....	47
3.2 Hukum Newton.....	47
3.2.1 Hukum Pertama Newton.....	48
3.2.2 Hukum Kedua Newton.....	49
3.2.3 Hukum Ketiga Newton.....	50
3.3 Gaya Gesekan Kinetik dan Statik.....	50
3.4 Interaksi Partikel.....	53
3.5 Aplikasi	54
DAFTAR PUSTAKA.....	58
BAB 4 KERJA DAN ENERGI.....	59
4.1 Pendahuluan.....	59
4.2 Kerja	59
4.2.1 Kerja oleh Gaya yang Konstan	60
4.2.2 Kerja oleh Gaya yang Tidak Konstan	61
4.2.3 Kerja oleh Gaya Gesekan.....	62
4.2.4 Efek Kerja terhadap Kelajuan Benda	62
4.3 Energi	63
4.3.1 Energi Kinetik.....	63
4.3.2 Energi Potensial	65
4.3.3 Hukum Kekekalan Energi Mekanik.....	67
4.4 Contoh soal berkaitan dengan Kerja dan Energi.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	71
BAB 5 DINAMIKA ROTASI.....	73
5.1 Pengantar: Kinematika Rotasi.....	73
5.1.1 Pergeseran Angular	73
5.1.2 Kecepatan Angular	73
5.1.3 Percepatan Angular	74
5.1.4 Hubungan antara Besaran Anggular dan Linier.....	74
5.1.5 Energi Kinetik Rotasi.....	75

5.2 Torka dan Momentum Angular	76
5.2.1 Torka	76
5.2.2 Momentum Angular.....	78
5.2.3 Hubungan antara Torka dan Momentum Angular ..	78
5.3 Sistem Partikel.....	79
5.4 Konservasi Momentum Angular	80
5.5 Rotasi di Sekitar Sumbu tetap	81
5.6 Gerak Menggelinding.....	82
5.7 Gerak Menggelinding Tanpa Tergelincir.....	83
5.8 Penyelesaian Soal.....	85
DAFTAR PUSTAKA.....	93
BAB 6 GETARAN	95
6.1 Pendahuluan.....	95
6.2 Pengertian Getaran	96
6.2.1 Getaran Bebas	96
6.2.2 Getaran Paksa.....	97
6.3 Parameter pada Getaran.....	97
6.3.1 Amplitudo Getaran (A).....	97
6.3.2 Periode (T)	97
6.3.3 Frekuensi (f)	98
6.4 Konsep Dasar Getaran Mekanis	98
6.4.1 Bandul.....	100
6.4.2 Bandul Mekanis.....	101
6.5 Getaran yang Dipaksakan: Resonansi.....	102
6.6 Energi Getaran.....	103
6.7 Klasifikasi Getaran.....	105
6.8 Aplikasi pada getaran pegas	106
DAFTAR PUSTAKA.....	111
BAB 7 PANAS DAN HUKUM TERMODINAMIKA	113
7.1 Panas dan Termodinamika	113
7.2 Hukum Termodinamika	114
7.3 Termodinamika dalam Kehidupan	117
7.4 Dampak Penerapan Termodinamika dalam Kehidupan	119

DAFTAR PUSTAKA.....	122
BAB 8 ARUS LISTRIKS.....	123
8.1 Pendahuluan.....	123
8.2 Materi	124
8.2.1 Arus listrik.....	124
8.2.2 Arus Listrik Pada Percabangan	125
8.2.3 Sumber potensial listrik	128
8.2.4 Hambatan listrik	129
8.2.5 Hambatan komersial.....	130
8.2.6 Rangkaian hambatan listrik.....	132
8.2.7 Hambatan seri.....	132
8.2.8 Hambatan Paralel.....	135
8.2.9 Loop	138
8.2.10 Rangkaian lebih dari satu loop	138
8.2.11 Pengukuran arus listrik	140
8.2.12 Alat ukur beda potensial dua titik.....	142
8.2.13 Mengukur Hambatan Listrik	143
DAFTAR PUSTAKA.....	145
BAB 9 MEDAN MAGNET	147
9.1 Pengenalan Konsep Medan Magnet.....	147
9.1.1 Medan Magnetik Sebagai Derivatif Dari Arus Listrik	148
9.1.2 Hukum Ampere.....	149
9.1.3 Hukum Biot-Savart.....	150
9.2 Sifat Magnetik Bahan	158
9.2.1 Diamagnetik	158
9.2.2 Paramagnetik	160
9.2.3 Ferromagnetik	161
DAFTAR PUSTAKA.....	163
BAB 10 GAYA GERAK LISTRIK INDUKSI.....	165
10.1 Pendahuluan.....	165
10.2 Pengertian GGL Induksi	166
10.3 Hukum Faraday-Maxwell.....	167

10.4 Faktor yang mempengaruhi GGL Induksi.....	170
10.5 Contoh Gaya Gerak Listrik induksi	170
10.6 Contoh soal terkait GGL induksi	171
10.7 Penutup	173
DAFTAR PUSTAKA.....	174
BAB 11 ARUS BOLAK BALIK	175
11.1 Pendahuluan.....	175
11.2 Generator ac.....	175
11.2.1 Frekuensi dan Periode	177
11.2.2 Hubungan antar fasa	178
11.3 Persamaan pada gelombang sinusoidal	184
11.3.1 Nilai Arus Bolak-Balik.....	184
11.3.2 Beban resistif yang terhubung dengan sumber arus bolak balik.....	186
11.3.3 Beban kapasitif yang terhubung dengan sumber arus bolak balik.....	187
11.3.4 Beban induktif yang terhubung dengan sumber arus bolak balik.....	188
DAFTAR PUSTAKA.....	190
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Vektor A_1 dan vektor A_2	9
Gambar 1.2. Perbedaan nilai dan arah vektor	9
Gambar 1.3. Vektor dasar dan vektor-vektor komponennya.....	10
Gambar 1.4. Vektor satuan.....	12
Gambar 1.5. Penjumlahan vektor menggunakan metode jajargenjang.....	13
Gambar 1.6. Penjumlahan vektor dengan metode poligon	15
Gambar 1.7. Penjumlahan tiga vector.....	15
Gambar 1.8. (a) Vektor A, B, C. (b) Negatif dari vector A,B,C.....	17
Gambar 1.9. Pengurangan vector.....	17
Gambar 1.10. Interpretasi geometris perkalian titik.....	19
Gambar 1.11. Interpretasi geometris dari $ A \times B $	20
Gambar 1.12. (a) Perkalian silang $\hat{i} \times \hat{j}$ (b) Aturan tangan kanan	21
Gambar 2.1. Posisi sebuah mobil pada sistem koordinat satu dimensi.....	24
Gambar 2.2. Mobil berangkat dari kota Banda Aceh menuju kota Medan menempuh jarak 601 km, dengan perpindahan sepanjang garis penghubung berwarna merah.	25
Gambar 2.3. (a) Grafik posisi x terhadap waktu t, (b) kecepatan v terhadap waktu t, (c) percepatan a terhadap waktu t.....	30
Gambar 2.4. Posisi partikel pada koordinat x dan y	33
Gambar 2.5. Lintasan gerak peluru berbentuk parabola.....	36
Gambar 2.6. Lintasan partikel pada gerak melingkar	41
Gambar 2.7. Gerak partikel pada lintasan melingkar dipengaruhi oleh kecepatan linear.....	42

Gambar 3.1. Sebuah benda diberikan dorongan agar dapat berpindah	47
Gambar 3.2. Sebuah benda diikatkan pada 3 tali	49
Gambar 3.3. Gerak benda dengan pemberian gaya gesek statis atau gesek kinetik	51
Gambar 3.4. Hubungan besar gaya terhadap nilai gesekannya pada pemberian koefisien gaya statis dan kinetik.....	52
Gambar 4.1. Aktivitas mengayuh sepeda.....	60
Gambar 4.2. Kerja oleh gaya yang tidak searah gerak Benda	61
Gambar 4.3. Energi kinetik pada benda bergerak.....	64
Gambar 4.4. Energi potensial gravitasi pada ketinggian h	65
Gambar 4.5. Pegas yang ditekan dan ditarik menghasilkan energi.....	66
Gambar 5.1. (a) <i>Benda tegar berotasi di sekitar titik O. Sebuah gaya F diberikan pada titik P. (b) Torka τ dapat dipandang sebagai hasil kali jarak r dan komponen tangensial gaya, $F_{\perp}$. (c) Torka juga dapat dipandang sebagai hasil kali gaya F dan jarak $r_{\perp}$ (sering disebut lengan momen, atau lengan tuas).</i>	77
Gambar 5.2. <i>Ilustrasi hubungan antaras, R dan θ untuk benda yang menggelinding.</i>	83
Gambar 6.1. Bandul	100
Gambar 6.2. Bandul Mekanis	102
Gambar 6.3. Sistem pegas dalam kesetimbangan statis.....	106
Gambar 6.4. Model simple dari sistem pegas dengan redaman	108
Gambar 8.1. ilustrasi aliran muatan listrik pada sebuah penampang A	124

Gambar 8.2. simbol resistor listrik.....	125
Gambar 8.3. Arus masuk dan keluar pada titik percabangan	127
Gambar 8.4. Simbol kutub GGL menyesuaikan posisi kutub pin	129
Gambar 8.5. Faktor pada kawat yang menentukan hambatan listrik yang dimiliki kawat tersebut.....	130
Gambar 8.6. Kode warna pada hambatan.....	131
Gambar 8.7. (a) Hambatan yang disusun secara seri, (b) hambatan yang disusun secara parallel, dan (c) hambatan yang disusun campur seri dan parallel.....	133
Gambar 8.8. Rangkaian pembagi tegangan	134
Gambar 8.9. Hambatan total pengganti untuk beberapa hambatan yang dirangkai secara parallel.....	136
Gambar 8.10. Contoh loop sederhana yang rangkai dengan dua sumber tegangan dan dua hambatan.....	138
Gambar 8.11. Contoh rangkaian dua loop.....	139
Gambar 8.12. Pemilihan Arah Arus Pada Loop.....	139
Gambar 8.13. Amperemeter analog dimana Arus yang diukur ditunjuk oleh jarum.....	141
Gambar 8.14. Susunan Pengukuran Arus Listrik.....	141
Gambar 8.15. pengukuran beda potensial dengan voltmeter	143
Gambar 8.16. Mengukur hambatan listrik.....	143
Gambar 8.17. Pengukuran Nilai Hambatan	144
Gambar 9.1. Medan Magnet.....	147
Gambar 9.2. Medan Magnet oleh kawat berarus	151
Gambar 9.3. Medan Magnet oleh kawat lurus berarus.....	152
Gambar 9.4. Medan Magnet oleh kawat melingkar berarus	155

Gambar 9.5. Medan Magnet pada Solenoida	157
Gambar 9.6. Medan Magnet pada Toroida.....	158
Gambar 9.7. Perilaku medan magnet pada bahan diamagnetik.....	159
Gambar 9.8. Perilaku medan magnet pada bahan paramagnetik	160
Gambar 9.9. Perilaku medan magnet pada bahan ferromagnetik	161
Gambar 10.1. Ilustrasi Medan magnet	165
Gambar 10.2. Ilustrasi Induksi elektromagnetik	167
Gambar 10.2. Ilustrasi fluks magnetic.....	168
Gambar 11.1. Rotasi generator membentuk gelombang sinusoidal.....	176
Gambar 11.2. Perbandingan gelombang berdasarkan frekuensi	178
Gambar 11.3. Gelombang B mendahului gelombang A sebesar 90°	179
Gambar 11.4. Diagram Fasor	180
Gambar 11.5. Sudut fasa <i>leading</i> dan <i>lagging</i>	181
Gambar 11.6. Dua gelombang pada fase yang sama	182
Gambar 11.7. Dua gelombang pada fase yang berbeda	182
Gambar 11.8. Gelombang <i>A</i> dan <i>B</i> dengan sudut fasa.....	183
Gambar 11.9. Nilai <i>peak- to – peak</i> pada gelombang	185
Gambar 11.10. Sebuah resistor terhubung dengan sumber AC.....	186
Gambar 11.11. Sebuah kapasitor terhubung dengan sumber AC.....	188
Gambar 11.12. Sebuah induktor terhubung dengan sumber AC.....	189

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Besaran Pokok dalam Sistem Internasional (SI)	3
Tabel 1.2. Contoh-contoh Besaran Turunan	4
Tabel 1.3. Konversi besaran panjang, massa dan waktu	5
Tabel 1.4. Awalan dan simbol bilangan 10 berpangkat.....	6
Tabel 1.5. Dimensi dari besaran pokok.....	7
Tabel 1.6. Dimensi Besaran Turunan	7
Tabel 3.1. Nilai koefisien gesek bahan	51

BAB 1

BESARAN DAN VEKTOR

Oleh Arif Rahman Hakim

Besaran dan satuan merupakan materi dasar yang harus dipelajari mahasiswa agar dapat memahami fisika secara menyeluruh. Konsep dan hukum fisika yang kita kenal sekarang itu terbentuk dari besaran fisika yang memiliki satuan tertentu. Dalam fisika, besaran-besaran itu banyak, sehingga dibutuhkan banyak satuan. Ini menjadi sulit ketika mendefinisikan sistem satuannya. Namun, karena banyak dari besaran pokok ternyata terdiri dari besaran tertentu yang serupa, satuan sering dinyatakan dalam bentuk besaran pokok tersebut. Besaran yang diturunkan dari besaran pokok disebut besaran turunan. Sedangkan besaran yang melahirkan besaran turunan disebut besaran pokok.

1.1 Besaran Pokok

Kita sudah tahu bahwa dalam fisika kita memerlukan satuan baku untuk menyatakan suatu nilai yang besar agar semua orang dapat memahaminya. Jadi kita harus menggunakan satuan internasional yang definisinya telah disepakati dengan Komite Ilmiah Internasional. Untuk menyatakan satuan baku fisika, sistem satuan dapat dinyatakan dengan dua cara, yaitu sebagai berikut.

- a) Satuan mks (meter, kilogram dan sekon) juga dikenal sebagai sistem metrik.
- b) Satuan CGS (sentimeter, gram dan sekon) juga dikenal sebagai sistem Gaussian.

Satuan mks lebih sering digunakan dalam fisika sedangkan satuan cgs lebih sering digunakan dalam kimia, meskipun ini tidak

mutlak. Sistem mks menggunakan meter untuk panjang, kilogram untuk massa, dan sekon untuk waktu, sedangkan sistem cgs menggunakan sentimeter untuk panjang, gram untuk massa, dan sekon untuk waktu. Dalam hal ini, pemilihan sistem yang akan digunakan tidak wajib, tetapi sistem mks adalah sistem satuan yang paling sering digunakan.

Perhatikan bahwa meskipun sistem mks dan cgs sangat mirip, persamaan yang digunakan dalam studi elektromagnetik dalam elektrodinamika di kedua sistem sangat berbeda. Tentu saja ada konversi antara ketiga sistem satuan ini.

$$1 \text{ kg (mks)} = 1000\text{g (cgs)}$$

$$1 \text{ m (mks)} = 100 \text{ cm (cgs)}$$

Sistem MKS memasukkan satuan ampere (A) sebagai satuan dasar sejak tahun 1960 melalui Konferensi Internasional tentang Berat dan Ukuran, sehingga menghasilkan sistem mksa (meter-kilogram-sekon-ampere). Sistem satuan internasional, SI adalah versi modern dari sistem metrik menurut perjanjian internasional. Dalam sistem SI ini terdapat tujuh **besaran pokok** dan sejumlah besaran lain yang dapat diturunkan dari besaran pokok tersebut, sehingga disebut **besaran turunan**. Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditentukan sebelumnya dan tidak bergantung pada satuan pengukuran lainnya. Dalam sistem internasional, besaran pokok ada 7, yaitu:

Tabel 1.1. Besaran Pokok dalam Sistem Internasional (SI)

No.	Besaran	Simbol	satuan	Simbol 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.	Jumlah zat	N	Mol	mol
7.	Intensitas Cahaya	I	kandela	cd

1.2 Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran fisika yang terdiri dari dua besaran atau lebih yang diturunkan dari beberapa besaran pokok. Misalnya, kecepatan yang merupakan hasil bagi jarak dan waktu. Besaran turunan lainnya yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari termasuk percepatan, gaya, usaha, daya, momentum. Tabel di bawah ini merupakan besaran turunan dari beberapa besaran pokok.

Tabel 1.2. Contoh-contoh Besaran Turunan:

No	Besaran	Simbol	satuan	Simbol satuan
1.	Luas	A	Meter persegi	m^2
2.	Volume	V	Meter kubik	m^3
3.	Kecepatan	v	Meter persekon	m/s
4.	Percepatan	a	Meter persekon kuadrat	m/s^2
5.	Gaya	F	Newton	$N = kg.m/s^2$
6.	Usaha	W	Joule	$J = kg.m^2/s^2$
7.	Daya	P	watt	$W = kg.m^3/s^2$

1.3 Konversi Satuan

Penggunaan satuan untuk memecahkan masalah terkadang menjadi suatu masalah karena perbedaan satuan yang digunakan untuk menginterpretasikan suatu besaran. Untuk mengatasinya diperlukan langkah konversi untuk mengubah satu satuan ke satuan lainnya. Saat mengubah satuan, kita membutuhkan faktor konversi yang terdiri dari pembilang dan penyebut, masing-masing dengan satuan yang berbeda tetapi ukurannya sama, sehingga nilai faktor konversi ini adalah satu.

Tabel 1.3. Konversi besaran panjang, massa dan waktu

Panjang	massa	Waktu
1 in = $2,54 \times 10^{-2}$ m	1 slug = $0,1459 \times 10^2$ kg	1 jam = 60×60 s = 3600 s
1 m = 39,37 inchi = 3,281 kaki	1 amu = 166×10^{-25} kg	1 hari = 24 jam = 24×3600 s = 86400 s
1 yd = 0,9144 m	1 ton = 1×10^3 kg	1 tahun = $365 \times 24 \times 3600$ s = 3.16×10^7 s
1 mil = $1,609 \times 10^3$ m	1 g = 1×10^{-3} kg	
1 mil = 5280 kaki		
$1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ m		
1 cm = 10^{-2} m		

1.4 Notasi Ilmiah

Saat mengukur, kita sering menemukan angka yang sangat besar (misalnya jari-jari matahari = 696000000 m) atau angka yang sangat kecil (misalnya jari-jari atom hidrogen = 0,00000000053 m), sehingga kita menemui kesulitan. Untuk mengatasi masalah ini, disusunlah bilangan secara ilmiah yang disebut dengan notasi ilmiah. Dalam notasi ilmiah, suatu bilangan ditulis sebagai hasil kali bilangan a ($1 < a < 10$) dikalikan pangkat 10, yang disebut orde.

Contoh: $1.500.000 = 1,5 \times 10^6$ dan $0,000056 = 5,6 \times 10^{-5}$

Tabel 1.4. Awalan dan simbol bilangan 10 berpangkat

Bilangan	10 berpangkat	Awalan	Simbol
0,000 000 000 001	10^{-12}	Piko	p
0,000 000 001	10^{-9}	Nano	n
0,000 001	10^{-6}	Mikro	μ
0,001	10^{-3}	Mili	mm
0,01	10^{-2}	Senti	c
0,1	10^{-1}	Desi	d
1	10^0	-	-
10	10^1	Deka	da
100	10^2	Hekto	h
1000	10^3	Kilo	k
1000 000	10^6	Mega	M
1000 000 000	10^9	Giga	G
1000 000 000 000	10^{12}	tera	T

1.5 Dimensi

Ada banyak besaran dalam fisika yang sebenarnya terbentuk dari besaran lain, atau satu besaran yang sebenarnya sejenis dengan besaran lainnya. Misalnya, jarak yang ditempuh sebuah partikel ketika bergerak dalam garis lurus mengelilingi sebuah lingkaran adalah dua besaran yang sama, keduanya merupakan besaran panjang. Kelajuan adalah jarak yang ditempuh per satuan waktu, artinya besaran kelajuan sebenarnya adalah

panjang dibagi waktu. Dimensi menggambarkan bagaimana suatu besaran dibentuk atau terdiri dari besaran lain. Dimensi suatu besaran menggambarkan bagaimana ia tersusun dari kombinasi besaran pokok.

Tabel 1.5. Dimensi dari besaran pokok

No.	Besaran	Dimensi
1.	Panjang	L
2.	Massa	M
3.	Waktu	T
4.	Kuat arus listrik	I
5.	Suhu	θ
6.	Jumlah zat	N
7.	Intensitas Cahaya	J

Dimensi yang berbeda dari besaran turunan ditunjukkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 1.6. Dimensi Besaran Turunan

Besaran	Anaipsis	Dimensi
Luas	[panjang] x [panjang]	L^2
Volume	[panjang] x [panjang] x [panjang]	L^3
Kecepatan	[perpindahan]/[waktu]	$[L]/[T] = LT^{-1}$
Percepatan	[kecepatan]/[waktu]	$[LT^{-1}]/[T] = LT^{-2}$
Gaya	[massa] x [percepatan]	$[M] \times [LT^{-2}] = M LT^{-2}$
Usaha	[gaya] x [jarak]	$[M LT^{-2}] \times [L] = M L^2 T^{-2}$
Daya	[usaha]/[waktu]	$[M L^2 T^{-2}]/[T] = M L^2 T^{-3}$

Salah satu keuntungan dari konsep dimensi adalah untuk menganalisis apakah suatu persamaan itu benar atau salah. Dalam persamaan dimensi, besaran di sebelah kiri harus sama dengan dimensi di sebelah kanan. Analisis dimensi juga memungkinkan kita memeriksa kebenaran persamaan fisika, karena persamaan fisika harus memiliki dimensi yang sama. Sebagai contoh, persamaan gerak lurus beraturan memiliki persamaan yang menghubungkan percepatan dengan kecepatan dan waktu, yaitu $a = v/t$. Jika kita menganalisis dimensi, dimensi sisi kiri harus sesuai dengan dimensi sisi kanan. Dimensi percepatannya adalah $[L T^{-2}]$. Sedangkan kecepatan adalah $[L/T]$ dan waktu adalah $[T]$.

Maka $a = v/t$

$$[LT^{-2}] = [L/T]/[T] = [LT^{-1}][T^{-1}]$$

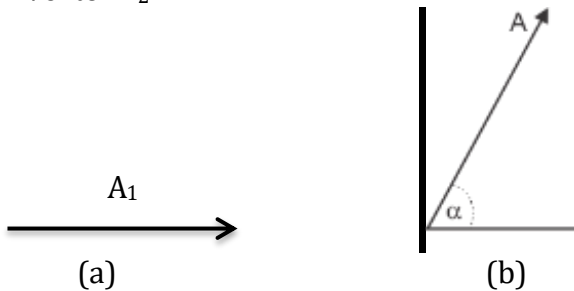
$[LT^{-2}] = [LT^{-2}]$ berarti persamaan tersebut benar karena dimensinya konsisten.

1.6 Vektor

Mempelajari fisika secara keseluruhan dan mendalam tidak dapat dilakukan tanpa memahami aturan pengoperasian vektor. Seperti yang telah dipelajari di SMA, sebagian besar besaran dinyatakan dalam nilai (besar) dan satuan saja, sedangkan sebagian besar besaran lainnya dinyatakan dalam bentuk nilai, satuan, dan juga arah. Besaran jenis pertama disebut **besaran skalar** sedangkan besaran jenis kedua disebut **besaran vektor**. Contoh besaran skalar adalah jarak, kelajuan, massa, suhu, waktu, usaha, dan energi. Sedangkan contoh besaran vektor adalah perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya, momentum, impuls, dan momen gaya (torsi).

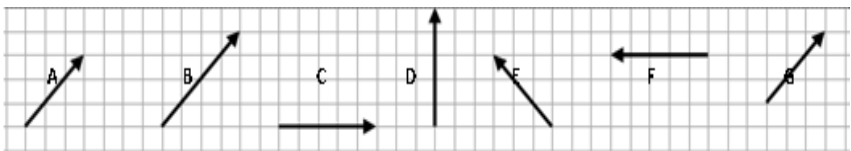
Besaran vektor ditunjukkan dengan huruf tebal dan tegak, atau huruf normal/biasa (tegak dan tidak tebal) tetapi dengan panah di atasnya. Dalam buku ini, besaran vektor direpresentasikan dengan huruf tegak, baik huruf besar maupun

huruf kecil, dicetak tebal. Secara grafis, vektor diwakili oleh panah. Arah panah mewakili arah vektor dan panjangnya mewakili besar nilai vektor. Gambar 1.1 menunjukkan contoh dua vektor, Vektor A_1 dan Vektor A_2 .



Gambar 1.1. Vektor A_1 dan vektor A_2

Sebagai vektor, vektor A_1 dan A_1 memiliki nilai dan arah. Nilai vektor A_1 dilambangkan dengan $|A_1|$ atau A_1 yang ditunjukkan oleh panjang anak panah. Arah vektor A_1 yaitu ke arah kanan dengan membentuk sudut 0° terhadap sumbu x positif. Sedangkan nilai vektor A_2 adalah A_2 atau $|A_2|$ dengan arah membentuk sudut α terhadap sumbu x positif. Dari gambar di atas terlihat bahwa nilai vektor A_2 lebih besar dari nilai vektor A_1 dan arah kedua vektor tersebut memiliki arah yang berbeda. sehingga vektor $A_1 \neq A_2$.

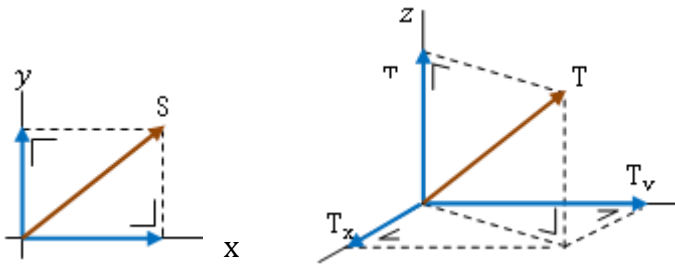


Gambar 1.2. Perbedaan nilai dan arah vektor

Dua vektor dikatakan sama jika memiliki nilai dan arah yang sama. Pada Gambar 1.2, nilai vektor A adalah $3\sqrt{2}$ satuan dan membentuk sudut 45° terhadap sumbu x positif. Vektor lain yang nilainya sama dengan vektor A adalah vektor E dan G . Vektor lain

yang searah dengan vektor **A** adalah vektor **B** dan **G**. Sehingga vektor lain yang sama dengan vektor **A** hanyalah vektor **G**, jadi dapat ditulis **A = G**.

Suatu vektor akan lebih mudah dianalisis jika direpresentasikan dalam sistem koordinat cartesian, seperti vektor **S** pada Gambar 1.3 (a) dan vektor **T** pada Gambar 1.3 (b). Vektor-vektor ini dapat dijelaskan pada setiap sumbu koordinat. Penguraian vektor sepanjang sumbu koordinat dilakukan dengan memproyeksikan vektor ke setiap sumbu. Vektor **S** dalam koordinat dua dimensi dapat dibagi menjadi dua vektor komponen, dengan satu vektor komponen pada setiap sumbu. Vektor komponennya adalah S_x , vektor komponen pada sumbu x , dan S_y , vektor komponen pada sumbu y . Sedangkan vektor **T** yang merupakan vektor tiga dimensi dapat dibagi menjadi tiga vektor komponen, yaitu T_x (vektor komponen **T** bersumbu x), T_y (vektor komponen **T** bersumbu y), dan T_z (vektor komponen **T** bersumbu z).



Gambar 1.3. Vektor dasar dan vektor-vektor komponennya

Pada Gambar 1.3 (a), vektor **S** dibagi menjadi dua vektor komponen, di mana jumlah kedua vektor komponen sama dengan vektor **S**,
 $S = S_x + S_y$
 dengan

S_x = vektor komponen S pada sumbu x

S_y = vektor komponen S pada sumbu y

Berdasarkan gambar 1.3, nilai vektor S yaitu S dapat dinyatakan dengan nilai vektor komponen S_x dan S_y menggunakan teorema pythagoras, yaitu:

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

Dengan:

S = nilai vektor S

S_x = nilai S_x

S_y = nilai S_y

Pada saat yang sama, vektor T pada Gambar. 1.3 (b) terbagi menjadi tiga sumbu, sehingga berlaku,

$$T = T_x + T_y + T_z$$

Dengan:

T_x = vektor komponen **T** sepanjang sumbu x

T_y = vektor komponen **T** sepanjang sumbu y

T_z = vektor komponen **T** sepanjang sumbu z

Nilai vektor T, yaitu T, bila dinyatakan dalam nilai vektor komponennya, yaitu T_x , T_y , and T_z dengan menggunakan teorema Phytagoras, adalah

$$T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2 + T_z^2}$$

dengan

T = nilai vektor T

T_x = nilai T_x

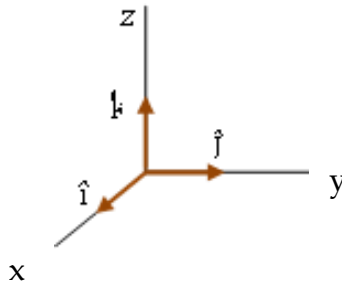
T_y = nilai T_y

T_z = nilai T_z

1.7 Vektor Satuan

Vektor satuan adalah vektor tak berdimensi yang memiliki satu nilai dan arah tertentu. Vektor satuan dilambangkan dengan huruf tebal dengan tanda “topi” di atasnya. Karena tidak berdimensi, vektor satuan bukanlah vektor dalam arti sebenarnya. Vektor satuan hanya membawa informasi arah.

Vektor satuan didefinisikan untuk setiap sumbu dalam sistem koordinat Cartesian. Vektor satuan adalah $\hat{i}$, $\hat{j}$, dan $\hat{k}$, yang masing-masing menunjuk ke sumbu x positif, sumbu y positif, dan sumbu z positif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4. Vektor satuan

Dengan adanya definisi vektor satuan $\hat{i}$, $\hat{j}$, dan $\hat{k}$, setiap vektor dalam koordinat Cartesian dapat didefinisikan dengan menggunakan vektor satuan ini. Vektor S dan T pada Gambar 1.3 di atas, jika dinyatakan dengan vektor satuan akan menjadi seperti berikut ini.

$$S = S_x \hat{i} + S_y \hat{j}$$

$$T = T_x \hat{i} + T_y \hat{j} + T_z \hat{k}$$

Selain itu, kita juga dapat mencari vektor satuan pada sembarang arah, misalnya vektor satuan yang satu arah dengan vektor S sehingga diperoleh Vektor satuan dengan membagi vektor

S dengan nilai S itu sendiri. Vektor satuan ini dilambangkan dengan $\hat{S}$ dan disebut vektor satuan dari S.

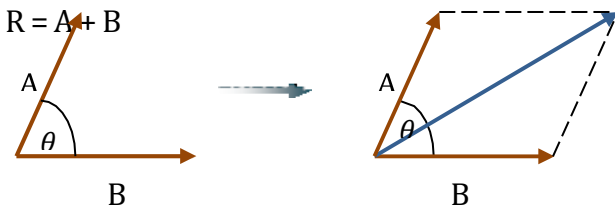
$$\hat{S} = \frac{S}{S} = \frac{S_x \hat{i} + S_y \hat{j}}{\sqrt{S_x^2 + S_y^2}}$$

1.8 Penjumlahan Vektor

Penjumlahan pada besaran vektor hanya dapat dilakukan terhadap besaran vektor yang sejenis. Penjumlahan vektor dapat dilakukan secara grafis atau menggunakan vektor komponen. Vektor dapat dijumlahkan secara grafis menggunakan metode jajargenjang dan metode poligon.

1. Metode Jajargenjang

Penjumlahan dua vektor dengan metode jajargenjang dapat dilakukan dengan membuat dua garis putus-putus yang sejajar dengan vektor **A** dan **B**. Garis putus-putus yang sejajar vektor A diletakkan di ujung vektor **B**, dan sebaliknya, garis putus-putus yang sejajar vektor B diletakkan di ujung vektor **A**. Hasilnya akan membentuk suatu jajargenjang yang dibentuk oleh dua vektor dan dua garis putus-putus tersebut. Resultan vektor A dan B adalah vektor pada diagonal jajargenjang yang titik awalnya sama dengan titik awal kedua vektor tersebut (Gambar 1.5).



Gambar 1.5. Penjumlahan vektor menggunakan metode jajargenjang

Jika nilai vektor **A** dan vektor **B** diketahui serta sudut yang dibentuk oleh kedua vektor tersebut diketahui, maka nilai resultan vektor **R** dapat diperoleh dengan menggunakan rumus cosinus, yaitu

$$R = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB \cos \theta}$$

dengan

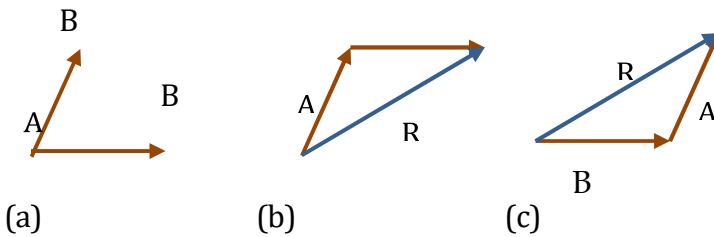
A = nilai vektor **A**

B = nilai vektor **B**

θ = sudut yang dibentuk oleh kedua vektor yakni vektor **A** dan **B**

2. Metode Poligon

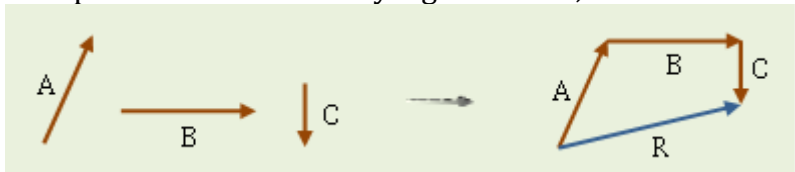
Penjumlahan vektor dengan menggunakan metode poligon dapat disebut juga sebagai penjumlahan vektor dengan metode segi banyak. Jika hanya dua vektor yang dijumlahkan, ini juga disebut metode segitiga. Penjumlahan beberapa vektor dengan metode poligon dilakukan dengan mengubah vektor kedua sehingga pangkal vektor kedua berimpit dengan ujung vektor pertama. Juga, vektor ketiga digeser sehingga pangkalnya berimpit dengan ujung vektor kedua, dan seterusnya hingga vektor terakhir. Vektor yang dihasilkan dari penjumlahan ini adalah vektor yang titik awalnya bertepatan dengan awal vektor pertama dan ujungnya bertepatan dengan vektor terakhir. Perhatikan bahwa vektor dapat digeser posisinya jika panjang dan arahnya sama.



Gambar 1.6. Penjumlahan vektor dengan metode poligon

Sebagai contoh, pada Gambar 1.6 (a) terdapat dua vektor sejenis, yaitu vektor **A** dan vektor **B**. Penjumlahan keduanya dilakukan dengan menggeser vektor **B** sehingga titik pangkalnya berimpit dengan ujung vektor **A** sehingga menghasilkan vektor resultan **R**, dimana $R = A + B$ adalah suatu vektor dengan titik pangkal yang berimpit dengan titik pangkal vektor **A** dan ujung yang berimpit dengan ujung vektor **B**, Gambar 1.6 (b). Hasil yang sama akan diperoleh ketika $B + A$ seperti yang terlihat pada Gambar 1.6 (c) sehingga menghasilkan vektor resultan $R = B + A$. Dengan demikian, sifat komutatif berlaku untuk penjumlahan vektor, yaitu $R = A + B = B + A$.

Jika Anda menjumlahkan tiga vektor, katakanlah vektor **A**, **B** dan **C**, Anda dapat melakukannya dengan menggeser vektor **B** sehingga pangkalnya berimpit dengan ujung vektor **A**, dan dengan menggeser vektor **C** agar pangkalnya berimpit dengan ujung vektor **B**, seperti pada gambar 1.7. Kemudian kita akan mendapatkan resultan vektor yang dihasilkan, $R = A + B + C$



Gambar 1.7. Penjumlahan tiga vektor

3. Metode Vektor Komponen

Sekarang mari kita lihat bagaimana menggunakan metode vektor komponen untuk menjumlahkan vektor secara matematis. Misalkan kita memiliki dua vektor, A dan B, yaitu

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

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

Jika kedua vektor tersebut dijumlahkan, maka resultan vektornya adalah:

$$R = A + B$$

$$= (A_x \hat{i} + A_y \hat{j}) + (B_x \hat{i} + B_y \hat{j})$$

$$= (A_x \hat{i} + B_x \hat{i}) + (A_y \hat{j} + B_y \hat{j})$$

$$= (A_x + B_x) \hat{i} + (A_y + B_y) \hat{j}$$

Jika vektor R dapat dinyatakan dengan vektor satuan,

$$R = R_x \hat{i} + R_y \hat{j}$$

maka nilai vektor komponen dari R yang diperoleh yaitu

$$R_x = A_x + B_x$$

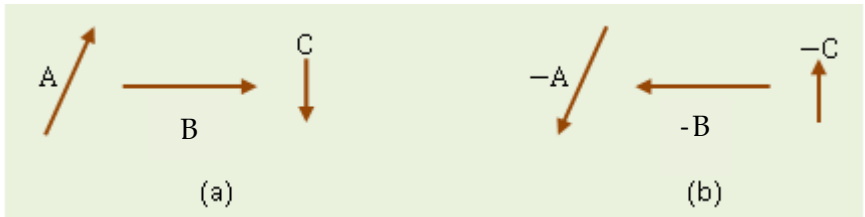
$$R_y = A_y + B_y$$

1.9 Pengurangan Vektor

Pengurangan vektor merupakan penjumlahan vektor dengan suatu vektor negatif. Misalkan vektor A dikurangi dengan vektor B, maka sama dengan vektor A ditambahkan dengan negatif dari vektor B.

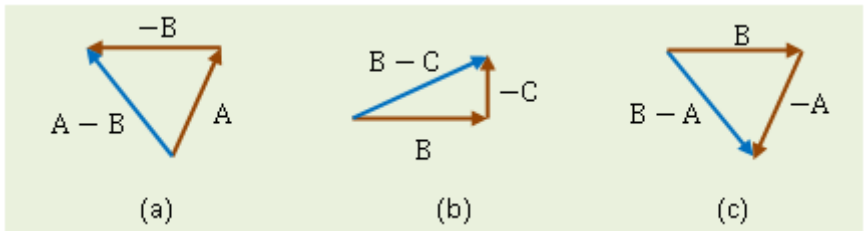
$$A - B = A + (-B)$$

Negatif dari vektor B yaitu vektor $-B$ merupakan suatu vektor yang nilainya sama dengan vektor B tetapi arahnya berlawanan. Vektor A, B dan C ditunjukkan pada Gambar 1.8 (a) sedangkan negatif dari ketiga vektor tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.8 (b).



Gambar 1.8. (a) Vektor A, B, C (b) Negatif dari vektor A,B,C

Saat menggunakan vektor negatif, pengurangan vektor pada dasarnya sama dengan penjumlahan vektor. Hasil pengurangan vektor : $A - B$, $B - C$, dan $B - A$ ditunjukkan oleh Gambar 1.9 di bawah ini:



Gambar 1.9. Pengurangan vektor

Jika vektor dapat dinyatakan dalam vektor komponennya, maka pengurangan vektor dapat dilakukan secara matematis. Misalnya

$$A = Ax\hat{i} + Ay\hat{j}$$

$$B = Bx\hat{i} + By\hat{j}$$

Maka pengurangan vektor A dengan vektor B

$$\begin{aligned} A - B &= Ax\hat{i} + Ay\hat{j} - (Bx\hat{i} + By\hat{j}) \\ &= Ax\hat{i} - Bx\hat{i} + Ay\hat{j} - By\hat{j} \\ &= (Ax - Bx)\hat{i} + (Ay - By)\hat{j} \end{aligned}$$

1.10 Perkalian Vektor

Vektor dapat dikalikan dengan konstanta, besaran skalar, atau vektor lainnya. Jika vektor A dikalikan dengan suatu konstanta atau besaran skalar positif, misalnya m , maka hasilnya adalah vektor mA , yaitu vektor yang searah dengan vektor A dan bernilai mA . Tetapi, jika dikalikan dengan konstanta atau besaran skalar negatif $-m$, hasilnya adalah vektor $-mA$, yang merupakan vektor invers dari vektor A dan bernilai mA .

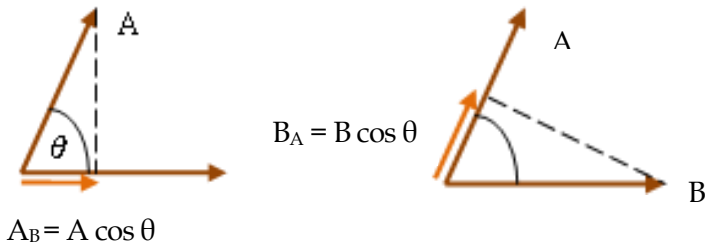
Dalam keadaan yang sama, mengalikan vektor dengan vektor tidak sesederhana mengalikan vektor dengan skalar atau konstanta. Ada tiga bentuk perkalian vektor dengan vektor yakni perkalian titik (*dot product*), perkalian silang (*cross product*), dan perkalian diadik (perkalian tensor). Ketiganya memiliki aturannya sendiri. Buku ini hanya membahas dua bentuk perkalian, yaitu perkalian titik dan silang.

1. Perkalian Titik

Perkalian titik dua vektor akan menghasilkan besaran skalar. Perkalian titik vektor A dan vektor B dapat didefinisikan sebagai

$$A \cdot B = AB \cos \theta$$

dengan θ adalah sudut yang dibentuk oleh kedua vektor A dan B . Interpretasi geometris dari perkalian titik vektor A dan vektor B merupakan perkalian skalar antara panjang vektor B dengan panjang proyeksi vektor A pada vektor B (Gambar 1.10 a), atau perkalian skalar antara panjang vektor A dengan panjang proyeksi vektor B pada vektor A (Gambar 1.10 b).



Gambar 1.10. Interpretasi geometris perkalian titik

Jika vektor A dan vektor B dinyatakan dalam vektor satuan, maka perkalian titiknya diuraikan sebagai berikut

$$\begin{aligned} A \cdot B &= (A_x \hat{i} + A_y \hat{j}) \cdot (B_x \hat{i} + B_y \hat{j}) \\ &= A_x B_x (\hat{i} \cdot \hat{i}) + A_x B_y (\hat{i} \cdot \hat{j}) + A_y B_x (\hat{j} \cdot \hat{i}) + A_y B_y (\hat{j} \cdot \hat{j}) \\ &= A_x B_x + A_y B_y \end{aligned}$$

Sedangkan hasil perkalian titik vektor A dengan dirinya sendiri, adalah

$$\begin{aligned} A \cdot A &= (A_x \hat{i} + A_y \hat{j}) \cdot (A_x \hat{i} + A_y \hat{j}) \\ &= A_x A_x (\hat{i} \cdot \hat{i}) + A_x A_y (\hat{i} \cdot \hat{j}) + A_y A_x (\hat{j} \cdot \hat{i}) + A_y A_y (\hat{j} \cdot \hat{j}) \\ &= A_x^2 + A_y^2 \\ &= A^2 \end{aligned}$$

Perkalian titik bias digunakan juga untuk menentukan sudut yang dibentuk oleh kedua vektor A dan B , yaitu

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

Beberapa sifat-sifat perkalian titik

- 1) $A \cdot B = B \cdot A$
- 2) $A \cdot A = A^2$
- 3) $\hat{i} \cdot \hat{i} = \hat{j} \cdot \hat{j} = \hat{k} \cdot \hat{k} = (1)(1) \cos 0 = 1$
- 4) $\hat{i} \cdot \hat{j} = \hat{j} \cdot \hat{k} = \hat{k} \cdot \hat{i} = (1)(1) \cos 90^\circ = 0$

- 5) Vektor A dan Vektor B akan saling tegak lurus jika $A \cdot B = 0$ serta A dan B bukan nol

2. Perkalian Silang

Perkalian silang ini berbeda dengan perkalian titik, perkalian silang dua vektor akan menghasilkan besaran vektor yang arahnya tegak lurus dengan kedua vektor pembentuknya. Perkalian silang dari vektor A dengan vektor B dinyatakan sebagai :

$$A \times B = |A \times B| \hat{n}$$

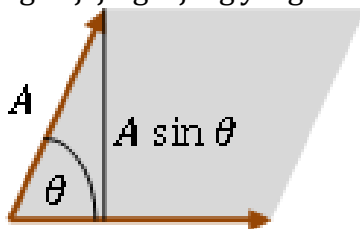
Dengan:

$$|A \times B| = AB \sin \theta$$

Dan θ adalah sudut yang dibentuk oleh kedua vektor, dan $\hat{n}$ adalah vektor satuan yang menunjukkan arah dari vektor $A \times B$.

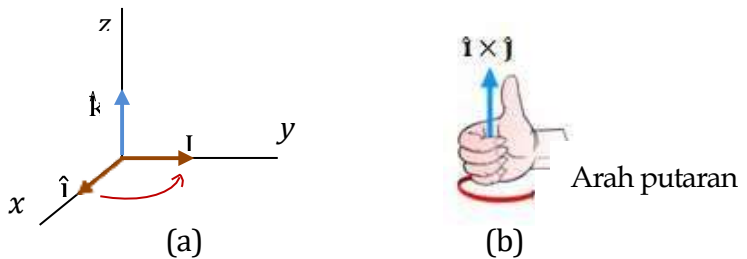
Secara geometri, nilai perkalian silang dari dua vektor merepresentasikan luas bangun jajargenjang yang dibentuk oleh kedua vektor tersebut (Gambar 1.11).

$|A \times B| \rightarrow$ luas bangun jajargenjang yang dibentuk oleh A dan B



Gambar 1.11. Interpretasi geometris dari $|A \times B|$

Ada aturan untuk menentukan arah dari $A \times B$ yang disebut dengan kaidah tangan kanan (*right hand rule*). Contohnya, perkalian silang $\hat{i}$ dengan $\hat{j}$, $\hat{i} \times \hat{j}$ seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.12 (a).



Gambar 1.12. (a) Perkalian silang $\hat{i} \times \hat{j}$ (b) Aturan tangan kanan

Dari definisi perkalian silang, maka

$$\begin{aligned}\hat{i} \times \hat{j} &= |\hat{i}| |\hat{j}| \sin \theta \hat{n} \\ &= 1 \cdot 1 \sin 90^\circ \hat{n} \\ &= \hat{n}\end{aligned}$$

Kemanakah arah $\hat{n}$? Jika kepalan tangan kanan searah dengan arah lipatan ke empat jari dengan putaran dari ujung vektor $\hat{i}$ ke ujung vektor $\hat{j}$ maka ibu jari akan mengarah ke sumbu z, searah dengan vektor k . Oleh karena nilai vektor $\hat{n}$ sama dengan satu, dan searah dengan k maka $\hat{n} = k$.

Sehingga diperoleh

$$\hat{i} \times \hat{j} = k$$

Beberapa sifat dari perkalian silang:

1. $\hat{i} \times \hat{j} = k, \hat{j} \times k = \hat{i}, k \times \hat{i} = \hat{j}$
2. $\hat{j} \times \hat{i} = -k, k \times \hat{j} = -\hat{i}, \hat{i} \times k = -\hat{j}$
3. $\hat{i} \times \hat{i} = \hat{j} \times \hat{j} = k \times k = 0$ (karena $\theta = 0$)
4. $A \times B = -B \times A$
5. Vektor A sejajar dengan vektor B jika $A \times B = 0$ dan A dan B tidak nol

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2018. Bab 1 Vektor. Scribd.com. Diakses pada tanggal 07 Maret 2023 <https://www.scribd.com/document/388698342/Bab-1-Vektor-pdf#>
- Giancoli, D.C. 2004. Physics volume I. New Jersey : Prentice Hall
- Halliday, D., Resnick, R. 1997. Physics , terjemahan: Patur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta: Erlangga.
- Tipler, P. A. 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.
- Wigati Nuraeni. 2017. Besaran dan Pengukuran. Upi.edu diakses pada tanggal 07 Maret 2023 http://file.upi.edu/Direktori/DUAL-MODES/KONSEP_DASAR_FISIKA/BBM_1_%28Besaran_dan_Pengukuran%29_KD_Fisika.pdf

BAB 2

KINEMATIKA PARTIKEL

Oleh Zahriah

2.1 Pendahuluan

Setiap benda di alam semesta baik benda hidup maupun benda mati dapat mengalami gerak, mulai dari partikel yang kecil hingga benda-benda langit yang berukuran besar. Pembahasan tentang gerak merupakan kunci untuk memahami konsep-konsep fisika lebih lanjut. Ilmu tentang gerak disebut mekanika. Kinematika adalah cabang dari mekanika yang mempelajari gerak benda tanpa melibatkan penyebab mengapa benda bergerak.

Dalam kinematika dibahas tentang berbagai besaran gerak, gerak benda pada lintasan yang lurus baik dalam arah horizontal dan vertikal yang merupakan gerak satu dimensi. Selain itu dalam gerak dua dimensi mempelajari gerak lengkung (gerak parabola) dan gerak benda pada lintasan melingkar.

2.2 Gerak Satu Dimensi

2.2.1 Posisi

Posisi atau kedudukan adalah suatu istilah untuk merepresentasikan keberadaan partikel yang terletak pada suatu titik terhadap titik lainnya. Posisi suatu partikel dapat dinyatakan dalam sumbu koordinat. Pada gerak satu dimensi posisi suatu partikel berada pada satu sumbu koordinat, dan yang umum digunakan adalah sumbu x .



Gambar 2.1. Posisi sebuah mobil pada sistem koordinat satu dimensi

Sumber: <https://www.edutafsi.com>

Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan sistem koordinat satu dimensi dapat dinyatakan posisi mobil berada di titik $x = 2\text{m}$ dalam arah sumbu x positif (kanan).

2.2.2 Jarak dan Perpindahan

Jarak didefinisikan sebagai seluruh panjang lintasan yang ditempuh partikel. Jika suatu partikel atau benda berubah posisinya maka dapat dikatakan partikel tersebut mengalami perpindahan. Selama bergerak dari satu posisi ke posisi lain suatu benda bisa saja melalui lintasan yang tidak lurus. Meski demikian, perpindahan tidak dipengaruhi oleh lintasan yang ditempuh dari posisi awal ke posisi akhir, akan tetapi hanya bergantung pada vektor posisi awal dan vektor posisi akhir, seperti yang disajikan pada gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. Mobil berangkat dari kota Banda Aceh menuju kota Medan menempuh jarak 601 km, dengan perpindahan sepanjang garis penghubung berwarna merah.

Sumber: <https://www.google.com/maps/>

Perpindahan dinyatakan dengan persamaan:

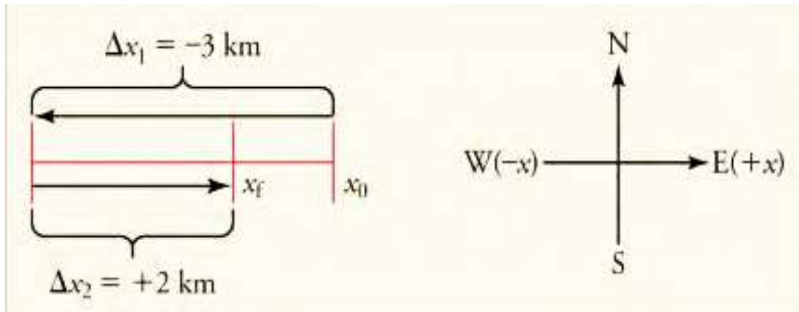
$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (2.1)$$

Dengan Δx adalah perpindahan, x_1 posisi awal partikel, dan x_2 posisi akhir partikel.

Contoh:

Seorang pengendara sepeda menempuh jarak 3 km ke arah barat, kemudian ia berbelok dan menempuh jarak 2 km ke arah timur. (a) Berapa perpindahannya? (b) Berapa jarak yang ditempuh? (c) Berapa besar perpindahannya?

Penyelesaian:



Besar perpindahan

Dari gambar dapat dituliskan:

$$\Delta x = \Delta x_2 - \Delta x_1$$

$$\Delta x = (-3 \text{ km}) + 2 \text{ km}$$

$$\Delta x = -1 \text{ km}$$

Perpindahan bernilai negatif, yang berarti sejauh 1 km ke timur (sumbu x negatif)

Jarak tempuh

Jarak = seluruh lintasan yang ditempuh

$$= 3 \text{ km} + 2 \text{ km}$$

$$= 5 \text{ km}$$

Besarnya perpindahan adalah 1 km.

2.2.3 Kecepatan Rata-rata dan Kelajuan Rata-rata

Kecepatan (*velocity*) merupakan besaran vektor yang menyatakan perpindahan perwaktu tempuh

$$v_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \quad (2.2)$$

Kelajuan (*speed*) menyatakan total jarak yang ditempuh partikel dibagi waktu tempuhnya. Kelajuan merupakan besaran skalar.

$$s_{\text{rata-rata}} = \frac{\text{total jarak}}{\Delta t} \quad (2.3)$$

2.2.4 Kecepatan Sesaat

Kecepatan rata-rata tidak memberikan informasi gerak benda tiap saat. Kecepatan benda dapat membesar, mengecil, atau bahkan berhenti pada saat yang berbeda. Kecepatan sesaat merupakan kecepatan partikel pada saat tertentu dalam selang waktu yang sangat kecil bahkan mendekati nol dan didefinisikan dengan:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad (2.4)$$

2.2.5 Percepatan rata-rata dan Percepatan Sesaat

Selama bergerak benda akan mengalami perubahan kecepatan, baik bergerak semakin cepat atau semakin lambat. Besaran yang mengukur seberapa cepatnya perubahan rata-rata kecepatan suatu benda atau partikel dalam selang waktu tertentu dinamakan dengan percepatan rata-rata yang dinyatakan dengan:

$$a_{rata-rata} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$
$$a_{rata-rata} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.5)$$

Jika dihubungkan dengan perpindahan maka:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2x}{dt^2} \quad (2.6)$$

Jika selang waktu yang diambil dalam percepatan rata-rata mendekati nol, maka percepatan rata-rata tersebut berubah menjadi percepatan sesaat yang dinyatakan dengan:

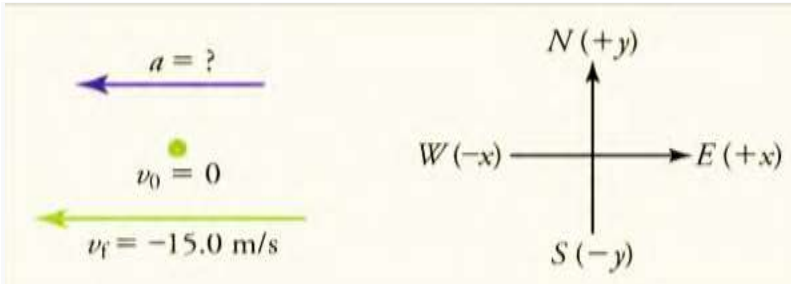
$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (2.7)$$

Contoh:

Sebuah kuda pacu keluar dari gerbang dan berlari dipercepat dari keadaan diam menjadi kecepatan 15,0 m/s ke arah barat dalam waktu 1,80 s. Berapa percepatan rata-ratanya?

Penyelesaian:

Dengan menggambar sketsa dan menetapkan sistem koordinat, maka dapat ditentukan arah timur sebagai positif dan barat sebagai negatif, sehingga dalam hal ini kecepatan kuda adalah negatif.



Dari gambar diketahui $v_0 = 0$ dan $v = v_f = -15 \text{ m/s}$ (negatif menunjukkan arah barat) dan $\Delta t = 1,80 \text{ s}$.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$a = \frac{v - v_f}{\Delta t}$$
$$a = \frac{-15 - 0}{1,80} = -8,33 \text{ m/s}^2$$

2.2.6 Gerak dengan Kecepatan Konstan

Gerak dalam arah sumbu x dengan nilai kecepatan konstan (tidak berubah terhadap waktu) dinyatakan dengan:

$$a = \frac{dv}{dt} = 0$$

$$\text{Dimana } v = \frac{dx}{dt} = \text{konstan}$$

$$dx = v dt$$

Sehingga:

$$x = vt \quad (2.8)$$

2.2.7 Gerak dengan Percepatan Konstan

Ketika percepatan bernilai konstan, maka besar percepatan rata-rata sama dengan kecepatan sesaat. Persamaan 2.5 dapat dituliskan dalam bentuk:

$$a = a_{rata-rata} = \frac{v - v_0}{t - 0}$$

Dimana v_0 adalah kecepatan saat $t = 0$ dan v adalah kecepatan dalam waktu t . Persamaan dapat dituliskan kembali dengan bentuk:

$$v = v_0 + at \quad (2.9)$$

Dengan cara yang sama, persamaan (2.2) juga dapat dinyatakan ulang dengan:

$$v_{rata-rata} = \frac{x - x_0}{t - 0}$$

x_0 adalah posisi benda saat $t = 0$, dan x adalah posisi benda saat t . Bentuk persamaan dapat ditulis menjadi:

$$x = x_0 + v_{rata-rata}t \quad (2.10)$$

Untuk kecepatan dalam fungsi linear, kecepatan rata-rata setiap saat interval waktu dari $t = 0$ hingga t dan v_0 hingga v adalah:

$$v_{rata-rata} = \frac{1}{2}(v_0 + v) \quad (2.11)$$

Substitusi nilai v ke persamaan (2.9) sehingga:

$$v_{rata-rata} = v_0 + \frac{1}{2}at \quad (2.12)$$

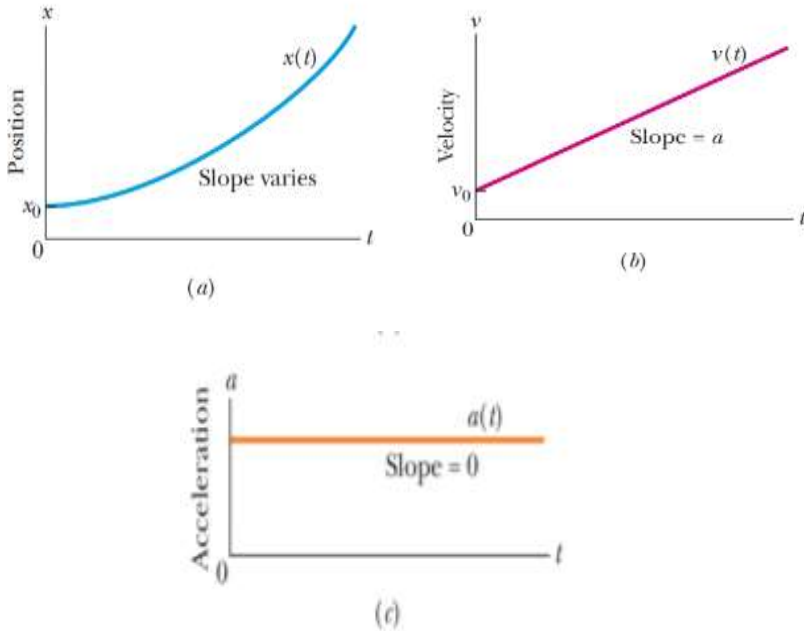
Selanjutnya substitusi persamaan (2.10) ke dalam persamaan (2.12) diperoleh:

$$x - x_0 = v_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (2.13)$$

Selanjutnya substitusi nilai t dari persamaan (2.9) ke dalam persamaan (2.13) maka didapatkan:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (2.14)$$

Grafik hubungan antara posisi, kecepatan dan percepatan terhadap waktu ditunjukkan pada gambar berikut:

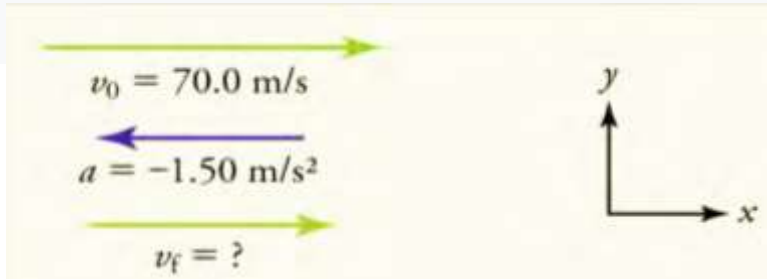


Gambar 2.3. (a) Grafik posisi x terhadap waktu t , (b) kecepatan v terhadap waktu t , (c) percepatan a terhadap waktu t .
Sumber: Halliday & Resnick (2011)

Contoh:

Sebuah pesawat terbang mendarat dengan kecepatan awal $70,0 \text{ m/s}$ kemudian diperlambat sebesar $1,50 \text{ m/s}^2$ selama $40,0$ detik. Berapa kecepatan akhirnya?

Penyelesaian:



$v_0 = 70,0 \text{ m/s}$, $a = -1,50 \text{ m/s}^2$, dan $t = 40,0 \text{ s}$
dengan demikian:

$$v = 70,0 + (-1,50)(40,0)$$

$$v = 10 \text{ m/s}$$

2.2.8 Gerak Benda Jatuh

Benda yang dilempar ke atas atau ke bawah akan mengalami percepatan ke bawah yang dinyatakan dengan g (percepatan gravitasi). Percepatan tidak bergantung pada karakteristik objek seperti massa, ukuran, bentuk maupun kerapatan. Dalam ruang hampa udara semua objek akan jatuh dalam selang waktu yang sama meskipun masing-masing objek karakteristiknya berbeda, hal ini berbeda ketika objek dijatuhkan dalam ruang yang dipengaruhi oleh gesekan udara benda yang bermassa besar terlebih dahulu mencapai dasar.

Percepatan gravitasi bumi bernilai konstan dan rata-rata di permukaan bumi besarnya $9,8 \text{ m/s}^2$. Besar percepatan gravitasi di setiap tempat di permukaan bumi berkisar antara $9,78 \text{ m/s}^2$ – $9,83 \text{ m/s}^2$. Ini bergantung pada garis lintang, ketinggian, formasi geologi, dan topografi lokal suatu tempat. Nilai positif dan negative dari percepatan gravitasi tergantung pada koordinat yang ditentukan dalam arah sumbu vertikal. Jika arah ke atas ditentukan sebagai arah positif, maka g bernilai negative ($-g$) dan jika arah ke

bawah dinyatakan sebagai arah positif maka g bernilai positif (+ g). Jarak vertikal yang ditempuh objek ketika jatuh dapat dinyatakan dengan y , sehingga persamaan (2.9), (2.13) dan (2.14) ditulis menjadi:

$$v = v_0 + gt \quad (2.15)$$

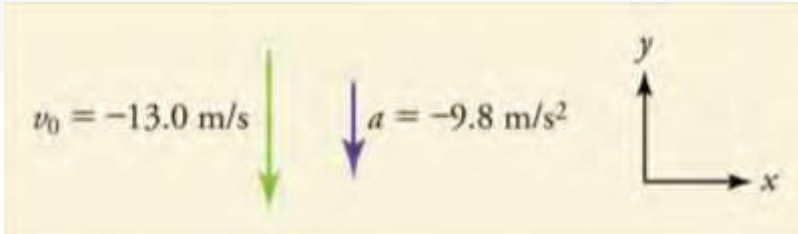
$$y - y_0 = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.16)$$

$$v^2 = v_0^2 + 2g(y - y_0) \quad (2.17)$$

Contoh:

Jika seseorang melempar batu dari atas tebing lurus ke bawah, hitunglah kecepatan batu tersebut ketika berada 5,10 m di bawah titik awal, dan dilempar ke bawah dengan kecepatan awal 13,0 m/s.

Penyelesaian:



Karena arah ke atas positif, posisi akhir batu akan negatif karena berakhir di bawah titik awal pada $y_0 = 0$. Begitu pula dengan awalnya kecepatan ke bawah dan karena itu negatif, seperti percepatan gravitasi.

Diketahui dari soal:

$$y_0 = 0, y = -5,10 \text{ m}, v_0 = -13,0 \text{ m/s}, a = -g = -9,80 \text{ m/s}^2$$

maka:

$$v^2 = v_0^2 + 2a(y - y_0)$$

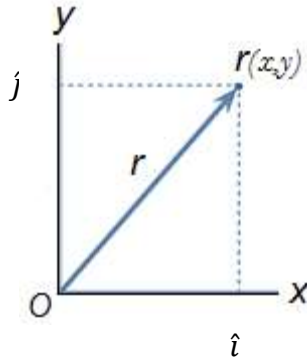
$$v^2 = (-13,0)^2 + 2(-9,80)((-5,10) - 0)$$

$$v^2 = 268,96 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v = 16,4 \text{ m/s}$$

2.3 Gerak Dua Dimensi

Gerak partikel dalam dua dimensi, posisi partikel dapat terdefinisi secara lengkap menggunakan koordinat x dan y.



Gambar 2.4. Posisi partikel pada koordinat x dan y
Sumber: <https://physicsranggaagung.wordpress.com/>

2.3.1 Posisi dan Perpindahan

Vektor posisi $\vec{r}$ suatu objek dalam arah dua dimensi dinyatakan dengan:

$$\vec{r} = x\hat{i} + y\hat{j} \quad (2.18)$$

Dimana $x\hat{i}$ dan $y\hat{j}$ adalah vektor komponen dari $\vec{r}$. Koefesien x dan y merupakan lokasi objek disepanjang sumbu koordinat. Saat partikel bergerak, vektor posisinya berubah. Perubahan posisi partikel dalam selang waktu tertentu adalah:

$$\begin{aligned} \Delta\vec{r} &= \vec{r}_2 - \vec{r}_1 \\ \Delta\vec{r} &= (x_2\hat{i} + y_2\hat{j}) - (x_1\hat{i} + y_1\hat{j}) \\ \Delta\vec{r} &= (x_2 - x_1)\hat{i} + (y_2 - y_1)\hat{j} \\ \Delta\vec{r} &= \Delta x\hat{i} + \Delta y\hat{j} \end{aligned} \quad (2.19)$$

2.3.2 Kecepatan Rata-rata dan Kecepatan Sesaat

Jika suatu partikel bergerak dan mengalami perpindahan dalam selang waktu t , maka kecepatan rata-rata partikel tersebut adalah:

$$\begin{aligned}\vec{v}_{rata-rata} &= \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \\ \vec{v}_{rata-rata} &= \frac{\Delta x \hat{i} + \Delta y \hat{j}}{\Delta t} \\ \vec{v}_{rata-rata} &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \hat{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t} \hat{j}\end{aligned}\quad (2.20)$$

Sedangkan untuk kecepatan sesaat partikel dalam selang waktu tertentu:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}\quad (2.21)$$

Kecepatan sesaat untuk masing-masing vektor komponen kecepatan dapat diturunkan dengan::

$$\begin{aligned}\vec{v} &= \frac{d}{dt}(x\hat{i} + y\hat{j}) \\ \vec{v} &= \frac{dx}{dt}\hat{i} + \frac{dy}{dt}\hat{j} \\ \vec{v} &= v_x\hat{i} + v_y\hat{j} \\ \vec{v}_x &= \frac{dx}{dt}, \vec{v}_y = \frac{dy}{dt}\end{aligned}\quad (2.22)$$

2.3.3 Percepatan Rata-rata dan Percepatan Sesaat

Ketika kecepatan partikel berubah dari $\vec{v}_1$ menjadi $\vec{v}_2$ dengan selang waktu Δt , maka percepatan rata-rata dapat dituliskan sebagai:

$$a_{rata-rata} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\vec{a}_{rata-rata} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

$$\vec{a}_{rata-rata} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (2.23)$$

maka:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{a} = \frac{d}{dt}(v_x \hat{i} + v_y \hat{j})$$

$$\vec{a} = \frac{dv_x}{dt} \hat{i} + \frac{dv_y}{dt} \hat{j}$$

$$\vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} \quad (2.24)$$

Dan dapat ditulis menjadi:

$$\vec{a}_x = \frac{dv_x}{dt}, \vec{a}_y = \frac{dv_y}{dt} \quad (2.25)$$

Contoh:

Sebuah partikel bergerak dalam bidang xy dan posisinya dinyatakan dengan $r(t) = (4t)i + (10t^2)j$ meter. Tentukan:

Perpindahan partikel dari $t = 2$ s hingga $t = 5$ s

Vektor kecepatan partikel pada $t=3$ sekon

Percepatan partikel pada $t=10$ sekon

Penyelesaian:

Perpindahan partikel dari $t = 2$ sekon hingga $t = 5$ sekon

Posisi partikel saat $t = 2$ sekon:

$$r(2) = (4(2))i + (10(2)^2)j \text{ meter.}$$

$$r(2) = (8))i + (40)j \text{ meter}$$

Posisi partikel saat $t = 5$ sekon:

$$r(2) = (4(5))i + (10(5)^2)j \text{ meter.}$$

$$r(2) = (20))i + (250)j \text{ meter}$$

Perpindahan partikel:

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

$$\Delta \vec{r} = (20 - 8)\hat{i} + (250 - 40)\hat{j}$$

$$\Delta \vec{r} = (12)\hat{i} + (210)\hat{j} \text{ meter}$$

Vektor kecepatan partikel pada $t=3$ sekon

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{v} = 4\hat{i} + (20t)\hat{j} \text{ m/s}$$

$$\vec{v} = 4\hat{i} + 60\hat{j} \text{ m/s}$$

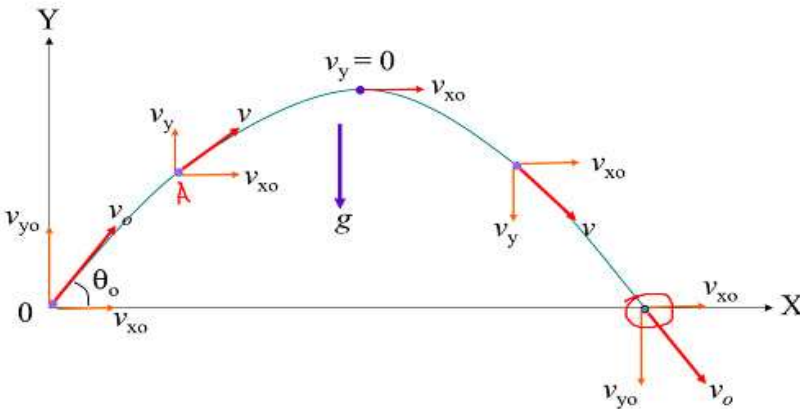
Percepatan partikel pada $t=10$ sekon

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\vec{a} = 0 + (20)\hat{j} \text{ m/s}$$

2.3.4 Gerak Peluru

Gerak peluru atau gerak proyektil merupakan jenis gerak dua dimensi. Peluru yang ditembakkan dengan kecepatan awal $\vec{v}_0$ membentuk sudut elevasi tertentu terhadap sumbu datar akan membentuk lintasan parabola.



Gambar 2.5. Lintasan gerak peluru berbentuk parabola

Sumber: www.fisikazone.com

Pada saat ditembakkan, peluru memiliki dua komponen kecepatan, yaitu kecepatan arah horizontal v_{0x} dan kecepatan arah vertikal v_{0y} .

$$\vec{v}_0 = \vec{v}_{0x}\hat{i} + \vec{v}_{0y}\hat{j} \quad (2.26)$$

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta_0 \quad (2.27)$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta_0 \quad (2.28)$$

Gerak horizontal peluru

Pada arah gerak horizontal percepatan bernilai nol, peluru bergerak dengan kecepatan konstan dengan $v_{0x} = v_x$ sepanjang lintasan dalam selang waktu tertentu. Posisi peluru dinyatakan dengan:

$$x - x_0 = v_{0x}t$$

dengan

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta_0$$

maka:

$$x - x_0 = (v_0 \cos \theta_0)t \quad (2.29)$$

Jarak horizontal yang ditempuh peluru dari titik awal hingga titik akhir lintasan yaitu R dimana :

$$x - x_0 = R$$

Sehingga:

$$R = (v_0 \cos \theta_0)t$$

dan

$$0 = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2$$

Eliminasi t dari dua persamaan tersebut sehingga menghasilkan:

$$R = \frac{2v_0^2}{g} \sin \theta_0 \cos \theta_0 \quad (2.30)$$

Dengan menggunakan rumus identitas $\sin 2\theta_0 = 2 \sin \theta_0 \cos \theta_0$ didapatkan:

$$R = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta_0 \quad (2.31)$$

Sementara waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jarak maksimum:

$$t = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (2.32)$$

Gerak vertikal peluru

Untuk arah vertikal nilai percepatan adalah konstan, artinya terjadi perubahan kecepatan di sepanjang lintasan peluru, dengan demikian posisi benda dalam arah vertikal adalah:

$$y - y_0 = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$y - y_0 = (v_0 \sin \theta_0)t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.33)$$

Dengan kecepatan v_y

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt \quad (2.34)$$

dan

$$v_y^2 = (v_0 \sin \theta_0)^2 - 2g(y - y_0) \quad (2.35)$$

Resultan kecepatan dalam arah horizontal dan vertikal dinyatakan dengan:

$$\vec{v} = \sqrt{\vec{v}_x^2 + \vec{v}_y^2} \quad (2.36)$$

Dan sudut θ yang dibentuk terhadap arah horizontal yaitu:

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\vec{v}_y}{\vec{v}_x} \right) \quad (2.37)$$

Untuk menentukan selang waktu untuk mencapai ketinggian maksimum nilai $v_y = 0$, karena partikel berada pada titik tertinggi.

$$v_y = v_0 \sin \theta_0 - gt$$

$$0 = v_0 \sin \theta_0 - gt$$

Sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik tertinggi:

$$t = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (2.38)$$

Besar waktu untuk mencapai titik tertinggi nilainya adalah setengah kali dari waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jarak maksimum pada persamaan (2.32). Ketinggian maksimum yang dicapai peluru diperoleh dengan menggunakan persamaan (2.33)

$$y - y_0 = (v_0 \sin \theta_0) t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y_{maks} = y_0 + (v_0 \sin \theta_0) t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$y_{maks} = 0 + (v_0 \sin \theta_0)(v_0 \sin \theta_0) - \frac{1}{2} g (v_0 \sin \theta_0)^2$$

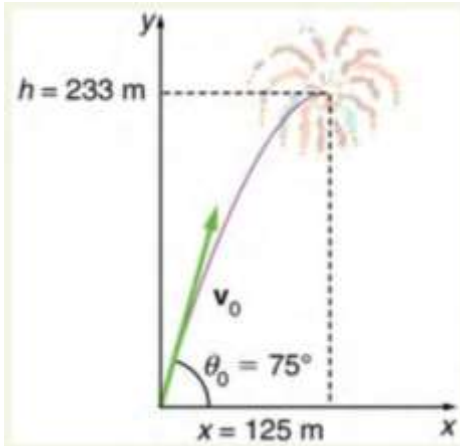
Dengan demikian ketinggian maksimum peluru dinyatakan dengan::

$$y_{maks} = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \quad (2.39)$$

Contoh:

Selama pertunjukan kembang api, sebuah peluru ditembakkan ke udara dengan kecepatan awal 70,0 m/s pada sudut 75,0° terhadap horizontal, seperti yang diilustrasikan pada gambar. Sekering diatur waktunya untuk menyalakan cangkang tepat saat mencapai titik tertinggi di atas tanah. (a) Hitung ketinggian di mana cangkang meledak. (b) Berapa selang waktu antara peluncuran peluru dan ledakan? (c) Berapakah perpindahan horizontal dari cangkang tersebut ketika meledak?

Penyelesaian:



Karena hambatan udara dapat diabaikan untuk cangkang yang tidak meledak, metode analisis yang diuraikan di atas dapat digunakan. Gerakan dapat dipecah menjadi gerakan horizontal dan vertikal di mana $a_x = 0$ dan $a_y = -g$. Kita kemudian dapat mendefinisikan x_0 dan y_0 menjadi nol dan memecahkan yang diinginkan jumlah.

$$v_y^2 = (v_0 \sin \theta_0)^2 - 2g(y - y_0)$$

$$0 = (v_0 \sin \theta_0)^2 - 2gy$$

$$y = \frac{(70 \text{ m/s} \sin 75^\circ)^2}{2(9,8) \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$y = \frac{(67,6 \text{ m/s})^2}{19,6 \text{ m}^2/\text{s}^2} = 233 \text{ m}$$

Selang waktu antara peluncuran peluru dan ledakan

$$y = y_0 + \frac{1}{2}(v_0 \sin \theta_0 + v_y)t$$

$$233 \text{ m} = \frac{1}{2}(67,6 \text{ m/s})t$$

$$t = 6,90 \text{ s}$$

perpindahan horizontal dari cangkang tersebut

$$x - x_0 = v_{0x}t$$

$$x - 0 = v_{0x}t$$

$$x = (v_0 \cos \theta_0)t$$

$$x = (70 \text{ m/s} \cos 75^\circ) 6,90 \text{ s}$$

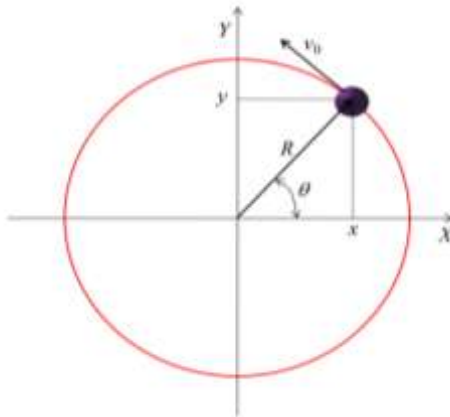
$$x = 125 \text{ m}$$

2.3.5 Gerak Melingkar

Gerak melingkar didefinisikan sebagai gerak partikel yang mengelilingi lintasan berbentuk lingkaran, baik satu lingkaran penuh maupun tidak. Contohnya adalah gerak roda kendaraan, gerak jarum jam, putaran kipas angin dan lain-lain. Pada gerak melingkar jarak partikel ke titik acuan (pusat koordinat lingkaran) selalu tetap. Selain itu arah kecepatannya selalu menyinggung lintasan yang ditempuh. Koordinat posisi partikel setiap saat memenuhi:

$$x = R \cos \theta \quad (2.40)$$

$$y = R \sin \theta \quad (2.41)$$



Gambar 2.6. Lintasan partikel pada gerak melingkar

Sumber: Abdullah (2016)

Jika ditinjau dari dua dimensi posisi benda adalah:

$$\vec{r} = \hat{i}R\cos \theta + \hat{j}R\sin \theta \quad (2.42)$$

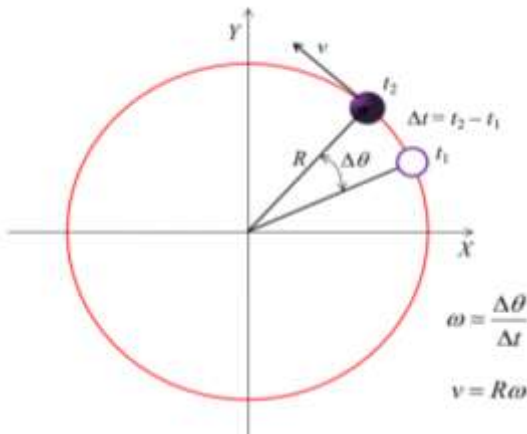
Dengan panjang jari-jari lintasan R sebesar:

$$R^2 = x^2 + y^2 \quad (2.43)$$

Kecepatan sudut menyatakan perbandingan sudut yang ditempuh partikel dalam selang waktu tertentu, sehingga dapat dinyatakan:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (2.44)$$

Ketika partikel bergerak melingkar, selain dipengaruhi oleh kecepatan sudut juga dipengaruhi oleh kecepatan linear.



Gambar 2.7. Gerak partikel pada lintasan melingkar dipengaruhi oleh kecepatan linear.

Sumber: Abdullah (2016)

Jarak yang ditempuh partikel dalam selang waktu dari t_1 ke t_2 adalah:

$$\Delta s = R\Delta\theta$$

Laju benda didefinisikan sebagai:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$v = R \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Maka hubungan kecepatan sudut dengan kecepatan linear dinyatakan dengan:

$$v = R\omega \quad (2.45)$$

Untuk menentukan posisi partikel di suatu titik pada gerak melingkar berdasarkan persamaan (2.21) dituliskan:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$$\vec{v} = \frac{d}{dt}(\hat{i}R\cos\theta + \hat{j}R\sin\theta)$$

$$\vec{v} = \hat{i}R(-\sin\theta \frac{d\theta}{dt}) + \hat{j}R(\cos\theta \frac{d\theta}{dt})$$

$$\vec{v} = R \frac{d\theta}{dt}(-\hat{i}\sin\theta + \hat{j}\cos\theta)$$

Sehingga:

$$\vec{v} = R\omega(-\hat{i}\sin\theta + \hat{j}\cos\theta) \quad (2.46)$$

Kecepatan sudut yang berubah pada gerak melingkar akan menghasilkan percepatan sudut yang besarnya:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.47)$$

Jika Δt mendekati nol maka dituliskan:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

Percepatan sudut α memiliki hubungan dengan percepatan tangensial. Percepatan tangensial didefinisikan sebagai:

$$a_T = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (2.48)$$

Jika Δt yang diambil mendekati nol maka:

$$a_T = \frac{dv}{dt} \quad (2.49)$$

Substitusi persamaan (2.45) ke dalam persamaan (2.49) menghasilkan:

$$a_T = \frac{d(R\omega)}{dt}$$

$$a_T = R \frac{d\omega}{dt}$$

Sehingga:

$$a_T = R\alpha \quad (2.50)$$

Jika ditinjau pada arah dua dimensi, vektor percepatan tangensial dapat dinyatakan dengan:

$$\vec{a}_T = R\alpha(-\hat{i}\sin\theta + \hat{j}\cos\theta) \quad (2.51)$$

Pada gerak melingkar arah percepatan selalu menuju pusat lingkaran, yang dikenal dengan percepatan sentripetal yang besarnya:

$$a_s = \frac{v^2}{R} \quad (2.52)$$

$$a_s = \frac{(R\omega)^2}{R}$$

$$a_s = R\omega^2 \quad (2.53)$$

Dengan besar vektor percepatan sentripetal:

$$\vec{a}_s = -R\omega^2(\hat{i}\cos\theta + \hat{j}\sin\theta) \quad (2.54)$$

Untuk vektor percepatan total dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\vec{a} = \vec{a}_T + \vec{a}_s$$

$$\vec{a} = R\alpha(-\hat{i}\sin\theta + \hat{j}\cos\theta) + (-R\omega^2(\hat{i}\cos\theta + \hat{j}\sin\theta))$$

$$\vec{a} = -\hat{i}R(\alpha \sin \theta + \omega^2 \cos \theta) + \hat{j}R(\alpha \cos \theta - \omega^2 \sin \theta) \quad (2.55)$$

Contoh:

Bulan bergerak mengelilingi bumi dengan orbit menyerupai lingkaran. Periode bulan mengitari bumi adalah 27,3 hari dengan jarak rata-rata ke bumi sejauh 240.000 mil. Tentukan (a) kecepatan orbit bulan, (b) percepatan sentripetal.

Penyelesaian:

Dari soal diketahui:

$$T = 27,3 \text{ hari} = 2,36 \times 10^6 \text{ sekon}$$

$$R = 240.000 \text{ mil} = 1,27 \times 10^9 \text{ ft}$$

Kecepatan orbit bulan

$$v = \omega R$$

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

$$v = \frac{2(3,14)}{(2,36 \times 10^6)} (1,27 \times 10^9)$$

$$v = 3380 \text{ ft/s}$$

Percepatan sentripetal

$$a_s = R\omega^2$$

$$a_s = \frac{v^2}{R}$$

$$a_s = \frac{(3380)^2}{1,27 \times 10^9} = 0,00899 \text{ ft}^2/\text{s}$$

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.
- Kristanto, Philip. 2020. *Fisika Dasar: Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Yogyakarta: Andi.

BAB 3

DINAMIKA PARTIKEL

Oleh Siti Shofiah

3.1 Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering melihat benda disekitar kita diberikan tarikan/dorongan atau tekanan. Permasalahannya adalah apakah setiap benda yang ditarik atau didorong tersebut akan selalu bergerak?.



Gambar 3.1. Sebuah benda diberikan dorongan agar dapat berpindah

Berbeda dengan statistika, dinamika berarti terdapat gerak sebagai dampak pemberian tarikan/dorongan pada suatu benda. Apabila pemberian tarikan/dorongan pada suatu benda tanpa mempermasalahkan titik tangkap gaya maka hal yang sedang dibahas berupa dinamika partikel.

3.2 Hukum Newton

Hukum Newton adalah salah satu dasar dari fisika modern dan merupakan konsep penting bagi para ilmuwan dan insinyur dalam memahami bagaimana benda bereaksi terhadap gaya.

Hukum-hukum ini pertama kali diterbitkan oleh Sir Isaac Newton pada tahun 1687 dalam buku *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*.

Hukum Newton adalah tiga hukum fisika yang menjelaskan bagaimana benda bereaksi terhadap gaya yang diterimanya. Hukum-hukum ini dikenal sebagai Hukum Pertama Newton, Hukum Kedua Newton, dan Hukum Ketiga Newton dan memiliki aplikasi penting dalam dinamika partikel. Penerapan hukum-hukum Newton dalam dinamika partikel membantu untuk memahami bagaimana gaya yang diterapkan pada partikel mempengaruhi perilakunya. Hukum-hukum ini juga membantu untuk menjelaskan bagaimana partikel bereaksi terhadap gaya-gaya lain seperti gaya gravitasi dan gaya gesekan. Dalam analisis dinamika partikel, hukum-hukum Newton digunakan untuk memprediksi perubahan posisi, kecepatan, dan arah gerak partikel yang terjadi sebagai hasil dari gaya-gaya yang diterapkan pada mereka.

3.2.1 Hukum Pertama Newton

Setiap benda tetap dalam keadaan diam atau bergerak sepanjang garis lurus dengan laju tetap, kecuali dipaksa untuk mengubah keadaan tersebut oleh gaya-gaya yang diberikan kepadanya (Bambang, 2008). Prinsip fisika yang penting dari Hukum Pertama Newton:

"Bila sebuah benda tetap dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan konstan dalam suatu kerangka acuan inersia, maka jumlah vektor dari gaya-gaya yang bekerja padanya (resultan gaya) haruslah nol"

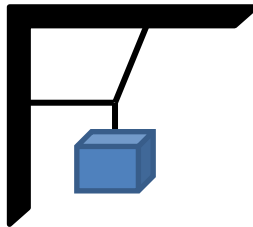
$$\vec{F} = 0$$

Jika sebuah benda berada pada keadaan setimbang pada satu kerangka acuan inersia, jumlah vektor gaya-gaya yang bekerja pada benda itu haruslah nol. Dalam bentuk komponen,

$$\sum \vec{F}_x = 0, \sum \vec{F}_y = 0$$

Diagram benda bebas berguna untuk mengidentifikasi gaya-gaya yang bekerja pada benda yang ditinjau. Berikut beberapa contoh penerapan hukum pertama newton;

- Kesetimbangan 1 Dimensi, Untuk menganalisa sebuah sistem gaya 1 sumbu. Semisal Seorang pesenam memanjat seutas tali dilangit langit, dengan berat pesenam 350 N dan berat tali tambang 80 N. Analisa gaya-gayanya!
- Kesetimbangan 2 Dimensi, Untuk mencari nilai tegangan setiap tali dimana benda disajikan seperti pada gambar.



Gambar 3.2. Sebuah benda diikatkan pada 3 tali

- Bidang miring, pada penerapan seperti sebuah mobil yang berada pada kondisi diam diatas truck yang dimiringkan untuk dipindahkan ke sebuah trailer pengangkut mobil.
- Nilai tegangan katrol tanpa gesekan.

3.2.2 Hukum Kedua Newton

Percepatan suatu benda berbanding lurus dengan gaya total bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Arah percepatan sama dengan arah gaya total yang bekerja padanya.

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

Berikut beberapa contoh penerapan hukum kedua newton;

- Untuk mengetahui percepatan apabila benda bermassa tertentu sepanjang sumbu-x.
- Tegangan pada sebuah elevator dimana elevator tersebut akan bergerak disepanjang sumbu-y.

c. Berat semu dalam elevator.

3.2.3 Hukum Ketiga Newton

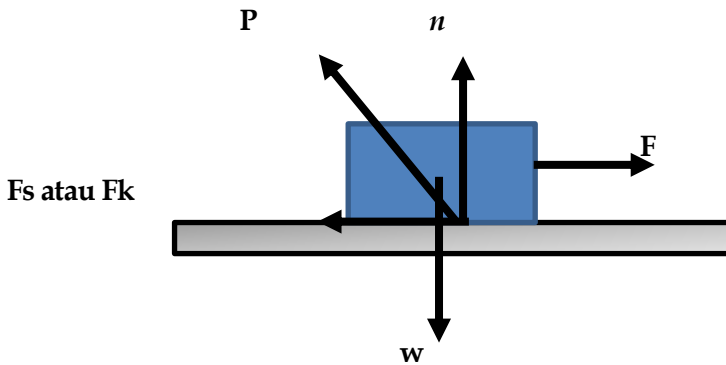
Setiap gaya selalu muncul berpasangan yang satu disebut aksi dan yang lain disebut reaksi, sedemikian rupa sehingga aksi=reaksi. Pemberian penamaan aksi atau reaksi tidaklah penting, bebas dalam memilih asalkan:

- a. Sama besar,
- b. Arah berlawanan, dan
- c. Bekerja pada benda yang berlainan
- d. Sebagai sifat tambahan yaitu terletak dalam satu garis lurus

$$\vec{F}_{aksi} = -\vec{F}_{reaksi}$$

3.3 Gaya Gesekan Kinetik dan Statik

Ketika suatu benda diam atau meluncur pada suatu permukaan, kita dapat menyatakan gaya kontak yang diberikan oleh permukaan pada benda yang tegak lurus dan sejajar dengan permukaan. Komponen vektor yang sejajar dengan permukaan dikenal sebagai gaya gesekan. Terdapat 2 jenis gaya gesekan yaitu gaya gesekan statis dan gaya gesekan kinetik.



Gambar 3.3. Gerak benda dengan pemberian gaya gesek statis atau gesek kinetik

Gaya gesek statis adalah gaya yang dimiliki oleh benda dalam keadaan diam.

$$\vec{f}_s = \mu_s N$$

Sedangkan, gaya gesek kinetik adalah gaya yang dimiliki oleh benda dalam keadaan bergerak.

$$\vec{f}_k = \mu_k N$$

Untuk nilai koefisien statis atau kinetik suatu bahan dapat dilihat pada tabel.

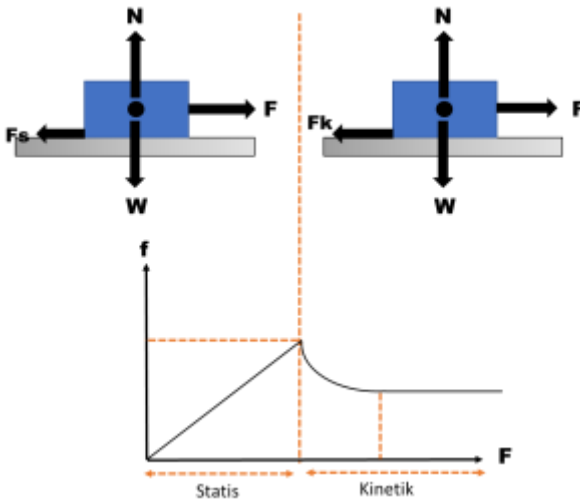
Tabel 3.1. Nilai koefisien gesek bahan

Bahan	Statik, μ_s	Kinetik, μ_k
Baja pada baja	0,74	0,57
Alumunium pada baja	0,61	0,47
Tembaga pada baja	0,53	0,36
Kuningan pada baja	0,51	0,44
Seng pada besi cor	0,85	0,21
Tembaga pada besi cor	1,05	0,29

Bahan	Statik, μ_s	Kinetik, μ_k
Kaca pada kaca	0,94	0,4
Tembaga pada kaca	0,68	0,53
Teflon pada teflon	0,04	0,04
Teflon pada baja	0,04	0,04
Karet pada beton (kering)	1,0	0,8
Karet pada beton (basah)	0,30	0,25

Sumber: young, dkk, 2006

Kemungkinan-kemungkin gerak benda ketika diberikan gaya gesek statis atau kinetik.



Gambar 3.4. Hubungan besar gaya terhadap nilai gesekannya pada pemberian koefisien gaya statis dan kinetik

Sebuah benda yang tadinya tidak ada gaya, diberikan koefisein gaya statis tertentu dimana gaya lebih besar dari gaya gesek statisnya maka benda dalam keadaan diamnya. Ketika sebanding baru akan meluncur, jika diberikan gaya kinetik maka benda tersebut sedang meluncur.

3.4 Interaksi Partikel

Interaksi Partikel adalah bagaimana partikel bereaksi terhadap interaksi satu sama lain. Ada tiga jenis interaksi partikel yang penting untuk dipahami: interaksi elektrostatis, interaksi magnetik, dan interaksi nuklir.

- a. **Interaksi Elektrostatis:** Interaksi elektrostatis adalah gaya yang terjadi antara partikel yang memiliki muatan listrik. Partikel dengan muatan listrik yang sama akan saling menolak, sedangkan partikel dengan muatan yang berbeda akan saling tarik. Gaya elektrostatis ini dapat dipengaruhi oleh jarak antar partikel dan besar muatan partikel. Gaya elektrostatis dapat didefinisikan sebagai gaya antar partikel yang memiliki muatan listrik, seperti elektron dan proton. Gaya ini menyebabkan partikel memiliki energi potensial, dan gaya elektrostatis akan mempengaruhi gerak partikel. Gaya elektrostatis dapat berperan dalam berbagai proses, seperti kondensasi gas menjadi cairan atau padatan, dan pengikatan ion dan molekul. Gaya elektrostatis juga berperan dalam proses biologi, seperti pembentukan dan stabilitas struktur protein dan asam nukleat.
- b. **Interaksi Magnetik:** Interaksi magnetik terjadi antara partikel yang memiliki muatan listrik yang bergerak. Muatan listrik yang bergerak akan menciptakan medan magnetik, dan partikel lain yang memiliki muatan listrik juga akan terpengaruh oleh medan magnetik ini. Gaya magnetik dapat mengubah arah atau kecepatan partikel yang memiliki muatan listrik. Interaksi magnetik juga dapat terjadi antara dua benda magnetik. Jika dua benda magnetik berdekatan, mereka akan saling menarik atau memukul, tergantung pada arah dan polaritas medan magnetik. Ini adalah prinsip dasar dari alat-alat seperti

magnet, kompas, dan generator listrik. Interaksi magnetik juga memainkan peran penting dalam fenomena seperti gelombang elektromagnetik dan interaksi antar partikel dalam reaksi nuklir. Interaksi magnetik dalam lingkup mikroskopik juga merupakan bagian dari teori kuantum mekanik.

- c. **Interaksi Nuklir:** Interaksi nuklir adalah gaya yang terjadi antara partikel nuklir, seperti proton dan neutron. Interaksi nuklir menyebabkan partikel nuklir membentuk inti atom dan mempertahankan stabilitas inti atom. Interaksi nuklir sangat kuat dan menentukan sifat-sifat dasar inti atom, seperti masa dan muatan. Interaksi nuklir terjadi karena gaya nuklir strong, yang merupakan salah satu dari tiga gaya fundamental dalam fisika. Gaya nuklir strong bertanggung jawab untuk menyatukan proton dan neutron dalam inti atom dan mempertahankan stabilitas inti atom. Interaksi nuklir juga memainkan peran penting dalam proses-proses alam seperti fusi nuklir dan fisi nuklir. Dalam fusi nuklir, beberapa partikel nuklir menyatu menjadi partikel yang lebih besar, yang membentuk bahan bakar bagi bintang. Dalam fisi nuklir, inti atom terpecah menjadi inti atom yang lebih kecil, menghasilkan energi yang sangat besar.

3.5 Aplikasi

Dinamika partikel memiliki banyak aplikasi dalam berbagai bidang, seperti fisika, kimia, dan teknik. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi dinamika partikel:

- a. **Fisika:** Dalam fisika, dinamika partikel digunakan untuk memahami gerak partikel, baik partikel yang diam maupun partikel yang bergerak. Ini juga membantu dalam memahami fenomena seperti fluks partikel, distribusi

- energi partikel, dan interaksi antar partikel. Dalam bidang fisika, dinamika partikel memegang peran penting dalam berbagai hal, mulai dari memahami proses alam yang terjadi di alam semesta hingga membuat peralatan dan teknologi yang memanfaatkan gerak partikel. Salah satu aplikasi dari dinamika partikel dalam fisika adalah pada proses fisika partikel. Proses ini melibatkan interaksi antara partikel, baik interaksi elektrostatis, interaksi magnetik, atau interaksi nuklir, dan mempelajari bagaimana partikel bereaksi satu sama lain. Dalam fisika teoretis, dinamika partikel juga memainkan peran penting dalam memahami bagaimana alam semesta berkembang. Dalam konteks ini, dinamika partikel digunakan untuk mempelajari interaksi antar partikel dan menjelaskan bagaimana partikel bereaksi satu sama lain dalam konteks alam semesta. Dalam hal ini, dinamika partikel juga membantu memahami fenomena alam seperti black holes, neutron stars, dan proses penuaan bintang. Selain itu, dinamika partikel juga diterapkan dalam fisika terapan, seperti dalam pembuatan peralatan medis, peralatan industri, dan peralatan militer. Dalam hal ini, dinamika partikel membantu memahami bagaimana partikel bereaksi satu sama lain dan memanfaatkan interaksi tersebut untuk membuat peralatan yang efisien dan efektif.
- b. Kimia: Dalam kimia, dinamika partikel digunakan untuk memahami proses kimia dan reaksi kimia. Ini membantu kimiawan memahami bagaimana partikel berinteraksi dan bagaimana proses kimia dapat berubah dan terkontrol. Dalam bidang kimia, dinamika partikel memiliki banyak aplikasi. Salah satu aplikasinya adalah dalam memahami reaksi kimia. Reaksi kimia adalah interaksi antar partikel, seperti ion atau molekul, yang menghasilkan produk baru. Dalam memahami reaksi kimia, konsep dinamika partikel

membantu untuk memahami mekanisme reaksi dan menentukan energi yang dibutuhkan untuk memulai dan menyelesaikan reaksi. Dinamika partikel juga bermanfaat dalam memahami fase dan fenomena termodinamika. Dalam bidang kimia, fase adalah bagian dari suatu sistem yang memiliki sifat fisik yang sama. Misalnya, air dan es adalah dua fase dari air yang memiliki sifat fisik yang berbeda. Dinamika partikel membantu untuk memahami perubahan fase dan perubahan energi yang terjadi selama perubahan fase. Aplikasi dinamika partikel juga ditemukan dalam bidang kimia analitik. Dalam kimia analitik, dinamika partikel membantu untuk menentukan komposisi suatu sampel dengan menganalisis interaksi antar partikel dalam sampel. Metode seperti spektroskopi dan elektromikroprobes menggunakan prinsip dinamika partikel untuk menentukan komposisi suatu sampel.

- c. Teknik: Dalam teknik, dinamika partikel digunakan dalam berbagai aplikasi seperti perancangan mesin, perancangan sistem pengendalian, dan perancangan sistem transportasi. Ini juga digunakan dalam proses industri seperti proses pembuatan, proses pengolahan, dan proses pemurnian. Dalam bidang teknik, dinamika partikel memiliki banyak aplikasi. Salah satu aplikasinya adalah dalam sistem mekanik, seperti sistem transmisi dan sistem suspensi. Dalam sistem transmisi, dinamika partikel digunakan untuk memahami bagaimana gaya bekerja pada roda gigi dan bagaimana gaya tersebut diteruskan dari satu roda gigi ke roda gigi lainnya. Dalam sistem suspensi, dinamika partikel digunakan untuk memahami bagaimana gaya bekerja pada komponen suspensi seperti lengan ayun dan coil spring dan bagaimana komponen tersebut mempengaruhi kenyamanan dan stabilitas kendaraan. Dinamika partikel juga penting dalam bidang rekayasa

mekanik dan aerospace. Dalam rekayasa mekanik, dinamika partikel digunakan untuk memahami bagaimana suatu sistem mekanik bekerja dan bagaimana sistem tersebut dapat ditingkatkan untuk meningkatkan kinerjanya. Dalam aerospace, dinamika partikel digunakan untuk memahami bagaimana pesawat terbang bergerak melalui udara dan bagaimana gaya yang bekerja pada pesawat terbang dapat dikendalikan untuk mencapai tujuan yang ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Murdaka Eka Jati. 2008. Fisika dasar / Bambang Murdaka Eka Jati, Tri Kuntoro Priyambodo. Yogyakarta: Andi.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. 2006. Fisika universitas: sears dan zemansky jilid 1.- ed.10: V.2. Jakarta: Erlangga.
- Ilyas, S. P., Jatmiko, B., Liu, A. N. A. M. M., & Widodo, W. 2020. Buku Ajar Dinamika Partikel. Media Sains Indonesia.
- <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132309687/pendidikan/ii-dinamika-partikel.pdf>

BAB 4

KERJA DAN ENERGI

Oleh Muhammad Nasir

4.1 Pendahuluan

Pada bab 4 ini akan dibahas dua konsep penting dalam mekanika yaitu kerja dan energi. Pada prinsipnya, manusia tidak terlepas dari melakukan aktivitas atau kerja seperti menulis, berjalan, bernyanyi, naik tangga, mengayuh sepeda dan sebagainya. Agar dapat melaksanakan aktivitas atau kerja tersebut, manusia membutuhkan energi yang cukup yang diperoleh dari makanan yang dikonsumsi.

Kerja terkait erat dengan energi. Energi dibutuhkan untuk dapat melakukan kerja atau usaha. Dalam kehidupan sehari-hari, terdapat berbagai macam bentuk energi seperti energi listrik, energi mekanik, energi nuklir, energi kimia, energi termal, energi radiasi dan sebagainya (Adrianto, 2014).

Saat mobil menempuh perjalanan tertentu, lama kelamaan bahan bakar yang digunakan akan habis. Bahan bakar yang berupa energi kimia ini diubah menjadi energi mekanik yang digunakan oleh mesin mobil untuk memindahkan posisi mobil (melakukan kerja). Posisi mobil dapat mengalami perpindahan karena mesin memberikan gaya (Abdullah, 2016).

4.2 Kerja

Istilah kerja dalam kehidupan sehari-hari memiliki esensi makna yang berbeda dengan kerja yang digunakan dalam sains. Dalam kehidupan sehari-hari, aktivitas yang melibatkan fisik maupun mental dapat dikategorikan sebagai kerja. Manusia tidak

terlepas dari melakukan aktivitas atau kerja seperti menulis, berjalan, bernyanyi, naik tangga, mengayuh sepeda dan sebagainya.



Gambar 4.1. Aktivitas mengayuh sepeda
(Sumber: sidoarjoneews.id)

Dalam fisika, kerja selalu berkaitan dengan dua hal yaitu gaya dan perpindahan (Tipler, 1991). Gaya dapat berupa tarikan atau dorongan yang diberikan kepada benda, sedangkan perpindahan merupakan besar perubahan posisi benda selama bergerak.

4.2.1 Kerja oleh Gaya yang Konstan

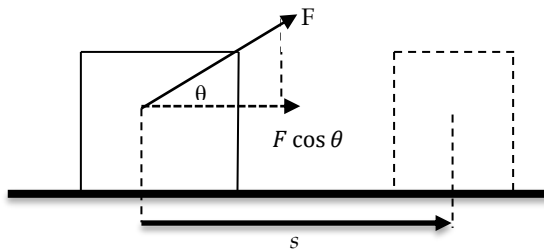
Ketika pada sebuah benda bekerja suatu gaya F yang konstan, benda itu akan bergerak dalam arah gaya yang bekerja dan menyebabkan terjadinya perpindahan sejauh s . Dengan demikian, kerja W yang dilakukan oleh gaya terhadap benda dapat didefinisikan sebagai perkalian skalar besar gaya F dengan perpindahan s yang secara matematis dapat ditulis menjadi

$$W = F \cdot s \quad (4.1)$$

dengan kerja W dihitung dalam satuan Joule. Jika gaya yang bekerja pada benda tidak searah dengan arah gerak benda (Gambar 4.1), maka kerja yang dilakukan terhadap benda merupakan perkalian komponen gaya ke arah gerak benda dengan besar perpindahan benda tersebut. Secara matematis, dapat ditulis menjadi

$$W = F \cos \theta \cdot s \quad (4.2)$$

dengan θ merupakan sudut yang dibentuk oleh gaya F dan komponen gaya ke arah gerak benda.



Gambar 4.2. Kerja oleh gaya yang tidak searah gerak benda

Kerja merupakan besaran skalar sehingga jika terdapat beberapa gaya yang mempengaruhi gerakan benda, maka kerja totalnya adalah penjumlahan skalar dari setiap kerja atau dapat ditulis sebagai

$$W_t = W_1 + W_2 + W_3 + \dots \quad (4.3)$$

4.2.2 Kerja oleh Gaya yang Tidak Konstan

Dalam menganalisis kerja yang disebabkan oleh gaya yang berubah perlu dibatasi bahwa yang mengalami perubahan hanya besar gaya saja. Misalkan terdapat suatu gaya yang bervariasi terhadap posisi $F(x)$ dan arah gaya searah dengan arah gerak x maka kerja yang dilakukan oleh gaya dari posisi x_1 hingga x_2 dapat dituliskan menjadi:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F(x)dx \quad (4.4)$$

4.2.3 Kerja oleh Gaya Gesekan

Dalam penerapannya, salah satu aspek yang juga ikut menentukan kerja yang dilakukan pada suatu benda adalah gaya gesekan. Ciri khas gaya gesekan adalah memiliki arah yang selalu berlawanan dengan arah gerak benda sehingga selalu bernilai negatif dan mengurangi energi benda (Matehkolae, 2017).

Gaya gesekan terdiri dari dua jenis, yaitu gaya gesekan statis dan gaya gesekan kinetis. Gaya gesekan statis muncul saat benda belum berpindah (statis) sehingga tidak melakukan kerja. Sementara itu, gaya gesekan kinetis muncul saat benda bergerak dan mengalami perpindahan. Dengan demikian, gaya gesekan kinetis f_k melakukan kerja yang dapat ditulis sebagai

$$W = -f_k s \quad (4.5)$$

4.2.4 Efek Kerja terhadap Kelajuan Benda

Pada dasarnya, kerja yang dilakukan pada suatu benda diakibatkan oleh adanya gaya yang mengenai benda. Hukum Newton II menyatakan bahwa benda yang memperoleh gaya akan menyebabkan benda itu mengalami percepatan yang mengakibatkan terjadinya perubahan kelajuan gerak. Kita definisikan kembali bahwa kerja merupakan hasil perkalian skalar antara gaya F dan perpindahan s . Gaya F dapat dinyatakan sebagai perkalian massa benda m dan laju perubahan kecepatan (percepatan) a sehingga dapat ditulis menjadi

$$dW = \left(m \frac{dv}{dt}\right) \cdot dx \quad (4.6)$$

$$dW = m dv \cdot \frac{dx}{dt} \quad (4.7)$$

dengan mensubstitusikan $dx/dt = v$ dan menggunakan integral diperoleh

$$W = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \quad (4.8)$$

Persamaan (4.8) menjelaskan bahwa kerja yang dilakukan pada suatu benda menyebabkan benda tersebut mengalami perubahan kecepatan, misalnya dari v_1 menjadi v_2 . Laju perubahan kecepatan ini tergantung pada besar kerja yang dilakukan terhadap benda. Kerja yang menyebabkan perubahan kecepatan pada benda dapat menyebabkan kecepatan benda menjadi lebih cepat maupun lebih lambat.

4.3 Energi

Alam semesta dan seisinya sangat terkait dengan energi. Matahari merupakan sumber energi terbesar bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Energi didefinisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Pada prinsipnya, suatu benda yang memiliki energi dapat memberikan gaya pada benda lain. Dalam peristiwa ini terjadi proses transfer energi dari benda pertama ke benda kedua. Benda kedua dapat bergerak akibat sejumlah energi yang diterima sehingga dapat melakukan kerja. Hal ini menyatakan bahwa benda apa saja yang memiliki energi dapat melakukan kerja (Giancoli, 2001).

Energi yang dimiliki suatu benda diukur dalam kapasitasnya melakukan suatu kerja sehingga energi juga dinyatakan dalam satuan Joule. 1 Joule merupakan energi yang dibutuhkan untuk melakukan kerja sebesar 1 Joule. Selain itu, untuk energi tertentu seperti energi termal dapat dinyatakan dalam satuan kalori (1 kalori = 4,184 Joule). Dalam kehidupan sehari-hari, terdapat berbagai bentuk energi seperti energi listrik, energi mekanik, energi nuklir, energi kimia, energi termal, dan sebagainya.

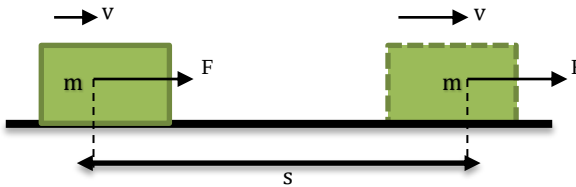
4.3.1 Energi Kinetik

Setiap benda yang bergerak akan melakukan kerja sehingga benda itu memiliki energi. Fenomena ini dapat dirasakan saat

terdapat benda yang sedang bergerak lalu ditahan maka akan terasa adanya gaya. Berkaitan dengan hal ini, setidaknya ada beberapa hal yang dapat dituliskan, yaitu:

- Semakin besar kelajuan benda akan semakin besar juga gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan benda.
- Semakin besar massa benda (untuk kelajuan yang sama) akan semakin besar juga gaya yang dibutuhkan untuk menghentikan benda.

Dua poin di atas akan mendefinisikan salah satu bentuk energi yaitu energi kinetik. Energi kinetik didefinisikan sebagai energi yang dimiliki oleh benda karena gerakanya. Energi kinetik akan semakin meningkat seiring bertambahnya kelajuan benda.



Gambar 4.3. Energi kinetik pada benda bergerak

Persamaan energi kinetik dapat diturunkan dari persamaan (4.1) dengan mengingat kembali persamaan Hukum Newton II dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Dengan memasukkan gaya $F = ma$ (Hukum Newton II) dan perpindahan $s = v^2/2a$ (GLBB) maka persamaan (4.1) dapat dituliskan menjadi

$$W = m a (v^2/2a) \quad (4.9)$$

$$W = mv^2/2 \quad (4.10)$$

Sehingga persamaan tersebut dapat diungkapkan dalam bentuk energi kinetik yaitu

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.11)$$

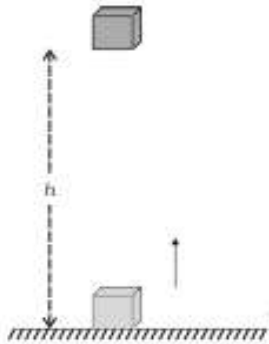
dengan m adalah massa benda yang bergerak dan v adalah kelajuan benda bergerak.

4.3.2 Energi Potensial

Jika energi kinetik merupakan energi yang dimiliki oleh benda karena geraknya, maka energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh benda karena posisinya. Pada prinsipnya, terdapat beberapa macam energi potensial diantaranya energi potensial gravitasi dan energi potensial elastik.

1. Energi Potensial Gravitasi

Energi suatu benda akan meningkat saat diangkat pada ketinggian tertentu. Hal ini disebabkan karena kerja yang dilakukan pada benda itu melawan gravitasi bumi.



Gambar 4.4. Energi potensial gravitasi pada ketinggian h
(Sumber: epathshala.nic.in)

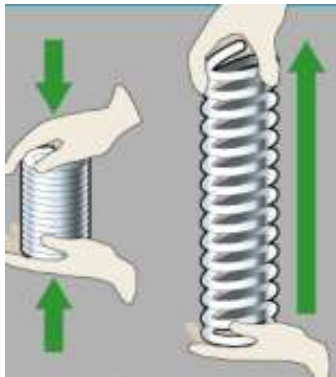
Energi potensial gravitasi benda pada suatu titik di atas tanah h didefinisikan sebagai kerja yang dilakukan untuk memindahkan benda dari permukaan tanah ke titik tersebut melawan gravitasi. Dengan menggunakan persamaan (4.1) dan memasukkan gaya $F = w = mg$ (gaya berat benda) dan perpindahan $s = h$ maka persamaan energi potensial pegas dapat ditulis sebagai

$$Ep = mgh \quad (4.12)$$

dengan g adalah percepatan gravitasi bumi ($9,807 \text{ m/s}^2$).

2. Energi Potensial Elastis

Energi potensial yang tersimpan dalam pegas atau benda serupa lainnya dikenal sebagai energi potensial elastis. Energi ini dihasilkan oleh perubahan bentuk pegas karena ditekan atau ditarik oleh suatu gaya yang lebih umum disebut deformasi (Adrianto, 2014). Energi yang disimpan dalam pegas ini tergantung pada seberapa jauh pegas ditekan atau ditarik dan tetapan pegas k yang menentukan jumlah gaya dibutuhkan untuk mengubah bentuk pegas. Kemampuan menghasilkan energi potensial elastis ini tergantung pada elastisitas bahan.



Gambar 4.5. Pegas yang ditekan dan ditarik menghasilkan energi

(Sumber: epathshala.nic.in)

Jika k merupakan tetapan pegas dan x merupakan perubahan panjang pegas saat ditekan atau ditarik, energi potensial elastis dapat ditulis sebagai

$$Ep = \frac{1}{2} kx^2 \quad (4.13)$$

4.3.3 Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan melainkan hanya dapat diubah bentuknya. Proses perubahan bentuk energi ini disebut konversi energi (Abdullah, 2016).

Penjumlahan dari energi kinetik dan energi potensial disebut energi mekanik. Ketika melakukan kerja, benda suatu benda akan memindahkan energi yang dimilikinya ke benda lain. Hal ini menyebabkan total energi yang dimiliki benda tersebut akan selalu tetap. Dengan demikian, jika tidak ada gaya non-konservatif yang bekerja pada benda maka energi mekanik benda akan selalu bernilai konstan, sehingga dapat ditulis menjadi

$$Ek + Ep = \text{konstan} \quad (4.14)$$

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2 \quad (4.15)$$

4.4 Contoh soal berkaitan dengan Kerja dan Energi

1. Sebuah kotak bermassa 5 kg ditarik dari dasar ke atas sepanjang bidang miring dengan sudut θ sejauh 300 cm. Jika puncak bidang miring memiliki tinggi 1 meter dan diasumsikan permukaan bidang licin, tentukan besar kerja yang harus dilakukan oleh gaya yang sejajar bidang miring untuk menarik kotak ke atas!

Jawab:

Soal ini melibatkan prinsip kerja pada bidang miring. Dengan menggunakan persamaan (4.1), $F = mg \sin \theta$, $\sin \theta = 1/3$, maka

$$W = mgsin \theta \cdot s$$

$$W = (5 \text{ kg}) \left(9,8 \frac{m}{s^2} \right) \left(\frac{1}{3} \right) (3 \text{ m}) = 49 \text{ Joule}$$

Jadi, kerja yang dilakukan oleh gaya yang sejajar bidang miring adalah 49 Joule.

2. Sebuah batu besar berada pada jarak 45 m di depan sebuah angkot bermassa total 800 kg yang sedang bergerak dengan kelajuan 36 km/jam. Jika gaya pengereman yang diberikan adalah 1250 N, tentukan pada jarak berapa meter dari batu angkot tersebut akan berhenti!

Jawab:

Soal ini melibatkan prinsip kerja yang mempengaruhi kelajuan gerak benda. Dengan menggunakan persamaan (4.8) mengambil $v_1 = 36 \text{ km/jam} = 10 \text{ m/s}$, $v_2 = 0$, maka

$$\begin{aligned} F \cdot s &= \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) \\ (-1250 \text{ N})s &= \frac{1}{2} (800 \text{ kg})((0 \text{ m/s})^2 - (10 \text{ m/s})^2) \\ s &= \frac{40000 \text{ kgm}^2/\text{s}^2}{1250 \text{ kgm/s}^2} = 32 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, angkot akan berhenti pada jarak $45 \text{ m} - 32 \text{ m} = 13 \text{ m}$ dari posisi batu besar.

3. Sebuah balok bermassa 1,25 kg meluncur pada permukaan licin dengan kelajuan 8,0 m/s, mendekati sebuah pegas yang terletak horizontal dengan tetapan $2,0 \times 10^3 \text{ N/m}$. Tentukan berapa cm pegas termampatkan untuk menghentikan laju balok!

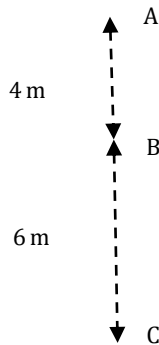
Jawab:

Soal ini melibatkan prinsip hukum kekekalan energi mekanik. Dengan menganggap $Ep_1 = 0$ (pegas belum termampatkan) dan $Ek_2 = 0$ (balok berhenti) maka persamaan (4.12) dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}mv_1^2 + 0 &= 0 + \frac{1}{2}kx^2 \\ \frac{1}{2}(1,25 \text{ kg})(8,0 \text{ m/s})^2 &= \frac{1}{2}(2000 \text{ N/m})x^2 \\ x^2 &= 0,04 \text{ m} \\ x &= 0,20 \text{ m}\end{aligned}$$

Jadi, untuk menghentikan laju balok, pegas termampatkan sejauh 0,20 m atau 20 cm.

4. Perhatikan gambar berikut ini.



Sebuah benda bermassa 250 gram bergerak ke bawah dan melalui titik A, B dan C. Jika diketahui energi kinetik benda pada titik B adalah 10 J, tentukan energi kinetik benda saat menyentuh tanah di titik C! (ambil $g = 10 \text{ m/s}^2$).

Jawab:

Soal ini melibatkan prinsip hukum kekekalan energi mekanik. Hitung terlebih dahulu energi potensial di titik B menggunakan persamaan (4.12) yaitu

$$Ep_B = mgh_B = (0,25 \text{ kg}) \left(10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (6 \text{ m}) = 15 \text{ Joule}$$

Dalam hal ini $Ep_C = 0$ (karena menyentuh tanah) sehingga dengan menggunakan persamaan (4.15) maka diperoleh

$$\begin{aligned}Ek_B + Ep_B &= Ek_C + Ep_C \\10 \text{ Joule} + 15 \text{ Joule} &= Ek_C + 0 \\Ek_C &= 25 \text{ Joule}\end{aligned}$$

Jadi, energi kinetik di titik C adalah 25 Joule.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. Fisika Dasar I. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Adrianto, R. 2014. *Fisika Untuk Universitas Jilid I*. Surabaya: Departemen Fisika Universitas Airlangga.
- Giancoli, D. C. 2001. *Fisika: Prinsip dan Aplikasi Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Matehkolae, M. J. 2017. The Prediction of the Work of Friction Force on the Arbitrary Path. *European Journal of Physics Education*, 13-18.
- Tipler, P. A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Penerbit Erlangga.

BAB 5

DINAMIKA ROTASI

Oleh La Ode Asmin

5.1 Pengantar: Kinematika Rotasi

5.1.1 Pergeseran Angular

Saat benda berputar bergerak melalui sudut θ dari posisi awal, titik massa pada benda dengan jari-jari r akan bergerak sejauh s ; s panjang busur lingkaran dengan jari-jari r , disubstitusi oleh sudut θ .

$$\theta = \frac{s}{r} \quad (5.1)$$

Karena s dan r keduanya memiliki satuan panjang, θ tidak berdimensi.

5.1.2 Kecepatan Angular

Posisi sudut rotasi berubah seiring waktu. Jika dalam suatu periode waktu Δt benda berotasi melalui perpindahan sudut $\Delta\theta$ maka kecepatan angular rata-rata untuk periode tersebut adalah

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (5.2)$$

dan kecepatan angular sesaat, ω adalah

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt} \quad (5.3)$$

Kecepatan angular memiliki satuan rad/s atau ekuivalen dengan 1/s.

5.1.3 Percepatan Angular

Laju perubahan kecepatan angular adalah percepatan sudut benda. Jika kecepatan sudut benda (sesaat) berubah sebesar $\Delta\omega$ dalam periode waktu Δt , maka percepatan sudut rata-rata untuk periode ini adalah

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (5.4)$$

dan percepatan sudut sesaat, didefinisikan sebagai

$$\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (5.5)$$

Jika θ_0 adalah perpindahan sudut awal, ω_0 adalah kecepatan sudut awal dan α adalah percepatan sudut konstan, maka kita dapatkan:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \quad (5.6)$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \quad (5.7)$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0) \quad (5.8)$$

$$\theta = \theta_0 + \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega)t \quad (5.9)$$

di mana θ dan ω adalah perpindahan sudut dan kecepatan pada waktu t . θ_0 dan ω_0 adalah nilai sudut dan kecepatan sudut pada $t = 0$.

5.1.4 Hubungan antara Besaran Anggular dan Linier

Ketika benda berputar memiliki perpindahan sudut $\Delta\theta$, maka sebuah titik pada benda dengan radius r menempuh jarak $s = r\theta$. Kecepatan sesaat diberikan oleh

$$v = \frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt} = r\omega \quad (5.10)$$

yang juga kita sebut kecepatan linier titik (atau, kecepatan tangensial), v_T) untuk membedakannya dari kecepatan sudut. Turunan waktu dari Persamaan. 5.10 memberikan percepatan linier dari titik:

$$a_T = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r\alpha \quad (5.11)$$

Di sini penting untuk membedakan percepatan tangensial dari percepatan sentripetal dalam materi gerak melingkar. Suatu titik pada roda dengan jari-jari r akan memiliki percepatan sentripetal yang diberikan oleh:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(r\omega)^2}{r} = r\omega^2 \quad (5.12)$$

Kedua komponen ini menentukan vektor percepatan suatu titik pada objek yang berputar.

5.1.5 Energi Kinetik Rotasi

Karena benda yang berputar terbuat dari banyak titik massa yang bergerak, ia memiliki energi kinetik; tetapi karena setiap titik massa memiliki kecepatan yang berbeda v rumus kita dari gerak partikel translasi, $K = \frac{1}{2}mv^2$ tidak berlaku lagi. Jika titik massa benda berotasi diberi label sebagai m_i , yang memiliki kecepatan linier individu v_i , maka energi kinetik total benda berotasi adalah

$$K_{\text{Tot}} = \sum_i \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \frac{1}{2} \sum_i m_i v_i^2$$

Jika r_i adalah jarak titik massa ke- i dari sumbu, maka $v_i = r_i \omega$ dan diperoleh:

$$K_{\text{Tot}} = \sum_i \frac{1}{2} m_i (r_i \omega)^2 = \frac{1}{2} \sum_i (m_i r_i^2) \omega^2 = \frac{1}{2} \left(\sum_i m_i r_i^2 \right) \omega^2$$

Jumlahan $\sum_i m_i r_i^2$ disebut momen inersia untuk objek yang berputar, dan biasanya dilambangkan dengan I , yang memiliki satuan $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ dalam sistem SI. Dengan penyederhanaan ini, persamaan terakhir kita menjadi

$$K_{\text{Tot}} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (513)$$

5.2 Torka dan Momentum Angular

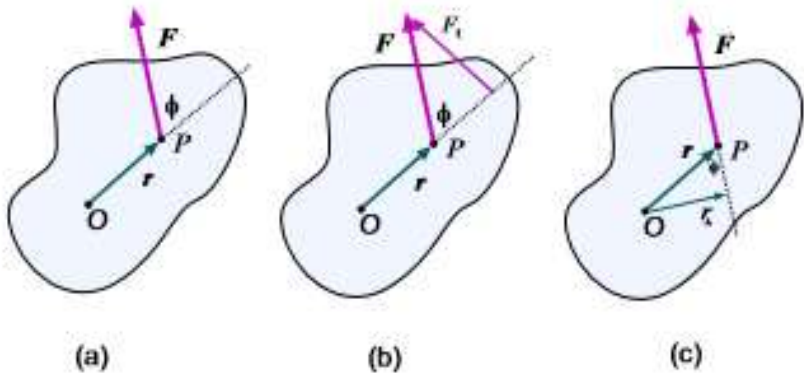
5.2.1 Torka

Kita dapat memberikan percepatan pada benda yang berputar dengan mengerahkan gaya padanya pada titik tertentu. Namun ternyata gaya bukanlah besaran yang paling sederhana untuk digunakan dalam mempelajari rotasi; melainkan torka yang diberikan oleh gaya. Misalkan gaya $\vec{F}$ (yang arahnya terletak pada bidang rotasi) bekerja di titik P , $\vec{r}$ adalah vector dari titik O ke titik P , dan sudut (terkecil) antara $\vec{r}$ dan $\vec{F}$ adalah φ . Torka di sekitar titik O karena gaya $\vec{F}$ bekerja pada titik P didefinisikan sebagai

$$\tau = \vec{r} \times \vec{F} \quad (5.14)$$

Besarnya torka yang diberikan pada benda oleh gaya ini diberikan oleh $|\tau| = rF \sin \varphi$.

Sataun SI untuk torka adalah [N.m]. Persamaan ini dapat ditulis sebagai $\tau = r(F \sin \varphi) = rF_{\perp}$, di mana $F_{\perp} = F \sin \varphi$ adalah komponen gaya yang tegak lurus terhadap $\vec{r}$, atau $\tau = (r \sin \varphi)F = r_{\perp}F$, di mana $r_{\perp} = r \sin \varphi$ adalah jarak antara sumbu dan garis yang kita dapatkan dengan "memperpanjang" vektor gaya menjadi garis yang sering disebut garis aksi. Jarak $r_{\perp}$ disebut lengan momen gaya $\vec{F}$.



Gambar 5.1. (a) Benda tegar berotasi di sekitar titik O . Sebuah gaya F diberikan pada titik P . (b) Torka τ dapat dipandang sebagai hasil kali jarak r dan komponen tangensial gaya, $F_{\perp}$. (c) Torka τ juga dapat dipandang sebagai hasil kali gaya F dan jarak $r_{\perp}$ (sering disebut lengan momen, atau lengan tuas).

Torka akan positif jika gaya memberikan putaran berlawanan arah jarum jam dan negatif jika gaya memberikan putaran searah jarum jam. Apa yang kita sebut τ di sini sebenarnya adalah komponen vektor torka sepanjang sumbu rotasi.

Ketika sejumlah gaya individu bekerja pada benda yang berputar, kita dapat menghitung torka total yaitu

$$\tau_{\text{Tot}} = \sum \tau_i \quad (5.15)$$

Torka dihitung sehubungan dengan satu titik. Mengubah titik dapat mengubah besar dan arah torka.

5.2.2 Momentum Angular

Jika sebuah partikel memiliki vektor posisi $\vec{r}$ dan momentum linier $\vec{p}$, keduanya relatif terhadap titik asal O , maka momentum angular partikel tersebut (relatif terhadap titik asal) ditentukan oleh

$$L = \vec{r} \times \vec{p} = m(\vec{r} \times \vec{v}) \quad (5.16)$$

Karena $\vec{p} = m\vec{v}$, magnitudo momentum angular diberikan oleh

$$\begin{aligned} L &= |\vec{r} \times \vec{p}| \\ &= |\vec{r}| \cdot |\vec{p}| \sin \varphi \\ &= rmv \sin \varphi \end{aligned} \quad (5.17)$$

Satuan SI momentum angular adalah $\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$. Persamaan (5.17) dapat ditulis sebagai $L = r(p \sin \varphi) = rp_{\perp}$, di mana $p_{\perp} = p \sin \varphi$, atau $L = (r \sin \varphi)p = r_{\perp}p$. Arah momentum angular mengikuti aturan tangan kanan. Momentum angular $\vec{L}$ bernilai positif jika berlawanan arah jarum jam dan bernilai negative jika searah jarum jam. Arah $\vec{L}$ selalu tegak lurus terhadap bidang yang dibentuk oleh $\vec{r}$ dan $\vec{p}$.

5.2.3 Hubungan antara Torka dan Momentum Angular

Hukum kedua Newton, dituliskan dalam bentuk

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}, \quad (5.18)$$

dan torka adalah

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \vec{r} \times \frac{d\vec{p}}{dt}. \quad (5.19)$$

Dengan menggunakan derivative perkalian silang, persamaan ini dapat dituliskan menjadi

$$\begin{aligned} \vec{\tau} &= \frac{d}{dt} (\vec{r} \times \vec{p}) - \frac{d\vec{r}}{dt} \times \vec{p} \\ &= \frac{d\vec{L}}{dt} - \vec{v} \times \vec{p}. \end{aligned} \quad (5.20)$$

Karena $\vec{p} = m\vec{v}$ dan perkalian vector dari vector yang parallel adalah nol, maka suku kedua pada ruas kanan persamaan (5.20), $\vec{v} \times \vec{p} = 0$. Jadi torka dituliskan sebagai

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}. \quad (5.21)$$

Jadi laju perubahan momentum angular dari sebuah partikel sama dengan torka yang bekerja pada partikel itu. Ini berlaku untuk kasus dimana keduanya ($\vec{\tau}$ dan $\vec{L}$) berkerja terhadap titik asal yang sama.

5.3 Sistem Partikel

Untuk system partikel, momentum angular diberikan oleh jumlah dari momentum angular partikel individu yang ditambahkan secara vector. Misalkan $\vec{L}_1, \vec{L}_2, \vec{L}_3, \dots, \vec{L}_n$ masing-masing adalah momentum sudut tiap titik, maka momentum angular system adalah

$$\vec{L} = \vec{L}_1 + \vec{L}_2 + \vec{L}_3 + \dots + \vec{L}_n = \sum_{i=1}^n \vec{L}_i = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{p}_i. \quad (5.22)$$

dan torka total pada system partikel merupakan sumbangan dari torka internal (karena gaya antar partikel di dalam sistem) dan torka eksternal (karena gaya pada partikel dari benda di luar sistem). Berdasarkan hukum ketiga Newton, karena gaya-gaya di dalam sistem saling berpasangan maka menghasilkan torka menjadi nol. Sehingga torka yang dapat mengubah momentum sudut sistem adalah torka eksternal yang bekerja pada sistem.

$$\vec{\tau} = \sum_{i=1}^n \tau_{i,\text{eks}} = \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{F}_{i,\text{eks}}. \quad (5.23)$$

Torka eksternal total yang bekerja pada sistem partikel sama dengan laju perubahan momentum sudut total sistem $\vec{L}$. Untuk system partikel,

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{d\vec{L}_i}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{\tau}_{net,i} \quad (5.24)$$

Atau

$$\begin{aligned} \vec{\tau} &= \sum_{i=1}^n \vec{r}_i \times \vec{F}_{i,eks} \\ &= \frac{d}{dt} \left[\sum_{i=1}^n m_i (\vec{r}_i \times \vec{v}_i) \right] \\ &= \frac{d}{dt} \left[\sum_{i=1}^n \vec{L}_i \right] \\ &= \frac{d\vec{L}}{dt} \end{aligned} \quad (5.25)$$

Dengan kata lain, laju waktu perubahan momentum sudut total di sekitar titik tertentu, untuk sistem partikel, sama dengan jumlah torka eksternal di sekitar titik tersebut dan bekerja pada system.

5.4 Konservasi Momentum Angular

Kita tahu bahwa bentuk umum hukum II Newton untuk gerak translasi adalah

$$\sum \vec{F}_{luar} = \frac{d\vec{P}}{dt}, \quad (5.26)$$

dengan $\sum \vec{F}_{luar}$ dan $\vec{P}$ adalah total gaya luar yang bekerja pada sistem partikel dan momentum linier total sistem. Jika sistem memiliki massa total M dan pusat massa p.m. bergerak dengan kecepatan $\vec{v}_{p.m.}$, maka

$$\vec{P} = M\vec{v}_{p.m.} \quad (5.27)$$

Jika gaya $\sum \vec{F}_{\text{luar}} = 0$, maka $\vec{P}$ konservatif, dan $\vec{v}_{\text{p.m.}}$ konstan, dan untuk gerak rotasional, dituliskan sebagai

$$\sum \vec{\tau}_{\text{luar}} = \frac{d\vec{L}}{dt}.$$

dengan $\sum \vec{\tau}_{\text{luar}}$ dan $\vec{L}$ adalah total torka luar yang bekerja pada sistem partikel dan momentum angular total sistem. Untuk sistem yang terisolasi, jika $\sum \vec{\tau}_{\text{luar}} = 0$, maka $\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$, dan $\vec{L}$ konstan. Karena itu,

$$\vec{L}_{\text{awal}} = \vec{L}_{\text{akhir}}. \quad (5.28)$$

Persamaan ini dikenal sebagai konservasi momentum angular. Dalam bentuk pernyataan kita bisa menyatakan bahwa “jika torka total luar bekerja pada sebuah sistem adalah nol yang dalam hal ini kasus sistem terisolasi, besar dan arah momentum angular total pada sistem akan tetap konstan).

5.5 Rotasi di Sekitar Sumbu tetap

Benda tegar adalah sistem partikel yang posisinya relatif tetap satu sama lain. Momentum angular total ada benda tegar adalah:

$$L = (\sum_i m_i r_i^2) \omega, \quad (5.29)$$

dengan asumsi bahwa benda berotasi pada sumbu tetap dengan kecepatan angular ω . Kuantitas yang didalam kurung pada persamaan (5.29) adalah

$$I = \sum_i m_i r_i^2, \quad (5.30)$$

yang disebut sebagai momen inersia dari benda. Sehingga, momentum angular dituliskan menjadi

$$L = I\omega. \quad (5.31)$$

Karena sumbu rotasinya tetap, maka torka diberikan oleh

$$\tau = \frac{dL}{dt} = I \frac{d\omega}{dt} = I\alpha, \quad (5.32)$$

dimana $\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ adalah percepatan angular.

5.6 Gerak Menggelinding

Gerak menggelinding merupakan gerak bidang umum dari benda tegar. Gerak menggelinding dapat dianggap sebagai kombinasi dari gerak translasi murni sejajar dengan bidang tetap dan gerak rotasi murni disekitar sumbu yang tegak lurus terhadap bidang itu. Gerak suatu benda (atau sistem partikel) selalu dapat dianggap sebagai kombinasi gerak benda relatif terhadap pusat massanya ditambah gerak relatif pusat massanya terhadap suatu titik asal O . Energi kinetik suatu benda relatif terhadap titik asalnya adalah

$$K = \frac{1}{2} \sum_i m_i v_i'^2 + \frac{1}{2} M v_{pm}^2, \quad (5.33)$$

dimana v_{pm} adalah kecepatan pusat massa benda relatif terhadap titik asal O , m_i adalah masa partikel ke- i , dan v_i' adalah kecepatan linier partikel ke- i relatif terhadap pusat massa. Untuk gerak bidang benda tegar, $v_i' = \omega r_i'$ (r_i' adalah jarak tegak lurus dari partikel ke- i terhadap pusat massa sumbu), sehingga

$$K = \frac{1}{2} (\sum_i m_i r_i'^2) \omega^2 + \frac{1}{2} M v_{pm}^2. \quad (5.34)$$

Karena $(\sum_i m_i r_i'^2) = I_{pm}$, maka energi kinetik gerak menggelinding diperoleh

$$K = \frac{1}{2} I_{pm} \omega^2 + \frac{1}{2} M v_{pm}^2. \quad (5.35)$$

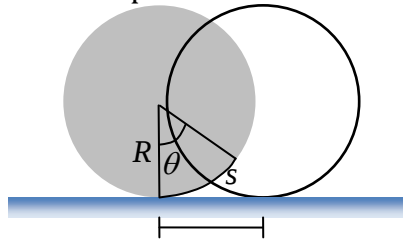
Jadi, energi kinetik total benda yang menggelinding adalah jumlah energi kinetik translasi pusat massanya dan energi kinetik rotasi di sekitar pusat massanya.

5.7 Gerak Menggelinding Tanpa Tergelincir

Ketika sebuah benda tegar bulat dan simetris (seperti silinder atau bola seragam) dengan jari-jari R menggelinding tanpa tergelincir pada permukaan horizontal, jarak yang ditempuh pusatnya (ketika roda berputar dengan sudut θ) sama dengan panjang busur melalui mana sebuah titik di tepi bergerak

$$\Delta x_{\text{pm}} = s = R\theta \quad (5.36)$$

Besaran ini diilustrasikan pada Gambar. 5.3.



Gambar 5.2. Ilustrasi hubungan antaras, R dan θ untuk benda yang menggelinding.

Kecepatan pusat massa benda menggelinding, $v_{\text{pm}} = \frac{dx_{\text{pm}}}{dt}$ dan kecepatan sudutnya dihubungkan dengan

$$v_{\text{pm}} = R\omega \quad (5.37)$$

dan besarnya percepatan pusat massa berhubungan dengan percepatan sudut yaitu

$$a_{\text{pm}} = R\alpha \quad (5.38)$$

Energi kinetik benda menggelinding tanpa slip adalah

$$K = \frac{1}{2}I_{\text{PM}}\omega^2 + \frac{1}{2}MR^2\omega^2 \quad (5.39)$$

Suku pertama di sisi kanan menyatakan energi kinetik rotasi benda terhadap sumbu simetrinya; suku kedua mewakili energi kinetik yang akan dimiliki benda jika bergerak dengan kecepatan v_{PM} tanpa berputar (yaitu hanya gerak translasi).

Kita dapat mengingat relasi ini secara sederhana sebagai: $K_{\text{gulir}} = K_{\text{Rotasi}} + K_{\text{Translasi}}$. Ketika sebuah roda menggelinding tanpa selip mungkin ada gaya gesek permukaan pada roda. Jika demikian, itu adalah gaya gesekan statis (yang tidak bekerja) dan tergantung pada situasinya, itu bisa mengarah ke arah yang sama atau berlawanan dengan gerakan pusat massa; dalam semua kasus itu cenderung menentang kecenderungan roda untuk meluncur.

Gerak Menggelinding Pada Bidang Miring

Sebuah silinder padat bermassa m dan jari-jari r , menggelinding menuruni bidang miring tanpa tergelincir, mulai dari keadaan diam. Carilah percepatan silinder padat.

Karena tidak ada selip, maka $f_s \leq \mu_s N$. Komponen gaya F dalam arah x dan y , $\sum F_x = ma_x$ dan $\sum F_y = ma_y$. Berdasarkan gambar diagram bebas, diperoleh

$$mg \sin \theta - f_s = m(a_{\text{pm}})_x; N - mg \cos \theta = 0$$

dari kedua persamaan ini diperoleh

$$(a_{\text{pm}})_x = g(\sin \theta - \mu_s \cos \theta)$$

Hukum kedua newton untuk rotasi,

$$\sum \tau_{\text{pm}} = I_{\text{pm}} \alpha$$

Torka dihitung disekitar sumbu melalui pusat massa silinder.

Torka oleh gaya gesek adalah

$$f_s r = I_{\text{pm}} \alpha$$

percepatan linier yang berhubungan dengan percepatan angular adalah

$$(a_{\text{pm}})_x = r \alpha$$

$$a_{\text{pm}} = g \sin \theta - \frac{f_s}{m} = g \sin \theta - \frac{I_{\text{pm}} a_{\text{pm}}}{mr^2} = \frac{mg \sin \theta}{m + \frac{I_{\text{pm}}}{r^2}}$$

Karena momen inersia silinder padat adalah $I_{pm} = \frac{1}{2}mr^2$, maka

$$a_{pm} = \frac{2}{3}g \sin \theta$$

Percepatan silinder adalah

$$a = \frac{a_{pm}}{r} = \frac{2}{3r}g \sin \theta$$

5.8 Penyelesaian Soal

Soal 1:

Sebuah roda mulai berputar dari keadaan diam dengan percepatan sudut konstan. Ia mencapai kecepatan sudut 10,0 rad/s dalam 2,00 detik. (i) Tentukan besarnya percepatan sudut. (ii) Tentukan sudut (dalam radian) yang dilaluinya saat berotasi.

Penyelesaian 1:

- (i) Dengan menggunakan persamaan (5.6),

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

Karena roda berputar dari keadaan diam, maka $\omega_0 = 0$, sehingga

$$\omega = \alpha t$$

Besar percepatan sudut α diperoleh

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{10 \text{ rad/s}}{2,00 \text{ s}} = 5 \text{ rad/s}^2$$

- (ii) Untuk menentukan pergeseran angular, kita dapat menggunakan persamaan (5.7),

$$\theta - \theta_0 = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2}(5 \text{ rad/s}^2)(2,00 \text{ s})^2 = 10 \text{ rad}$$

Soal 2:

Jika posisi gerak benda diberikan sebagai $\theta = (4,00 + 8,00t + 2,00t^2)$ rad. Hitunglah posisi sudut $\theta(t)$, kecepatan sudut $\omega(t)$, dan percepatan sudut $\alpha(t)$ (a) pada $t = 0$ dan (b) pada $t = 2,00 \text{ s}$

Penyelesaian 2:

Untuk mencari nilai posisi sudut diperoleh dengan melakukan substitusi nilai waktu t dalam fungsi,

$$\theta(t = 2,00) = (4,00 + 8,00(2,00) + 2,00(2,00)^2)\text{rad} = 28 \text{ rad}$$

Untuk mencari $\omega(t)$ dan $\alpha(t)$ digunakan persamaan (5.3) dan (5.5),

$$\omega(t = 2,00) = \frac{d\theta}{dt} = 8,00 + 4,00(2,00) = 16 \text{ rad/s}$$

$$\alpha(t = 2,00) = \frac{d\omega}{dt} = 4 \text{ rad/s}^2$$

Soal 3:

Sebuah disket bermassa $M = 0,3 \text{ kg}$ dan jari-jari $R = 6 \text{ cm}$ dipaang secara koaksial ke poros tak bermassa dari sebuah motor listrik. Motor bekerja dengan kemampuan 900 rpm dan menghasilkan 2 hp. Carilah:

- Kecepatan angular (dalam satuan SI)
- Energi kinetik rotasi disket
- Torka yang dihasilkan motor

Penyelesaian 3:

- Kecepatan angular (dalam satuan SI)

$$\begin{aligned}\omega &= \left(900 \frac{\text{rotasi}}{\text{menit}}\right) \left(\frac{1 \text{ menit}}{60 \text{ detik}}\right) \left(2\pi \frac{\text{rad}}{\text{rotasi}}\right) \\ &= 94,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\end{aligned}$$

- Energi kinetik rotasi disket

$$K_{\text{rotasi}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Kita harus mencari terlebih dahulu momen inersi disket,

$$\begin{aligned}I &= \frac{1}{2} M R^2 \\ &= \frac{1}{2} (0,3 \text{ kg})(0,06 \text{ m})^2\end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} (0,018 \text{ kg} \cdot \text{m}^2)$$

$$= 0,009 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Jadi, energi kinetik rotasi disket adalah

$$K_{\text{rotasi}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$= \frac{1}{2} (0,009 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) \left(94,2 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} (0,009 \text{ kg} \cdot \text{m}^2) \left(8.873,64 \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2} \right)$$

$$= 1,11 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \frac{\text{rad}^2}{\text{s}^2}$$

$$= 1,11 \text{ J}$$

c. Torka yang dihasilkan motor

Diketahui bahwa 1 hp = 746 W, jadi

$$P = 2 \times (746 \text{ W}) = 1.492 \text{ W}$$

Karena $P = \tau \omega$, maka

$$\tau = \frac{P}{\omega} = \frac{1.492 \text{ W}}{94,2 \text{ rad/s}} = 15,8 \text{ m} \cdot \text{N}$$

Soal 4:

Sebuah mesin atwood yang terdiri dari dua massa $m_1 = 4 \text{ kg}$ dan $m_2 = 6 \text{ kg}$, dihubungkan dengan tali melewati katrol berjari-jari $R = 2 \text{ cm}$ dan bergerak bebas. Momen inersia katrol disekitar porosnya adalah $I = 2 \times 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Carilah percepatan kedua massa.

Penyelesaian 4:

Karena $m_2 > m_1$, maka arah rotasi katrol adalah searah jarum jam (positif). Maka pertama kita harus menentukan $\sum \vec{\tau}_{\text{luar}}$, yaitu

$$\sum \tau_{\text{luar}} = m_2 g R - m_1 g R$$

$$= (m_2 - m_1) g R$$

Pada keadaan tertentu, yaitu ketika kecepatan dua massa adalah v , momentum angular pada kedua massa tersebut masing-masing adalah $m_2 Rv$ dan $m_1 Rv$, dan momentum angular pada katrol adalah $I\omega$. Diketahui bahwa hubungan antara v dan ω dituliskan sebagai $v = \omega R$. Jadi, momentum angular total disekitar titik O adalah

$$\begin{aligned} L &= m_1 Rv + m_2 Rv + I\omega \\ &= m_1 Rv + m_2 Rv + I \frac{v}{R} \\ &= \left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right) Rv \end{aligned}$$

Dengan menggunakan $\sum \tau_{\text{luar}} = \frac{dL}{dt}$, maka

$$\begin{aligned} \sum \tau_{\text{luar}} &= \frac{dL}{dt} \\ (m_2 - m_1)gR &= \frac{d}{dt} \left(\left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right) Rv \right) \\ (m_2 - m_1)gR &= \left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right) R \frac{dv}{dt} \end{aligned}$$

Karena $a = \frac{dv}{dt}$, maka diperoleh

$$\begin{aligned} (m_2 - m_1)gR &= \left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right) Ra \\ a &= \frac{(m_2 - m_1)gR}{\left(m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2} \right) R} \\ &= \frac{(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2 + \frac{I}{R^2}} g \end{aligned}$$

dengan memasukan nilai-nilai tiap besaran yang diketahui pada soal, maka kita adapatkan bahwa percepatan kedua massa pada sistem ini adalah

$$a = 1,87 \text{ m/s}^2$$

Soal 5:

Sebuah partikel bermassa 2 kg bergerak dengan kecepatan $\vec{v} = (-3\hat{i} + 2\hat{k})$ m/s terletak pada sumbu x di posisi $x = 5$ cm. Carilah momentum angular partikel disekitar titik asal.

Penyelesaian 5:

Momentum linier partikel adalah $\vec{p} = m\vec{v} = (-6\hat{i} + 4\hat{k})$ kg.m/s, dan $\vec{r} = 5\hat{i}$ m. Berdasarkan persamaan (5.16), maka

$$\begin{aligned}\vec{L} &= \vec{r} \times \vec{p} \\ &= \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ 5 & 0 & 0 \\ -6 & 0 & 4 \end{vmatrix} = \hat{i}(0 - 0) - \hat{j}(20 - 0) + \hat{k}(0 - 0) = -20\hat{j} \\ &\text{kg.m}^2/\text{s}.\end{aligned}$$

Soal 6:

Sebuah massa kecil m diikat dengan tali kabel dan berputar dalam lintasan melingkar diatas meja tanpa gesekan, dan ujung tali kabel lainnya kebawah melalui lubang kecil di O (di pusat). Pada keadaan awal, tegangan tali T_{awal} dan radius R_{awal} , dan kelajuan angular awal massa adalah $\omega_{\text{awal}} = 0,5$ rad/s. Ketika tali ditarik ke bawah sampai pada radius $\frac{R_{\text{awal}}}{3}$ maka tegangan tali meningkat menjadi T_{akhir} . Carilah kelajuan angular akhir pada massa.

Penyelesaian 6:

Berdasarkan konservasi momentum angular,

$$L_{\text{awal}} = L_{\text{akhir}}$$

$$I_{\text{awal}}\omega_{\text{awal}} = I_{\text{akhir}}\omega_{\text{akhir}}$$

Jika momen inersia partikel adalah $I = mR^2$, maka diperoleh

$$(mR_{\text{awal}}^2)\omega_{\text{awal}} = (mR_{\text{akhir}}^2)\omega_{\text{akhir}}$$

Maka momentum angular akhir partikel adalah

$$\omega_{\text{akhir}} = \frac{mR_{\text{awal}}^2}{mR_{\text{akhir}}^2}\omega_{\text{awal}} = \frac{R_{\text{awal}}^2}{R_{\text{akhir}}^2}\omega_{\text{awal}}$$

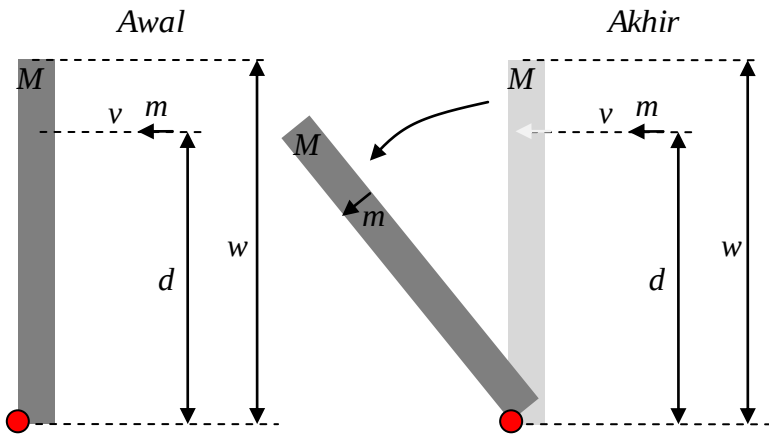
$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{R_{\text{awal}}}{R_{\text{akhir}}} \right)^2 \omega_{\text{awal}} = \left(\frac{R_{\text{awal}}}{\frac{R_{\text{awal}}}{3}} \right)^2 \omega_{\text{awal}} \\
&= (3)^2 \omega_{\text{awal}} = 9 \omega_{\text{awal}} \\
&= 9 \times 0,5 \text{ rad/s} \\
&= 4,5 \text{ rad/s}
\end{aligned}$$

Soal 7:

Sebuah peluru bermassa m ditembakkan dengan kecepatan v menuju sebuah pintu. Kecepatan peluru tegak lurus pintu dan mengenai pintu pada jarak d dari engsel pintu. Pintu bermassa M , tinggi h dan lebar w ; asumsikan bahwa pintu berayun tanpa gesekan pada engselnya. Jika pintu awalnya diam maka berapa kecepatan sudutnya setelah peluru tertanam di dalamnya.

Penyelesaian 7:

Karena tidak ada gesekan pada engsel, maka tidak ada torka eksternal terhadap engsel dan momentum sudut dilestarikan. Awalnya, tidak ada momentum sudut di pintu tetapi peluru memiliki momentum sudut, $L_i = r_{\perp} p = dm v$. Setelah peluru tertanam di pintu, $I_{\text{pintu}} = \frac{1}{3} M L^2 = \frac{1}{3} M w^2$. Momen inersia peluru setelah penyematan berasal dari momen distribusi diskrit, yaitu $I_{\text{peluru}} = \sum_i m_i r_i^2 = m d^2$.



Momentum angular akhir adalah $L_f = I_f \omega_f$, dengan $I_f = I_{\text{pintu}} + I_{\text{peluru}}$. Dari Konservasi momentum angular, $L_i = L_f$,

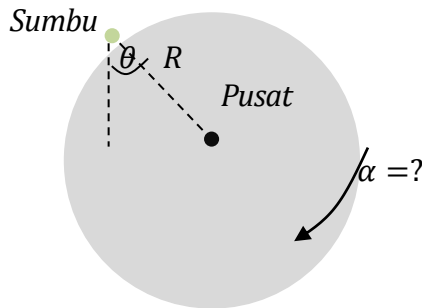
$$dmv = \left(\frac{1}{3} M w^2 + m d^2 \right) \omega_f \rightarrow \omega_f = \frac{dmv}{\frac{1}{3} M w^2 + m d^2}$$

Soal 8:

Sebuah piringan berjari-jari R berayun tanpa gesekan terhadap sumbu tegak lurus melalui pinggirnya. Berapakah percepatan sudutnya saat berayun melalui posisi di mana pusatnya berada pada sudut θ dari vertikal, seperti pada gambar?

Penyelesaian 8:

Gaya kontak ada di sumbu; gaya ini memberikan torsi nol, karena r adalah nol. Satu-satunya torsi berasal dari berat mg , yang bekerja di tengah. Sudut antara vektor radial dan gaya adalah θ , jadi kita dapat menggunakan rumus $\tau = rF \sin \theta$.



Karena arah rotasi, searah jarum jam, sebagai positif, maka torkanya positif.

$$\tau_{\text{net}} = \tau_{\text{grav}} = rF \sin \theta = Rmg \sin \theta$$

Dari teorema sumbu-sejajar, momen inersianya diberikan oleh

$$I = I_{\text{pm}} + md^2 = \frac{1}{2}mR^2 + mR^2 = \frac{3}{2}mR^2$$

Percepatan angular diperoleh dari hukum kedua rotasional,

$$\tau_{\text{net}} = I\alpha \rightarrow Rmg \sin \theta = \frac{3}{2}mR^2\alpha \rightarrow \alpha = \frac{2g}{3R} \sin \theta$$

DAFTAR PUSTAKA

- Hiqmet Kamberaj. 2019. *Classical Mechanics*. DE GRUYTER. ISBN 978-3-11-075581-7
- Alrasheed, S. 2019. Rotation of Rigid Bodies. *Advances in Science, Technology & Innovation*, 103–122. doi:10.1007/978-3-030-15195-9_7
- Hafez A. Radi dan John O. Rasmussen. 2013. *Principles of Physics For Scientists and Engineers*. Springer. ISBN 978-3-642-23026-4

BAB 6

GETARAN

Oleh Fera Annisa

6.1 Pendahuluan

Gerakan bolak-balik tentang titik keseimbangan dikenal sebagai osilasi atau getaran. Ketika sistem berada dalam keadaan kesetimbangan, tidak ada gaya total di atasnya. Bergerak ke arah titik kesetimbangan adalah gerak osilasi. Namun, sistem masih memiliki energi ekstra ketika mencapai keadaan kesetimbangan, yang menyebabkannya melampaui posisi kesetimbangan. Pada akhirnya, sistem hendak kembali berputar arah mengarah ke titik setimbang. Berbagai peristiwa osilasi yang bisa dilihat dalam kehidupan sehari-hari, termasuk gerakan senar gitar, getaran daun atau cabang tumbuhan yang ditiup angin, gerakan pegas yang digantung oleh beban, dan gerakan penggaris yang dipasang ke salah satu ujung meja serta ujung lain disimpangkan kemudian dilepas, gerak dawai piano (bukan piano elektrik), gerak selaput suara manusia dan lain sebagainya.

Objek berosilasi tidak bergerak meskipun peristiwa berosilasi bergerak, yang merupakan salah satu karakteristik yang jelas. Objek kembali ke lokasi ekuilibriumnya ketika osilasi selesai. Apa keunggulan osilasi? Tanpa osilasi senar instrumen ini, kita tidak dapat mendengar musik piano atau gitar. Udara di sekitar tali bergerak saat tali berosilasi sampai mencapai ke telinga kita, getaran udara merambat melalui udara. Gelombang mikro tidak dapat dilepaskan untuk berinteraksi dengan yang lain jika muatan listrik pada antena ponsel kita tidak berosilasi. Kita tidak akan memiliki komputer, ponsel, atau peralatan digital lainnya jika bukan karena osilator dan perangkat penghasil osilasi lainnya. Kita

tidak akan hidup di era teknologi informasi dan komunikasi seperti saat ini jika kita tidak memahami osilasi. Penggunaan peristiwa osilasi dalam pemrosesan data dan teknologi transfer adalah inti dari teknologi informasi dan komunikasi. Osilasi digunakan untuk mengirim, menerima, dan menganalisis data. Data dikirim sebagai osilasi, dan data diterima sebagai osilasi. Oleh karena itu, tidak ada alasan bagi kita untuk lalai dalam mempelajari fenomena osilasi. (Malau, 2018).

6.2 Pengertian Getaran

Getaran adalah salah satu wujud gerak yang spesifik. Getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik secara periodik melalui titik kesetimbangan. Kita hanya akan memperhitungkan osilasi atau getaran dasar. Kita sekarang akan mempelajari energi potensial partikel dengan massa m yang berada dalam kesetimbangan tetap di dekat titik 0 sebagai hasilnya. Gaya yang sesuai dengan energi potensial ini dapat dihitung dengan: $F = -kx$ (Nurlina, 2017).

Gerakan bolak-balik selama periode waktu tertentu disebut getaran. Gerakan osilasi benda dan gaya yang menyebabkan gerakan ini terkait dengan getaran. Setiap benda dengan massa dan elastisitas mampu bergetar, sehingga sebagian besar mesin dan struktur yang direkayasa mengalami beberapa tingkat getaran, dan sifat osilasi biasanya harus dipertimbangkan saat mendesainnya.

Terdapat dua kategori utama getaran yaitu:

6.2.1 Getaran Bebas

Getaran bebas terjadi ketika suatu sistem berosilasi sebagai akibat dari tekanan internal di dalam sistem dan ketika ada gaya eksternal yang kuat. Frekuensi alaminya adalah karakteristik sistem dinamis yang ditentukan oleh distribusi massa dan gayanya, dan sistem yang bergetar bebas akan

bergerak pada satu atau lebih frekuensi alami ini. Setiap sistem dengan massa dan elastisitas rentan terhadap getaran spontan, atau getaran yang terjadi dengan sendirinya tanpa pengaruh dari luar.

6.2.2 Getaran Paksa

Getaran paksa merupakan getaran yang terjadi karena rangsangan gaya eksternal, bila rangsangan tersebut beresilasi sehingga sistem dipaksa bergetar pada frekuensi rangsangan. Bila frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi alami sistem, sehingga mendapatkan kondisi resonansi serta osilasi besar yang beresiko bisa terjadi kehancuran pada struktur besar seperti jembatan, gedung maupun sayap pesawat terbang. Inilah peristiwa-peristiwa yang diakibatkan oleh resonansi. Jadi, perhitungan frekuensi alami ialah perihwal yang utama. (Gunawan, 2023)

6.3 Parameter pada Getaran

6.3.1 Amplitudo Getaran (A)

Amplitudo didefinisikan sebagai simpangan getaran maksimum diukur dari titik kesetimbangan (cm).

6.3.2 Periode (T)

Periode didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan suatu benda untuk melakukan satu getaran atau putaran penuh.

$$T = \frac{t}{n} \quad (6.1)$$

Ket:

T = Periode (sekon)

t = Waktu (sekon)

n = Jumlah getaran

6.3.3 Frekuensi (f)

Frekuensi didefinisikan sebagai jumlah getaran yang terjadi dalam waktu satu detik atau banyaknya gelombang/getaran listrik yang dihasilkan tiap detik.

$$f = \frac{n}{t} \quad (6.2)$$

Ket:

F = Frekuensi (Hz)

t = Waktu (sekon)

n = Jumlah getaran

Hubungan antara periode dan frekuensi dapat dituliskan sebagai berikut.

$$f = \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f} \text{ (Pujianto, 2018)}$$

6.4 Konsep Dasar Getaran Mekanis

Sistem mekanis bergetar ketika kondisi dinamisnya dipisahkan. Gerakan tersebut juga dapat berupa gerakan yang tidak menentu atau acak, atau dengan kata lain dapat berupa tabrakan yang terus-menerus. Getaran merupakan fenomena yang terjadi secara alami sebagai kecenderungan atau respon terhadap peristiwa alam, baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengetahuan tertarik pada fenomena seperti panas dan getaran yang tidak dapat dirasakan oleh panca indera. Pergerakan pegas daun yang bertindak sebagai penghubung antara roda dengan sasis kendaraan, dan anggota kelompok getaran yang termasuk ke dalam gempa.

Contoh uraian teknis pada fenomena getaran mesin terhadap fondasi yaitu sebagai berikut: Gaya yang mempunyai resultan tidak sama dengan nol ataupun resultan gaya dengan

harga berubah-ubah disebabkan oleh adanya variasi sistem penggerak oleh getaran mesin. Jika seluruh gaya tersebut memiliki harga serta arah yang bisa dihitung secara pas serta akurat sehingga penyeimbang mesin tersebut akan terjadi sehingga mesin tidak memunculkan getaran. Realitasnya, gaya di dalam suatu mesin senantiasa berganti baik harga ataupun arahnya, belum lagi ditambah gaya luar sebagai gangguan contohnya dari efek inersia.

Meskipun perhitungan secara rinci telah dilakukan, keseimbangan tidak dapat dicapai. Penyebab setiap gerakan mesin menghasilkan getaran karena permasalahan ini menyeimbangkan gaya yang berubah-ubah seiring dengan gerakan bolak-balik dari beberapa komponen mesin. Rekayasa getaran berupaya untuk mengurangi dampak kerusakan akibat getaran sebagai solusi dari permasalahan yang selama ini muncul.

Perubahan tekanan gas dalam piston, perubahan gaya inersia atau momen lentur pada setiap gerakan benda, dan gaya putar atau torsi yang tidak seimbang, gaya yang tidak memiliki nilai tetap semuanya dapat mengakibatkan getaran mesin. Resonansi akan terjadi jika gaya perubahan pada mesin ini berubah dengan kecepatan yang sama dengan getaran frekuensi pribadi dari struktur atau bangunan seluruh mesin. Secara teoritis, resonansi akan menyebabkan amplitudo getaran naik dengan frekuensi ideal hingga tak terhingga. Dalam prakteknya, rangka penyangga mesin getar akan rusak jika tidak didukung oleh sistem peredam yang memadai.

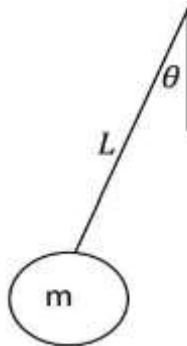
Getaran ini adalah hasil dari gerakan fenomena alam secara tak langsung. Berbeda dengan kebisingan dan gangguan, kejadian alam tidak langsung ini tidak dapat dihilangkan. Namun, dengan menyesuaikan efek frekuensi dan amplitudo, getaran ini dapat dikurangi. Saat menjalankan mesin, frekuensi getaran yang tidak terkendali dapat mengakibatkan kondisi bising, sedangkan amplitudo getaran yang tidak terkendali

bermanifestasi sebagai guncangan mesin yang tidak teratur. Selain melakukan analisis, data eksperimen dan ilusi teori digunakan untuk mengurangi efek hilangnya kedua parameter ini guna mencegah kerusakan pada struktur yang bergetar. Pemrosesan PC digunakan sebagai bantuan untuk analisis.

Dalam kebanyakan kasus, kekuatan yang berubah dari waktu ke waktu adalah penyebab getaran. Pertimbangkan ayunan pendulum yang terhubung ke pendulum kawat yang terhubung ke kawat, misalnya. Secara garis besar, suatu sistem bergetar, menyimpan energi kinetik dengan massa atau inersia sebagai sifat pegas ideal, menyimpan energi potensial (pegas dan bahan elastis), atau menyerap dan melepaskan energi secara perlahan (idealisasi sebagai peredam).
(Karyasa, 2010)

6.4.1 Bandul

Sebuah bandul yang berada dalam medan potensial gravitasi, bila disimpangkan tidak jauh dari titik keseimbangannya akan mengalami gerak getaran. Lihat gambar di bawah ini:



Gambar 6.1. Bandul
(Sumber : Fisika Dasar I, 2017)

Komponen gaya yang dialami bandul bermassa (m) yang sejajar dengan arah geraknya yaitu:

$$F = -mg \sin \theta \quad (6.3)$$

Tanda negatif karena arah gaya berlawanan dengan arah simpangan positif x .

Dengan menggunakan $x = L \theta$, kita dapatkan:

$$F = \frac{mg}{L} x \quad (6.4)$$

Jadi, gerak pada dasarnya harmonik sederhana untuk simpangan kecil, karena persamaan ini mengikuti Hukum Hooke, $F = -kx$, dimana konstanta gaya efektif adalah $k = mg/L$. Periode bandul sederhana didapatkan dimana untuk k kita ganti dengan mg/L :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{mg/L}} \quad (6.5)$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (6.6)$$

dan frekuensi adalah:
$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (6.7)$$

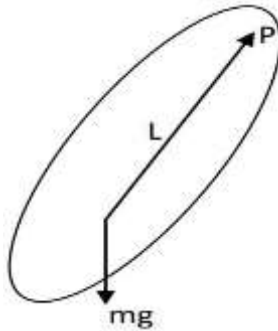
Persamaan getaran selaras sederhana dengan frekuensi yakni $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$ (6.8)

6.4.2 Bandul Mekanis

Sebuah benda dengan momen inersia terhadap sumbu P sebesar I_P digantung pada titik P. Benda ini disimpangkan dari titik setimbangnya lalu bergetar. Kita dapat menyatakan torsi

yang dialami benda sebagai akibat gravitasi yang bekerja pada titik pusatnya sebagai berikut:

$$\tau = IP\alpha = -MgL \sin \theta \quad (6.9)$$



Gambar 6.2. Bandul Mekanis
(Sumber : Fisika Dasar I, 2017)

Penyelesaian persamaan ini adalah suatu getaran selaras sederhana dengan frekuensi sudut

$$\omega = \sqrt{\frac{mgL}{I_p}} \quad (6.10)$$

6.5 Getaran yang Dipaksakan: Resonansi

Suatu sistem mulai bergerak dengan frekuensi alaminya. Tetapi, karena sistem bias dipengaruhi oleh sumber luar dengan frekuensinya sendiri, kita mengalami getaran paksa. Misalnya, kita bisa menarik massa dengan frekuensi f pada pegas bolak-balik. Meskipun frekuensi ini berbeda dari frekuensi alami pegas, yang sekarang kita sebut sebagai f_0 getaran massa pada frekuensi f sebagai akibat dari gaya eksternal, dimana:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6.11)$$

Amplitudo getaran untuk getaran paksa ternyata bergantung pada perbedaan antara f dan f_0 , mencapai maksimumnya ketika frekuensi gaya eksternal sama dengan frekuensi resonansi sistem alami. Frekuensi penggetar alami-sistem yaitu ketika $f = f_0$ disebut resonansi. Frekuensi getar alami f_0 dari suatu sistem dinamakan frekuensi resonansi.

6.6 Energi Getaran

Metode energi seringkali lebih nyaman dan praktis ketika berhadapan dengan gaya yang tidak konstan, seperti dalam kasus ini dengan gerak harmonik sederhana. Pegas membutuhkan usaha untuk meregangkan atau menekannya. $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ adalah rumus untuk energi potensial sistem pegas. Sementara pada energi kinetiknya:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (6.12)$$

Maka, jumlah energi kinetik dan energi potensial adalah energi mekanik total, didapatkan persamaan:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 \quad (6.13)$$

Dimana v adalah kecepatan massa m ketika berjarak x dari posisi setimbang. Pada titik ektrim, $x = A$ dan $x = -A$ semua energi tersimpan pada pegas sebagai energi potensial. Massa berhenti sebentar pada waktu s berubah arahnya, maka $v = 0$, persamaannya:

$$E = \frac{1}{2}m0^2 + \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}kA^2 \quad (6.14)$$

Oleh karena itu, energi mekanik total osilator harmonik sederhana sebanding dengan kuadrat amplitudo. Ketika $x = 0$, yang merupakan posisi kesetimbangan, semua energi adalah energi kinetik:

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad (6.15)$$

Di mana V_0 menunjukkan kecepatan tertinggi yang dicapai saat bergerak (yang terjadi saat $x = 0$). Energi adalah campuran kinetik dan potensial di titik transisi. Persamaan yang bermanfaat untuk kecepatan sebagai fungsi posisi x dapat diperoleh dengan menggabungkan persamaan (1) dan (2):

$$\frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

Dari persamaan di atas, kita dapatkan $\frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$. Jadi, $A/$

$$V_0 = \sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Contoh 6.1:

Sebuah keluarga cemara yang berjumlah 4 orang dengan m_{tot} 250 kg menaiki mobil 1.250 kg, lalu menabrak pembatas jalan Tol. Tentukan besarnya nilai periode dan frekuensi mobil setelah menabrak? Dengan anggapan bahwa peredam kejutnya jelek, sehingga mobil yang di naiki tersebut berosilasi ke atas ke bawah.

Penyelesaian:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 6,28\sqrt{\frac{1500 \text{ kg}}{6,5 \cdot 10^4 \text{ N/m}}} = 0,95 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,95 \text{ s}} = 1,05 \text{ Hz}$$

(Nurlina, 2017).

6.7 Klasifikasi Getaran

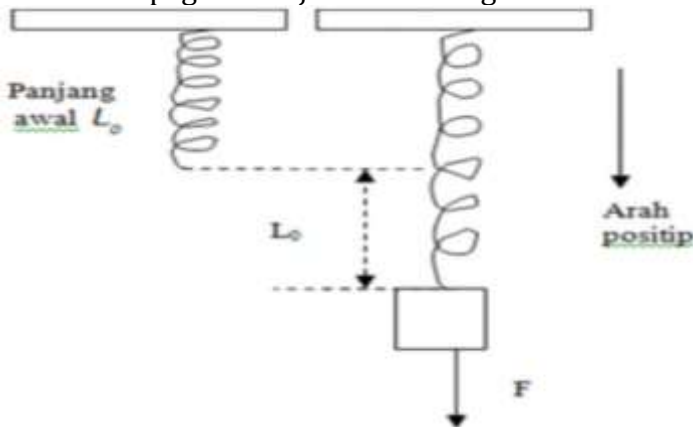
1. Getaran bebas adalah getaran yang berlangsung dalam suatu sistem (mekanisme) tanpa melibatkan rangsangan dari luar sistem. Dengan kata lain, objek hanya menerima eksitasi di awal saja, setelah itu berosilasi seperti gerakan pendulum.
2. Getaran paksa adalah getaran yang berlangsung dalam suatu sistem, disebabkan adanya rangsangan gaya luar (eksitasi). Sebagai contoh adalah getaran pada motor diesel. Jika rangsangan tersebut berosilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem maka akan didapat keadaan resonansi, dan osilasi besar dapat menimbulkan bahaya. Kerusakan strukur yang terjadi pada gedung, jembatan, tubin, dan sayap pesawat berhubungan dengan fenomena resonansi ini.
3. Getaran tak teredam merupakan getaran yang tidak kehilangan energi selama osilasi karena tahanan.
4. Getaran teredam merupakan getaran di mana terjadi kehilangan energi selama osilasi karena tahanan.
5. Getaran linier adalah semua komponen sistem yang bergetar, baik itu pegas, massa, dan peredam berperilaku linier. Pada kondisi ini prinsip superposisi dipegang dan analisis teoritis menggunakan model matematika sangat baik untuk dikembangkan.
6. Getaran non-linier merupakan setiap komponen sistem yang bergetar baik itu pegas, massa, dan peredam berperilaku non linier. Pada kondisi ini penerapan prinsip superposisi tidak valid dan analisis menggunakan model matematika kurang baik untuk dikembangkan perhitungan numerik dengan pendekatan metode non-linear dari hasil

regresi kelakuan material suatu percobaan dilakukan. Contoh pendekatan ini umum dilakukan untuk getaran impak.

7. Getaran deterministic merupakan osilasi dimana harga eksitasi yang bekerja pada sistem diketahui setiap saat. Eksitasi diplot kemudian perhitungan numerik ekuivalen eksitasi pada model dilakukan.
8. Getaran random (getaran acak) merupakan getaran yang tidak mungkin ditentukan nilai eksitasi yang bekerja pada sistem. Untuk memperkirakan eksitasi rata-rata untuk jenis getaran ini, penting untuk merekam data eksitasi dari pendekatan atau simulasi yang tepat dan membuat pola statistik. Misalnya, getaran yang disebabkan oleh gempa bumi, jalan yang kasar, kecepatan angin dan lain-lain.

6.8 Aplikasi pada getaran pegas

Diagram yang sering digunakan untuk memahami konsep getaran harmonis pegas ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 6.3. Sistem pegas dalam kesetimbangan statis

Sumber : Pengantar Fisika Kuantum, 2020

Pada $t = 0$, sebuah pegas dengan panjang awal L_0 meter diberi massa m (kg). Massa bergerak dengan kecepatan V_0 meter/menit dari jarak X_0 meter. Asumsi adalah pergerakannya vertikal, dan aturannya adalah jarak diukur dengan positif ke bawah. Gaya di balik gerakan perlu diidentifikasi secara matematis. Mari kita mulai dengan mengasumsikan bahwa pegas berada dalam posisi kesetimbangan dengan massa yang bergelantungan bebas tak bergerak dari pegas. Gaya berikut ini menyebabkan posisi keseimbangan massa:

- Gaya oleh gravitasi: $F_g = m \cdot g$
- Gaya pegas F_s , karena perpindahan pegas dari panjang mulanya.

Gaya pada sistem (F_s) didapatkan sesuai dengan hukum Hooke:

Gaya pegas sama dengan F_s ketika pegas ditekan atau diregangkan sejauh L dari panjang mulanya: $F_s = -kL$.

Dimana k diukur dalam m/kg dan merupakan konstanta positif yang dikenal sebagai konstanta pegas. $F_s = -k \cdot L_0$ jika L_0 adalah regangan pegas dari titik kesetimbangan statisnya. Gaya pegas harus diimbangi oleh gaya gravitasi karena sistem berada dalam kesetimbangan statis:

$$F_s + F_g = 0$$

$$F_g = -F_s$$

$$m \cdot g = k \cdot L_0$$

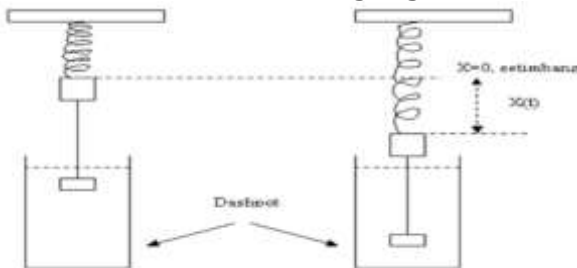
Jika $x=0$ sejajar dengan sistem pada kesetimbangan dan massa telah menyebabkan gerakan $X(t)$, yang menyatakan letak massa pada waktu (t), maka kesepakatan gaya yang menyebabkan massa bergerak adalah sebagai berikut:

- Gaya gravitasi: $F_g = m \cdot g$
- Gaya pegas F , pada waktu t perpindahan total pegas dari Panjang mulanya yaitu $L_0 + X(t)$, sesuai dengan hukum Hooke:

$$F_s = -k(L_0 + X(t))$$
- Gaya yang disebabkan oleh tekanan pada luasan tertentu (F_d). Seperti yang terlihat pada gambar di atas, sistem gas eksternal, seperti dashpot, umumnya menyebabkan pergerakan. Gas ini bisa berupa tekanan atmosfer. Gaya yang disebabkan oleh tekanan gas dianggap berbanding lurus dengan kecepatan massa.

$$F_d = -c \frac{dx}{dt}$$

Dimana c yaitu konstanta positif yang dinamakan konstanta gas. Tanda negatif dikarenakan F_d selalu menyebabkan arah berlawanan dengan gerakan.



Gambar 6.4. Model simple dari sistem pegas dengan redaman
 (Sumber : Pengantar Fisika Kuantum, 2020)

Persamaan getaran bebas tak teredam

Menggunakan hukum newton kedua:

Gaya = massa $\times$ percepatan

Sehingga :

$$m = \frac{d^2 y}{dt^2} = -ky$$

$$m = \frac{d^2 y}{dt^2} + ky = 0$$

Penyelesaian umum persamaan tersebut:

$$y(t) = A \cos \omega_0 t + B \sin \omega_0 t$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Dapat juga dituliskan:

$$y(t) = C \cos (\omega_0 t - \delta)$$

$$C = \sqrt{A^2 + B^2} \quad \tan \delta = \frac{A}{B}$$

- Getaran bebas teredam (damping)

Gaya yang disebabkan redaman:

$$F_3 = -c \frac{dy}{dt}$$

c = konstanta redaman

Karena adanya redaman maka gaya-gaya yang bekerja:

$$F_1 + F_2 + F_3 = -ky - c \frac{dy}{dt}$$

Sehingga persamaan getaran bebas teredam:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + c \frac{dy}{dt} + ky = 0$$

Persamaan karakteristiknya:

$$\lambda^2 + \frac{c}{m} \lambda + \frac{k}{m} = 0$$

Akar-akar persamaan karakteristik:

$$\lambda_{1,2} = -\frac{c}{2m} \pm \frac{1}{2m} \sqrt{c^2 - 4mk}$$

Apabila:

$$\alpha = \frac{c}{2m} \text{ dan } \beta = \frac{1}{2m} \sqrt{c^2 - 4mk}$$

$$\lambda_1 = -\alpha + \beta \quad \text{dan} \quad \lambda_2 = -\alpha - \beta$$

Kasus I: $C^2 > 4mk$; Akar-akar real berbeda λ_1, λ_2 ; (overdamping)

Kasus II : $C^2 < 4mk$; Akar-akar kompleks berbeda λ_1, λ_2 ; (underdamping)

Kasus III : $C^2 = 4mk$; Akar-akar real sama $\lambda_1 = \lambda_2$; (critical damping) (A Halim, 2020).

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan, Yuspian dan Abd. Kadir. 2023. *Getaran Mekanik Aplikasi pada Sayap Pesawat Terbang*. Jawa Tengah: PT Nasya Expanding Management.
- Halim, A dan Fitri Herliana. 2020. *Pengantar Fisika Kuantum*. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press
- Karyasa, Tungga Bhimadi. 2010. *Dasar-Dasar Getaran Mekanis*. Yogyakarta: C.V Andi Offset.
- Malau Nya Daniaty. 2018. *Modul Fisika Gelombang*. Jakarta: Universitas Kristen Indonesia.
- Nurlina dan Riskawati. 2017. *Fisika Dasar I*. Makassar: LPP Unismuh Makassar.
- Pujianto, Udik dan Binti Ni'matul Khoir. 2018. *Harmoni dalam Keberagaman*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Pendidikan Keaksaraan dan Kesetaraan-Ditjen Pendidikan Anak Usia Dini dan Pendidikan Masyarakat-Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

BAB 7

PANAS DAN HUKUM TERMODINAMIKA

Oleh Feby Permata Sari

7.1 Panas dan Termodinamika

Panas adalah bentuk energi yang dihasilkan dari gerakan partikel-partikel dalam suatu benda atau sistem. Secara umum, partikel-partikel dalam suatu benda memiliki energi kinetik yang berbeda-beda, dan ketika partikel-partikel tersebut bergerak atau berinteraksi, energi tersebut dapat berpindah dari satu partikel ke partikel yang lain. Proses perpindahan energi ini dapat disebut sebagai perpindahan panas atau perpindahan energi panas.

Panas dalam termodinamika didefinisikan sebagai bentuk energi yang dipindahkan dari suatu benda ke benda lain karena perbedaan suhu. Konsep ini menjadi dasar bagi banyak aplikasi dalam ilmu termodinamika, seperti sistem pemanas, sistem pendingin, dan mesin-mesin industri (Dugdale, 2016). Panas juga diartikan sebagai salah satu bentuk energi termodinamika yang dapat diukur dan dikuantifikasi dalam sistem tertentu. Terdapat hubungan kuat antara energi dan panas, di mana suatu sistem yang memperoleh atau kehilangan energi panas akan mengalami perubahan dalam energi totalnya (McQuarrie, Simon, & Rowland, 2017).

Konsep kalor dalam termodinamika merujuk pada energi panas yang diperoleh atau hilang oleh suatu sistem dalam proses termodinamika. Konsep ini memiliki kaitan erat dengan hukum termodinamika kedua yang menyatakan bahwa entropi suatu sistem selalu meningkat atau setidaknya tetap dalam proses alami

(Fermi, 1956). Perpindahan panas merupakan proses yang sangat penting dalam termodinamika. Ada tiga jenis perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Masing-masing jenis perpindahan panas memiliki mekanisme dan karakteristik yang berbeda (Cengel & Boles, 2018).

Konsep panas dan termodinamika sangat penting dalam banyak bidang, termasuk fisika, kimia, dan rekayasa. Dalam fisika, termodinamika digunakan untuk mempelajari gerakan partikel-partikel dalam sistem termal, sementara dalam kimia, termodinamika digunakan untuk memahami reaksi kimia dan energi yang dihasilkan atau dikonsumsi oleh reaksi tersebut. Dalam rekayasa, termodinamika digunakan untuk merancang mesin dan sistem yang dapat memanfaatkan energi panas untuk melakukan kerja.

7.2 Hukum Termodinamika

Hukum termodinamika adalah seperangkat prinsip yang digunakan untuk menjelaskan hubungan antara panas, energi, dan kerja. Ada tiga hukum termodinamika yang merupakan dasar dari ilmu termodinamika.

1. Hukum Pertama Termodinamika (Hukum Kekekalan Energi)

Hukum Pertama Termodinamika, juga dikenal sebagai Hukum Kekekalan Energi, adalah salah satu dari tiga hukum termodinamika yang paling mendasar. Hukum termodinamika pertama menyatakan bahwa energi tidak bisa diciptakan atau dimusnahkan, tetapi hanya bisa diubah bentuknya dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam hal panas, ini berarti bahwa jumlah panas yang dihasilkan oleh sistem sama dengan jumlah panas yang diterima oleh sistem dan lingkungan sekitarnya. Persamaan matematisnya adalah:

$$\Delta U = Q - W$$

Dimana ΔU adalah perubahan energi dalam sistem, Q adalah jumlah panas yang dimasukkan ke dalam sistem, dan W adalah kerja yang dilakukan oleh sistem.

Hukum pertama termodinamika menjadi dasar untuk memahami konsep energi dan bagaimana energi berubah dalam sistem tertutup. Konsep ini sangat penting dalam banyak aplikasi, seperti mesin termal, pembangkit listrik, pemanas ruangan, dan banyak lagi.

Misalnya, ketika mesin diesel beroperasi, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran. Kemudian energi panas ini digunakan untuk melakukan kerja pada mesin, seperti menggerakkan piston, yang kemudian menghasilkan energi mekanik. Hukum pertama termodinamika memastikan bahwa energi yang masuk ke dalam mesin sama dengan energi yang dikeluarkan oleh mesin.

2. Hukum Kedua Termodinamika (Hukum Entropi)

Hukum termodinamika kedua menyatakan bahwa entropi alami suatu sistem selalu meningkat atau setidaknya sama besar. Entropi di sini dapat diartikan sebagai kekacauan atau ketidakaturan sistem. Dalam hal panas, ini berarti bahwa ketika panas ditransfer dari sistem panas ke sistem dingin, entropi (atau kekacauan) sistem akan meningkat. Hukum kedua termodinamika juga dikenal sebagai hukum entropi atau hukum termal, dan merupakan hukum fundamental dalam bidang termodinamika.

Hukum ini menyatakan bahwa entropi (ketidakberaturan) dalam sistem selalu meningkat seiring waktu, dan tidak mungkin untuk mencapai suhu mutlak nol. Persamaan matematikanya adalah:

$$\Delta S \geq 0$$

di mana ΔS adalah perubahan entropi dan tanda sama dengan atau lebih besar dari menunjukkan bahwa entropi selalu meningkat atau setidaknya konstan.

Hukum kedua termodinamika memiliki implikasi penting dalam fisika, termasuk kosmologi, terutama dalam menjelaskan asal-usul dan evolusi alam semesta. Secara khusus, hukum kedua termodinamika memberikan batasan pada arah waktu, karena menunjukkan bahwa entropi selalu meningkat atau setidaknya tetap konstan selama suatu proses, dan bahwa waktu hanya bergerak ke depan, dan tidak ke belakang.

3. Hukum Ketiga Termodinamika

Hukum termodinamika ketiga juga dikenal sebagai hukum Nernst menyatakan bahwa tidak mungkin mencapai suhu absolut nol, yang didefinisikan sebagai suhu di mana semua gerakan molekuler berhenti. Suhu absolut nol, dinyatakan dalam skala Kelvin, adalah suhu terendah yang dapat dicapai, yaitu sekitar -273,15 derajat Celsius. Ini berarti bahwa selama ada perbedaan suhu antara dua sistem, panas akan selalu ditransfer dari sistem dengan suhu yang lebih tinggi ke sistem dengan suhu yang lebih rendah. Persamaan matematikanya adalah:

$$\lim_{S \rightarrow 0} S = 0$$

di mana S adalah entropi sistem dan limit mengindikasikan bahwa suhu mendekati nol absolut.

Hukum ketiga termodinamika memiliki beberapa implikasi penting. Salah satunya adalah bahwa efisiensi mesin termal akan meningkat dengan semakin dekatnya suhu operasinya ke suhu absolut nol. Selain itu, hukum ketiga termodinamika juga mengklarifikasi bahwa sistem kristal murni akan mencapai entropi nol pada suhu absolut

nol, yang berarti bahwa semua partikel dalam kristal murni akan memiliki energi terendah.

Hukum ketiga termodinamika juga memiliki aplikasi penting dalam pemodelan sistem kristal, karena memungkinkan kita untuk memperkirakan entropi dari kristal murni pada suhu di atas suhu absolut nol. Dalam pemodelan ini, hukum ketiga termodinamika digunakan sebagai kondisi batas untuk menghitung entropi dari suatu sistem.

7.3 Termodinamika dalam Kehidupan

Termodinamika banyak diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya saat memasak makanan di atas kompor gas atau listrik, prinsip termodinamika digunakan untuk memanaskan makanan. Panas dari kompor diubah menjadi energi termal yang menyebar ke dalam makanan (Çengel & Boles, 2018).

Termodinamika juga digunakan dalam bidang energi dan lingkungan. Misalnya, termodinamika digunakan dalam pembangkit listrik untuk menghasilkan energi listrik dari bahan bakar. Ketika bahan bakar seperti batu bara atau gas alam terbakar, energi panas dihasilkan, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan uap. Uap kemudian digunakan untuk memutar turbin, yang kemudian menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan sumber daya alam yang efisien dan pengurangan emisi gas rumah kaca menjadi semakin penting dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari pembangkit listrik.

Termodinamika juga digunakan dalam bidang energi terbarukan seperti energi surya dan energi angin. Sistem termodinamika digunakan dalam sistem panel surya untuk mengkonversi energi matahari menjadi listrik. Panel surya mengandung sel-sel fotovoltaik yang menangkap energi dari matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Termodinamika juga

digunakan dalam turbin angin untuk menghasilkan energi listrik dari angin. Ketika angin menggerakkan turbin, energi kinetik angin diubah menjadi energi listrik.

Selain itu, termodinamika digunakan dalam desain dan pengembangan mesin dan peralatan untuk mengoptimalkan efisiensi dan kinerja. Misalnya, termodinamika digunakan dalam desain mesin pembakaran internal untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang. Termodinamika juga digunakan dalam desain sistem pendingin dan pemanas ruangan untuk memastikan suhu dan kelembaban yang tepat tanpa membuang energi yang tidak perlu.

Dalam bidang industri, termodinamika juga digunakan dalam proses pengeringan, penguapan, dan penyulingan. Misalnya, dalam produksi gula, termodinamika digunakan untuk menghilangkan air dari jus tebu untuk menghasilkan sirup. Proses ini melibatkan penguapan dan penyulingan yang memanfaatkan panas dan energi.

Termodinamika juga digunakan dalam bidang kesehatan dan obat-obatan, misalnya dalam pengembangan teknologi pendingin untuk penyimpanan vaksin dan obat-obatan yang memerlukan suhu yang tepat. Termodinamika juga digunakan dalam pemrosesan makanan dan minuman, seperti dalam produksi es krim, minuman dingin, dan makanan beku. Proses ini memerlukan kontrol suhu yang tepat untuk menghasilkan produk berkualitas.

7.4 Dampak Penerapan Termodinamika dalam Kehidupan

Termodinamika mempunyai dampak yang signifikan terhadap kehidupan, seperti:

1. Meningkatkan Efisiensi Mesin

Termodinamika dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi mesin, seperti mesin pembakaran internal, mesin uap, dan mesin pendingin. Dengan memahami hukum termodinamika, teknisi dapat memperbaiki mesin dan membuatnya lebih efisien dalam menghasilkan energi yang dibutuhkan. Sebagai contoh, dalam mesin mobil, termodinamika digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang.

2. Menentukan Kondisi dan Perubahan Fase

Termodinamika dapat digunakan untuk menentukan kondisi dan perubahan fase suatu bahan, seperti air. Dengan memahami hukum termodinamika, kita dapat mengetahui pada suhu dan tekanan berapa air akan berubah menjadi uap atau es. Contoh aplikasi termodinamika dalam kehidupan sehari-hari adalah dalam sistem pendingin ruangan atau lemari es.

3. Memprediksi Reaksi Kimia

Termodinamika dapat digunakan untuk memprediksi reaksi kimia yang terjadi dalam suatu sistem. Dengan menggunakan hukum termodinamika, kita dapat mengetahui apakah suatu reaksi kimia akan menghasilkan energi atau membutuhkan energi untuk terjadi. Contoh penerapan termodinamika dalam reaksi kimia adalah dalam pembuatan baterai atau proses produksi baja.

Termodinamika memiliki banyak manfaat dalam kehidupan sehari-hari, namun terdapat beberapa dampak negatif yang terkait dengan penerapannya. Beberapa dampak negatif tersebut antara lain:

1. Peningkatan Emisi Gas Rumah Kaca
Penerapan termodinamika dalam industri dan transportasi dapat menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, seperti karbon dioksida, yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global. Contohnya adalah penggunaan kendaraan bermesin pembakaran dalam transportasi.
2. Pemanasan Global
Peningkatan emisi gas rumah kaca juga dapat menyebabkan pemanasan global dan berbagai dampak negatif yang terkait, seperti peningkatan suhu global dan tingkat kelembaban, peningkatan frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem, dan kenaikan permukaan laut. Contohnya adalah peningkatan suhu pada suatu ruangan akibat penggunaan pendingin ruangan.
3. Peningkatan Penggunaan Energi Fosil
Penerapan termodinamika dapat meningkatkan penggunaan energi fosil, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam, yang merupakan sumber daya yang terbatas dan berkontribusi pada peningkatan emisi gas rumah kaca. Contohnya adalah penggunaan bahan bakar fosil dalam transportasi dan pembangkit listrik.
4. Peningkatan Polusi Udara
Penerapan termodinamika dalam industri dan transportasi dapat menghasilkan emisi polutan berbahaya ke udara, seperti nitrogen dioksida, sulfur dioksida, dan partikel halus, yang dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti iritasi pada mata dan saluran pernapasan, penyakit paru-paru, dan bahkan kanker. Misalnya, kendaraan bermesin

pembakaran dalam transportasi dapat menghasilkan emisi polutan tersebut.

5. Peningkatan Paparan Panas

Penerapan termodinamika dalam sistem pendingin, pemanas, dan isolasi dapat menyebabkan peningkatan paparan panas pada manusia, yang dapat menyebabkan dehidrasi, heat stroke, dan masalah kesehatan lainnya. Contohnya, penggunaan pendingin ruangan dapat menyebabkan perubahan suhu yang cepat dan drastis dalam ruangan, yang dapat menyebabkan masalah kesehatan seperti sakit kepala dan migrain.

6. Peningkatan Paparan Radiasi

Penerapan termodinamika dalam sistem pemanas dan isolasi dapat menghasilkan radiasi elektromagnetik, seperti gelombang radio dan sinar inframerah, yang dapat memengaruhi kesehatan manusia. Misalnya, paparan sinar inframerah yang berlebihan dapat menyebabkan kulit kering, iritasi, dan kerusakan sel, yang dapat meningkatkan risiko kanker kulit.

DAFTAR PUSTAKA

- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. 2018. Thermodynamics: An Engineering Approach. McGraw-Hill Education.
- Dugdale, J. S. 2016. Entropy and its physical meaning. Elsevier.
- Fermi, E. 1956. Thermodynamics. Dover Publications.
- McQuarrie, D. A., Simon, J. D., & Rowland, C. Y. 2017. Physical Chemistry: A Molecular Approach. University Science Books.
- Crawford, F. S. 2014. Applied Thermodynamics for Engineering Technologists. Pearson Higher Ed.
- Shikder, S. H., & Matin, M. A. 2020. Impact of Termodinamika on Environment and Its Mitigation Strategies. International Journal of Sustainable Energy, 39(12), 1186-1196.

BAB 8

ARUS LISTRIKS

Oleh Langgeng Asmoro

8.1 Pendahuluan

Salah satu kebutuhan sehari-hari yang sudah tidak asing lagi bagi masyarakat adalah Listrik. Selain penerangan, listrik dibutuhkan sebagai sumber tenaga untuk menyalakan perangkat elektronik dan otomotif. Ada banyak perangkat di sekitar kita yang mengkonsumsi listrik. Apabila sehari kita tidak menggunakan listrik, maka aktivitas masyarakat akan terganggu karena listrik sudah menjadi kebutuhan. Bayangkan jika sehari saja kita tidak menggunakan listrik, pasti aktivitas kita akan terganggu karena listrik merupakan kebutuhan primer seperti sandang pangan dan papan. (Serway and Jewett, 2008)

Saat kita membuka perangkat tersebut, mereka akan memiliki rangkaian listrik. Arus listrik diatur oleh Catu daya. Ada arus searah dan arus bolak-balik sehingga Pada pokok bahasan ini kita akan belajar tentang arus listrik. prinsip pengoperasian perangkat listrik searah, dimulai dengan konsep besaran listrik, termasuk arus listrik, beda potensial dan hambatan. Anda juga akan mempelajari lebih lanjut tentang hukum Ohm dan hukum Kirchoff serta penerapannya dalam susunan resistor seri dan paralel.

8.2 Materi

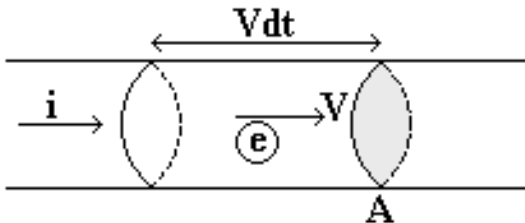
8.2.1 Arus listrik

Pokok bahasan dimulai dengan definisi dari umum arus listrik. Arus listrik dapat diartikan sebagai aliran muatan listrik. Arus listrik adalah besaran yang menunjukkan banyak muatan listrik yang lewat setiap satu satuan waktu. Jika selang waktu adalah Δt sedangkan banyaknya muatan listrik yang lewat adalah ΔQ arus listrik dapat dicari menggunakan persamaan :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (8.1)$$

Muatan listrik memiliki satuan coulomb ditulis C sedangkan satuan arus listrik adalah ampere, yang ditulis A. maka 1 ampere = 1 coulomb/sekon.

Jika kita melihat sebuah konduktor memiliki luas penampang A dalam selang waktu dt ; sehingga banyaknya muatan yang mengalir pada penampang tersebut adalah banyaknya muatan yang ada pada suatu silinder dengan luas penampang A, yang panjangnya $V dt$. (Abdullah, 2016)



Gambar 8.1. ilustrasi aliran muatan listrik pada sebuah penampang A

Ada muatan listrik positif dan negatif. Arus listrik memiliki arah yang ditentukan oleh arah muatan positif. Dalam logam nyata, elektron yang bergerak membawa muatan negatif. Muatan positif adalah atom-atom ditinggalkan elektron yang tidak dapat bergerak

karena terikat erat membentuk logam. Sebutkan pengertian arus listrik dengan arah gerak muatan positif, arah arus pada logam berlawanan dengan arah gerak elektron. Jadi jika kita menggambar arah arus dalam konduktor dari kanan ke kiri, aliran elektron sebenarnya dari kiri ke kanan. Muatan dapat ditransfer karena kemungkinan perbedaan dari lokasi ke lokasi. Aliran mengalir dari lokasi berpotensi tinggi di lokasi berpotensi rendah . Besarnya arus listrik berbanding lurus dengan perbedaan potensial, V , antara dua titik, atau $I \propto V$. (Abdullah, 2016) perbandingan besaran tersebut selanjutnya dapat ditulis

$$I = \frac{1}{R} V \quad (8.2)$$

dengan R adalah hambatan listrik diantara dua lokasi pengukuran. hambatan listrik memiliki satuan Ohm yang dituliskan dengan Ω . Mengapa hambatan listrik disebut R ??

Karena muatan listrik alirannya dihambat oleh R berperan menghambat mengalirnya muatan listrik. Makin tinggi nilai R maka arus listrik akan makin kesulitan mengalir, hal ini ditandai dengan arus yang makin kecil. Persamaan (8.2) dinamakan hukum Ohm. Simbol untuk hambatan listrik tampak pada gambar 8.2



Gambar 8.2. simbol resistor listrik

8.2.2 Arus Listrik Pada Percabangan

Selanjutnya kita akan menganalisis arus melalui persimpangan. Asumsikan bahwa pada titik cabang rangkaian listrik, muatan mengalir ke beberapa cabang dan muatan lewat ke cabang lainnya. Muatan listrik memiliki karakteristik bahwa arus mereka kekal, artinya muatan tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan . oleh karena itu :

banyaknya muatan yang mengalir masuk pada lokasi percabangan = banyaknya muatan yang keluar dari lokasi percabangan
Pernyataan ini dapat dituliskan dalam bentuk matematis berikut:

$$\sum_{masuk} Q = \sum_{keluar} Q \quad (8.3)$$

Atau

$$Q_{m,1} + Q_{m,2} + \dots + Q_{m,N} = Q_{k,1} + Q_{k,2} + \dots + Q_{k,M}$$

dimana

m = indeks masuk,

k = indeks keluar,

N = jumlah cabang arus masuk, dan

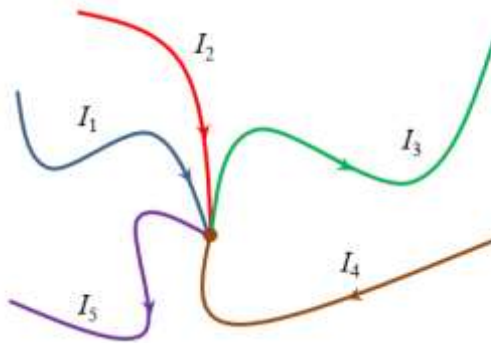
M = jumlah cabang arus keluar.

banyaknya cabang adalah $N+M$. bila muatan yang keluar dan masuk tersebut diukur pada selang waktu Δt maka persamaan (8.3) dapat dibagi Δt sehingga diperoleh

$$\frac{Q_{m,1} + Q_{m,2} + \dots + Q_{m,N}}{\Delta t} = \frac{Q_{k,1} + Q_{k,2} + \dots + Q_{k,M}}{\Delta t}$$

$$\frac{Q_{m,1}}{\Delta t} + \frac{Q_{m,2}}{\Delta t} + \dots + \frac{Q_{m,N}}{\Delta t} = \frac{Q_{k,1}}{\Delta t} + \frac{Q_{k,2}}{\Delta t} + \dots + \frac{Q_{k,M}}{\Delta t} \quad (8.4)$$

$$I_{m,1} + I_{m,2} + \dots + I_{m,N} = I_{k,1} + I_{k,2} + \dots + I_{k,M}$$



Gambar 8.3. Arus masuk dan keluar pada titik percabangan

Banyaknya arus yang masuk pada lokasi percabangan sama dengan banyaknya arus yang keluar pada lokasi percabangan tersebut. Persamaan (10.4) diartikan ketika banyaknya arus yang melewati pada sambungan akan sama dengan banyaknya arus yang keluar dilokasi sambungan itu. Pernyataan ini disebut hukum kekekalan muatan, dan juga disebut sebagai **hukum 1 Kirchoff**. (Abdullah, 2016)

Pada **Gambar 8.3** arus masuk adalah arus pada komponen $I_1 + I_2 + I_4$ sedangkan arus keluar adalah $I_3 + I_5$. Dengan hukum 1 Kirchoff kita dapatkan

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5$$

Rumus ini juga menunjukkan bahwa tidak terdapat muatan yang terkumpul pada titik-titik koneksi. Saat ada muatan yang lewat menuju persimpangan, harus ada muatan yang meninggalkan persimpangan dengan jumlah yang sama. (Abdullah, 2016)

8.2.3 Sumber potensial listrik

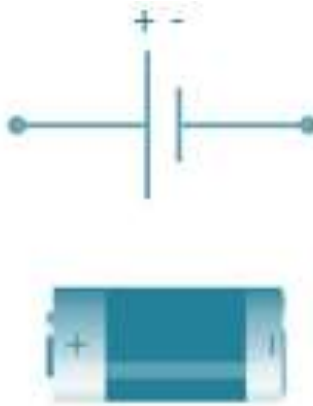
Dengan adanya potensial yang berbeda pada titik yang berbeda dalam suatu rangkaian terjadi jika dipasang sumber tegangan pada rangkaian tersebut, yang disebut juga EMF (*electromotive force*). Contoh EMF adalah akumulator baterai, sel surya, generator, dan lain-lain. EMF memiliki dua kutub atau dua kutub potensial yang berbeda. Jika kutub ggl dihubungkan dalam suatu rangkaian, arus mengalir dari terminal potensial yang lebih tinggi di sirkuit dan ke terminal potensial yang lebih rendah. Kutub dengan potensial EMF tertinggi biasanya disebut anoda dan kutub dengan potensial terendah disebut katoda. Simbol untuk EMF ditunjukkan pada Gambar 8.4. Posisi baterai juga ditunjukkan sesuai arah ikon. (Abdullah, 2016)

Dalam penulisan GGL di Gambar 8.4, bagian dengan garis yang lebih panjang adalah anoda, dan bagian dengan garis yang lebih pendek adalah katoda. Jika GGL terhubung ke jaringan listrik, arus mengalir dari anoda ke jaringan dan dari jaringan ke katoda. pada GGL itu sendiri, arus listrik mengalir dari katoda ke anoda. (Abdullah, 2016)

Untuk contoh, pada rangkaian yang ada di Gambar 8.5. Sebuah GGL dirangkai dengan hambatan. Jika perbeda potensial antara dua ujung GGL adalah ε maka perbeda potensial antara dua kutub hambatan adalah ε juga. Menggunakan persamaan (8.2) maka arus listrik yang mengalir dalam hambatan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} \quad (8.5)$$

Arus yang mengalir melalui resistor benar-benar sebanding atau sama dengan arus yang melalui rangkaian.



Gambar 8.4. Simbol kutub GGL menyesuaikan posisi kutub pin

8.2.4 Hambatan listrik

Hambatan listrik pasti ada pada setiap bahan. kayu, Besi, air, batu, karet, udara, dll. memiliki hambatan. Namun, hambatan kayu kering, batu, karet, dll. sangat tinggi sehingga sekali perbedaan potensial diterapkan antara kedua ujungnya, hampir tidak ada arus listrik yang mengalir. Jenis benda yang tidak mampu menghantarkan arus listrik disebut isolator. (Abdullah, 2016) namun, logam memiliki resistensi yang sangat kecil. Dengan hanya memberikan perbedaan potensial yang kecil antara kedua ujungnya, arus yang mengalir cukup besar. Bahan yang mudah menghantarkan arus listrik disebut bahan konduktif. Resistansi listrik pada bahan memiliki karakteristik sebagai berikut:

- i. Hambatan membesar jika panjangnya membesar ($R \propto L$)
- ii. ukuran penampang berkurang maka hambatan makin besar ($R \propto 1/A$).

Relasi antara hambatan listrik pada bahan dengan ukuran bahan memenuhi

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (8.6)$$

dengan

R = hambatan bahan

L = panjang bahan,

A = luas penampang bahan

ρ = hambatan jenis bahan.



Gambar 8.5. Faktor pada kawat yang menentukan hambatan listrik yang dimiliki kawat tersebut.

8.2.5 Hambatan komersial

Di pasaran, kita menemukan resistor dengan nilai resistansi yang berbeda. Hambatan ini digunakan dalam desain sirkuit elektronik. Nilai hambatan berbeda-beda mulai dari di bawah $1\ \Omega$ hingga $10^7\ \Omega$ ($10\ M\Omega$). Nilai resistor tidak ditentukan pada komponen. Nilai resistansi ditunjukkan oleh ciri warna yang mengelilingi resistor, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.6. Jumlah kode biasanya 3 buah. Namun untuk hambatan yang lebih, jumlah kode warna kadang-kadang empat. (Abdullah, 2016)



Gambar 8.6. Kode warna pada hambatan

Warna	Nilai	Toleransi (%)
Hitam	0	
Coklat	1	
Merah	2	
Oranye	3	
Kuning	4	
Hijau	5	
Biru	6	
Ungu	7	
Abu-abu	8	
Putih	9	

Contoh 1

Sebuah resistor terdapat empat gelang. Gelang pertama coklat, gelang kedua kuning, gelang ketiga hitam, dan gelang keempat berwarna emas. Berapa nilai resistansi totalnya? Berapakah toleransinya?

Jawab

Gelang pertama : coklat = 1 Gelang kedua : kuning = 4 Gelang ketiga : hitam = 0 Gelang keempat : emas = 5%

maka nilai hambatan adalah $R = 14 \times 10^0 = 14 \, \Omega$

8.2.6 Rangkaian hambatan listrik

Dalam rangkaian listrik kita sering menggunakan beberapa resistor. Resistor ini terkadang dihubungkan secara seri, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.7(a), paralel (Gambar 8.7(b)) atau kombinasi seri dan paralel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.7(c). Pertanyaannya, jika dipasang beberapa hambatan seperti ini, berapakah hambatan total yang dihasilkan? (Nurachmandani, 2009)

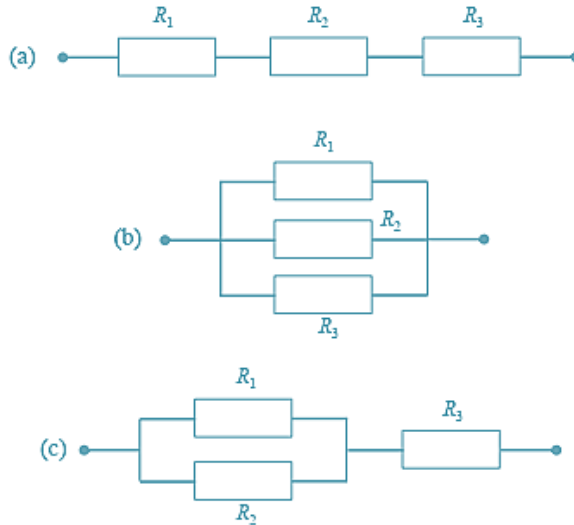
8.2.7 Hambatan seri

Selanjutnya kita analisis hambatan yang disusun secara seri. Contohnya adalah hambatan R_1 , R_2 , dan R_3 pada Gambar 8.7. ujung hambatan akan diberi beda potensial V_{ad} sehingga arus I mengalir. Jika hambatan total adalah R maka V_{ad} diperoleh:

$$V_{ad} = IR \quad (8.7)$$

Jika perbedaan potensial pada ujung tiap-tiap hambatan adalah V_{ab} , V_{bc} , dan V_{cd} maka terpenuhi:

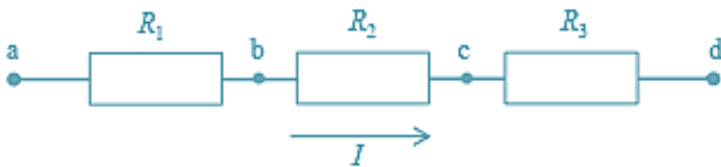
$$V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd}$$



Gambar 8.7. (a) Hambatan yang disusun secara seri, (b) hambatan yang disusun secara parallel, dan (c) hambatan yang disusun campur seri dan parallel. (Serway and Jewett, 2008)

Karena arus melewati pada setiap hambatan maka

$$V_{ab} = IR_1 \text{ dan } V_{bc} = IR_2 \text{ dan } V_{cd} = IR_3$$



Gambar 8.8. menghitung hambatan pengganti untuk beberapa hambatan yang disusun secara seri, dengan mengganti potensial masing-masing hambatan ke dalam persamaan (8.9) maka :

$$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

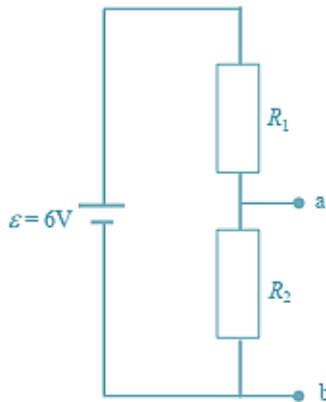
Dengan membagi dengan I pada kedua ruas diperoleh

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (8.8)$$

Contoh 2

Bila kita memiliki sumber tegangan 6 V. namun alat elektronik yang tersedia membutuhkan tegangan hanya 4 V. Tegangan 6 V akan terlalu besar dan dapat menyebabkan merusak alat tersebut. Solusi agar alat tetap dapat beroperasi dengan baik dengan menggunakan sumber tegangan 6 V?

Jawab



Gambar 8.8. Rangkaian pembagi tegangan

Kita akan mendapatkan agar diperoleh tegangan 4 V dari tegangan 6 V. Tegangan 4 V yang diperoleh akan sambungkan ke alat. Hal ini dapat diperoleh dari dua buah hambatan, maka rangkaian ini dikenal pembagi tegangan. Rangkaian tampak pada Gambar 8.8. Arus yang melewati hambatan R_1 dan R_2 sama besar, yaitu:

$$I = \mathcal{E} / (R_1 + R_2)$$

Tegangan pada titik a dan b adalah

$$V_{ab} = IR_2 = \frac{\mathcal{E}}{R_1 + R_2} \times R_2$$

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} \times \mathcal{E}$$

Maka tegangan 4 V berasal dari tegangan 6 V maka $V_{ab} = 4$ V sehingga persamaan dapat menjadi

$$4 = R_2 / (R_1 + R_2) \times 6$$

atau

$$(R_1 + R_2) / R_2 = 6 / 4$$

diperoleh

$$R_1 = 6R_2/4 - R_2 = R_2/2$$

Maka solusi nya adalah perlu dua buah hambatan dipasang dengan hambatan R_1 setengah kali hambatan R_2 . Contohnya, $R_1 = 10 \Omega$ dan $R_2 = 20 \Omega$.

8.2.8 Hambatan Paralel

Selanjutnya akan dianalisis hambatan-hambatan yang disusun secara parallel seperti pada Gambar 3.18. jumlah Arus yang mengalir adalah I , saat memasuki rangkaian hambatan, arus akan terbagi pada tiga jalur sehingga berdasarkan hukum Kirchoff I:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (8.9)$$

Beda potensial pada ujung hambatan adalah sama, yaitu V_{ab} . Jika hambatan total adalah R maka :

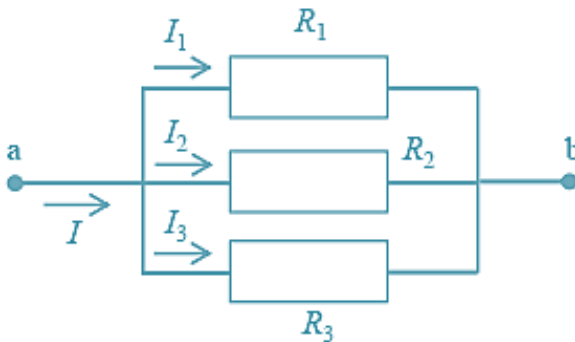
$$I = \frac{V_{ab}}{R}$$

Karena perbedaan potensial pada ujung hambatan R_1 , R_2 , dan R_3 juga V_{ab} maka :

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3}$$



Gambar 8.9. Hambatan total pengganti untuk beberapa hambatan yang dirangkai secara parallel. (Serway and Jewett, 2008)

Substitusi ungkapan arus ke persamaan (8.9) diperoleh:

$$\frac{V_{ab}}{R} = \frac{V_{ab}}{R_1} + \frac{V_{ab}}{R_2} + \frac{V_{ab}}{R_3}$$

Vab kedua ruas dihilangkan maka diperoleh hambatan total yang memenuhi:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad (8.10)$$

Contoh 3

Menghitung hambatan total pengganti dari empat hambatan yang dirangkai secara parallel, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 8 \text{ k}\Omega$, dan $R_4 = 5 \text{ k}\Omega$.

Perbedaan tegangan dipasang pada ujung hambatan 50 V, tentukan arus yang mengalir pada tiap hambatan.

Jawab

Hambatan pengganti memenuhi

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{5} = \frac{40}{40} + \frac{10}{40} + \frac{5}{40} + \frac{8}{40} = \frac{63}{40}$$

atau

$$R = 40 / 63 = 0.635 \text{ k}\Omega = 635 \Omega$$

Arus yang mengalir pada masing-masing hambatan

$$\text{Hambatan } R_1 : I_1 = V / R_1 = 50 / 1000 = 0.05 \text{ A}$$

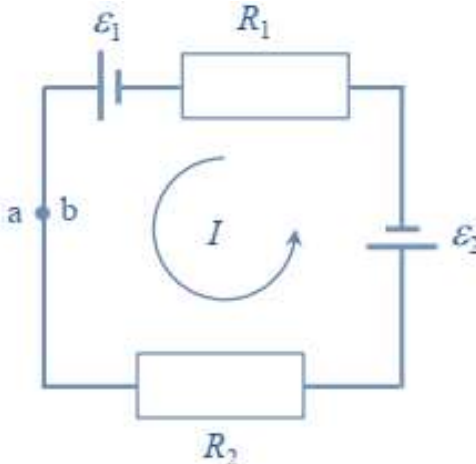
$$\text{Hambatan } R_2 : I_2 = V / R_2 = 50 / 5000 = 0.0125 \text{ A}$$

$$\text{Hambatan } R_3 : I_3 = V / R_3 = 50 / 8000 = 0.00625 \text{ A}$$

$$\text{Hambatan } R_4 : I_4 = V / R_4 = 50 / 5000 = 0.01 \text{ A}$$

8.2.9 Loop

Perhatikan fenomena berikut, jika pada gambar 10.12 pada titik a dan b dihubungkan, maka $V_{ab} = 0$ dan rangkaian menjadi tertutup. Rangkaian tertutup ini disebut loop. Contoh loop adalah Gambar 8.10.



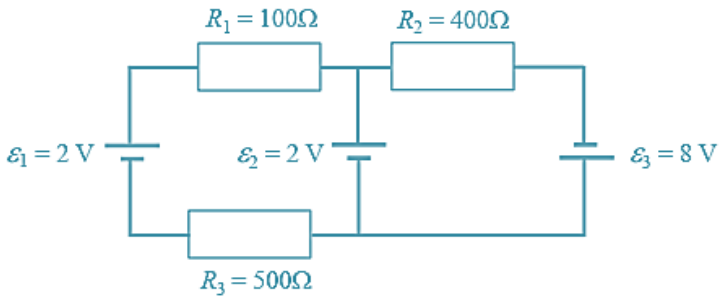
Gambar 8.10. Contoh loop sederhana yang rangkai dengan dua sumber tegangan dan dua hambatan.

Karena $V_{ab} = 0$ maka khusus untuk loop, maka

$$\sum IR - \sum \varepsilon = 0 \quad (8.11)$$

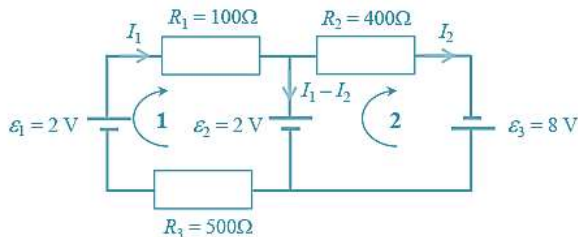
8.2.10 Rangkaian lebih dari satu loop

Banyaknya loop dalam rangkaian tidak hanya satu namun bisa lebih. perhatikan sirkuit yang terdiri dari 2 loop. strategi yang digunakan sama dengan penyelesaian soal satu putaran. namun akan muncul dua persamaan, karena terdapat dua arus yang dapat ditemukan, yaitu arus yang melewati di setiap loop. Contohnya pada rangkaian Gambar 8.10 (Nurachmandani, 2009)



Gambar 8.11. Contoh rangkaian dua loop

Arus yang melewati di setiap loop dapat dipilih secara bebas. Jika bernilai positif, maka arah yang dipilih sudah sesuai. Tetapi jika diperoleh nilai negatif, maka arah arus berlawanan dengan arah yang dipilih, dengan besarnya sama. . misal, dipilih arah arus seperti pada Gambar 8.11.



Gambar 8.12. Pemilihan Arah Arus Pada Loop

Untuk loop 1 berlaku:

$$\sum IR - \sum \varepsilon = 0$$

$$I_1 R_1 + I_1 R_3 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = 0$$

Untuk penentuan tanda sumber tegangan, maka pada Gambar 8.12 kita peroleh $\varepsilon_1 = +2V$ dan $\varepsilon_2 = -4V$. sehingga,

$$I_1 \times 100 + I_1 \times 500 - (2 - 4) = 0$$

$$600I_1 + 2 = 0$$

$$I_1 = -2 / 600 = 0.003A$$

Untuk Loop 2 berlaku

$$\sum IR - \sum \mathcal{E}$$

$$I_2 R_2 - (\mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3) = 0$$

Berdasarkan penentuan tanda sumber tegangan pada Gambar 8.12 kita peroleh $\mathcal{E}_2 = + 4V$ dan $\mathcal{E}_3 = + 8 V$. Dengan demikian:

$$400 I_2 - (4 + 8) = 0$$

$$400 I_2 - 12 = 0$$

$$I_2 = 12/400 = 0,03 A$$

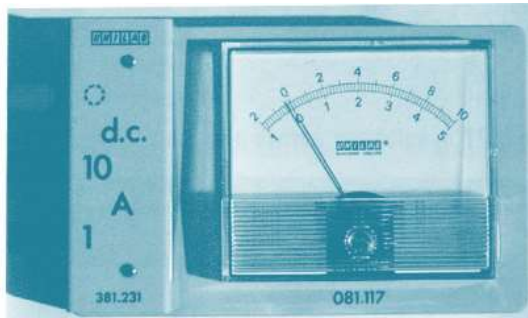
Dari hasil di atas, arus yang melewati pada loop kiri yaitu 0,003 A dengan arah berlawanan. Arus akan mengalir pada loop 2 adalah 0,03 A

8.2.11 Pengukuran arus listrik

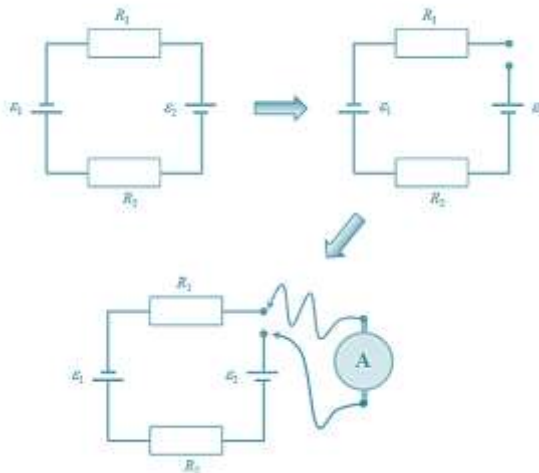
Suatu rangkaian yang dialiri arus listrik besarnya dapat diukur dengan alat yang disebut galvanometer atau amperemeter. contoh amperemeter dapat dilihat pada Gambar 8.13 Jarum digunakan untuk menunjukkan besarnya arus pada amperemeter analog.

Pertama-tama rangkaian harus diputus untuk mengukur arus yang mengalir pada rangkaian. Kedua ujung kabel yang terputus dihubungkan dengan kedua kutub amperemeter sehingga arus mengalir ke amperemeter. Prosesnya dijelaskan pada Gambar 10.15. Jumlah arus yang mengalir ditunjukkan pada tampilan

ammeter. Tampilan dapat berupa penunjuk (untuk amperemeter analog) atau angka (untuk amperemeter digital). (Tipler, 2008)



Gambar 8.13. Amperemeter analog dimana Arus yang diukur ditunjuk oleh jarum.



Gambar 8.14. Susunan Pengukuran Arus Listrik.

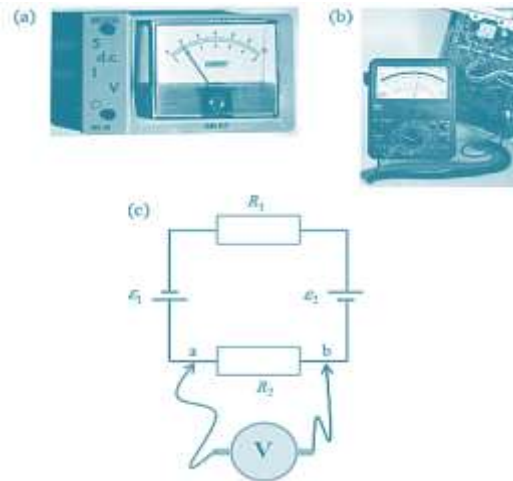
Yang perlu diperhatikan

Saat arus listrik diukur menggunakan amperemeter, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu,

- a) Amperemeter miliki hambatan, walaupun sangat kecil. Ketika memasang amperemeter untuk mengukur arus, hambatan total rangkaian akan lebih besar menyebabkan arus listrik yang mengalir berkurang sedikit. maka arus yang ditunjukkan oleh amperemeter sedikit lebih rendah daripada sebelum amperemeter dipasang. Namun:
 - i. Hambatan pada amperemeter dapat diabaikan Ketika hambatan total jauh lebih besar daripada hambatan dalam sehingga arus yang terbaca akan hamper sama dengan arus yang sebenarnya.
 - ii. Total hambatan sangat kecil daripada hambatan dalam amperemeter, maka hal ini dapat merubah nilai arus yang dicaba oleh amperemeter.
- b) Ada batas maksimum saat menggunakan amperemeter dalam mengukur arus. Amperemeter dapat mengalami kerusakan jika melakukan pengukuran melebihi batas maksimum yang diperbolehkan. Oleh karenanya, sebelum melakukan pengukuran, harus diperkirakan lebih dahulu besarnya arus yang mengalir dalam rangkaian.(Abdullah, 2016)

8.2.12 Alat ukur beda potensial dua titik

Voltmeter adalah alat yang dapat digunakan untuk mengukur beda potensial antara dua titik dalam rangkaian. Tidak diperlukan pemutusan rangkaian saat pengukuran beda potensial. pengukuran Cukup menyentuhkan dua ujung voltmeter dengan dua titik yang akan diukur beda potensialnya seperti terlihat pada Gambar 8.15. Beda potensial akan terbaca pada layar voltmeter. Layar tersebut dapat berupa jarum (untuk volmeter analog) atau angka-angka (volmeter digital). (Halliday, 2010)



Gambar 8.15. pengukuran beda potensial dengan voltmeter

8.2.13 Mengukur Hambatan Listrik

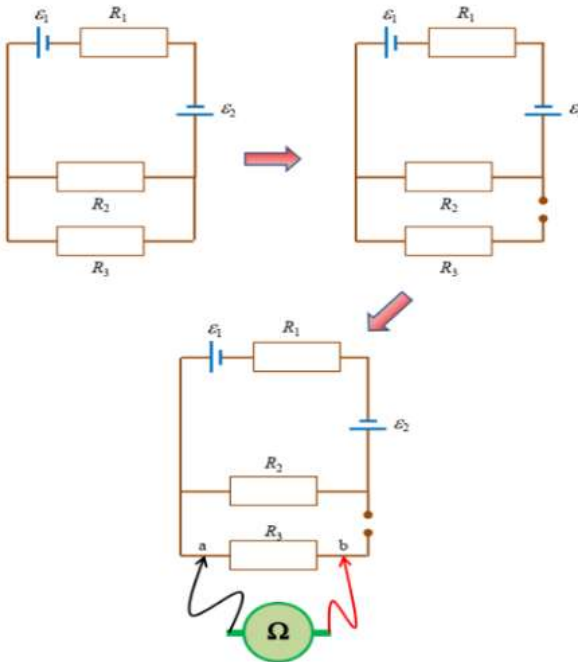


Gambar 8.16. Mengukur hambatan listrik

Ohmmeter adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur hambatan listrik suatu resistor atau antar dua titik. Proses penentuan nilai hambatan dapat dilakukan dengan menyentuhkan

dua ujung Ohmmeter dengan dua ujung hambatan atau dua titik dalam rangkaian seperti ditunjukkan pada Gambar 8.16.(Abdullah, 2016)

Namun perlu diperhatikan, saat mengukur resistor, rangkaian harus diisolasi dari rangkaian lainnya. Jika ingin mencari nilai sebuah hambatan, salah satu kaki hambatan perlu dipotong dari rangkaian (Gambar 8.17). Hal ini juga dilakukan ketika mengukur hambatan antar dua titik dalam rangkaian. Salah satu lokasi diputus dari rangkaian induk, baru dilakukan pengukuran. (Abdullah, 2016)



Gambar 8.17. Pengukuran Nilai Hambatan

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasari 1*. bandung: ITB.
- Halliday, D. 2010. *Fisika Dasar Edisi 7 Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Nurachmandani, S. 2009. *Setya Nurachmandani Fisika 1 Untuk Sma/Ma Kelas X*.
- Serway, R. a. and Jewett, J.W. 2008. 'Physics for Scientists and Engineers with Modern Physic, 7 ed', *Brooks/cole*, Cengage Le, p. 739(1215). Available at: <http://books.google.com/books?id=XgweHqlvtiUC&pgis=1>.
- Tipler, P.. 2008. *Physics for Scientists and engineers, sixth edition*. New York: W. H. Freeman and Company.

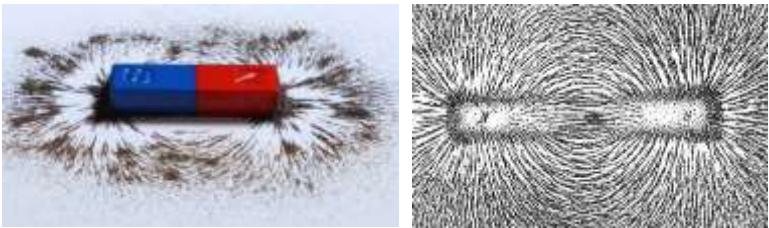
BAB 9

MEDAN MAGNET

Oleh Andi Rosman N

9.1 Pengenalan Konsep Medan Magnet

Pengenalan konsep medan magnet merupakan dasar yang sangat penting dalam pemahaman tentang medan magnetik. Konsep ini berkaitan dengan bagaimana arus listrik dapat menghasilkan medan magnetik, dan bagaimana medan magnetik tersebut mempengaruhi benda yang terkena medan magnetik tersebut.



Gambar 9.1. Medan Magnet

Salah satu hukum yang terkait dengan pengenalan konsep medan magnet adalah Hukum Ampere, yang menyatakan bahwa medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik dapat dihitung dengan mengalikan besarnya arus listrik dengan panjang lintasan yang ditempuh oleh arus tersebut dan dengan konstanta magnetik.

Hukum Biot-Savart juga menjadi bagian dari pengenalan konsep medan magnet. Hukum ini menyatakan bahwa medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik dapat dihitung dengan mengalikan besarnya arus listrik dengan vektor jarak antara

elemen arus dengan titik yang ingin dihitung medan magnetiknya, kemudian dibagi dengan kuadrat jaraknya.

Dalam pengenalan konsep medan magnet, kita juga mempelajari bagaimana medan magnetik terkait dengan arah dan besarnya arus listrik, serta bagaimana medan magnetik dapat diperkuat atau dilemahkan oleh bahan-bahan tertentu, seperti ferromagnetik, diamagnetik, atau paramagnetik.

Pengenalan konsep medan magnet juga melibatkan perhitungan dan pengukuran medan magnetik pada berbagai objek atau sistem, seperti kawat yang berarus, magnet permanen, dan elektromagnet.

Dalam rangka pengenalan konsep medan magnet, penting juga untuk memahami penggunaan medan magnetik dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti pada mesin-mesin elektromagnetik, pembangkit listrik, dan aplikasi medis seperti pencitraan resonansi magnetik (MRI).

Pemahaman yang baik tentang pengenalan konsep medan magnet akan sangat membantu dalam pemahaman yang lebih dalam mengenai sifat dan perilaku medan magnetik, yang penting untuk diterapkan dalam berbagai bidang teknologi dan penelitian.

9.1.1 Medan Magnetik Sebagai Derivatif Dari Arus Listrik

Medan magnetik adalah medan yang dihasilkan oleh benda yang memiliki sifat magnetik, seperti magnet atau arus listrik. Medan magnetik tersebut memiliki arah, besaran, dan polaritas tertentu yang bergantung pada sifat benda magnetik dan besarnya arus listrik yang mengalir pada benda tersebut.

Medan magnetik pada arus listrik dapat dijelaskan sebagai derivatif dari arus listrik yang mengalir pada kawat atau benda konduktor lainnya. Ketika arus listrik mengalir melalui kawat, maka medan magnetik akan muncul di sekeliling kawat tersebut.

Medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik pada kawat dapat dihitung dengan menggunakan Hukum Biot-Savart atau Hukum Ampere. Hukum Biot-Savart menggambarkan bahwa medan magnetik pada suatu titik di sekeliling arus listrik terkait dengan

besar arus yang mengalir melalui lintasan tertutup yang melingkari titik tersebut. Sedangkan, Hukum Ampere menyatakan bahwa medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik dapat dihitung dengan mengalikan besarnya arus listrik dengan panjang lintasan yang ditempuh oleh arus tersebut dan dengan konstanta magnetik.

Medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik dapat digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti motor listrik, generator, dan transformator. Motor listrik menghasilkan gerakan mekanis melalui interaksi medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik dengan medan magnetik yang dihasilkan oleh magnet tetap. Generator, sebaliknya, menghasilkan arus listrik dengan memanfaatkan pergerakan relatif antara medan magnetik dan kumparan konduktor. Transformator menghasilkan voltase dan arus listrik dengan memanfaatkan interaksi medan magnetik antara dua kumparan.

9.1.2 Hukum Ampere

Hukum Ampere adalah salah satu hukum dasar dalam elektromagnetisme yang menjelaskan hubungan antara medan magnet dan arus listrik. Hukum ini pertama kali ditemukan oleh fisikawan Prancis, André-Marie Ampère, pada awal abad ke-19.

Hukum Ampere menyatakan bahwa medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik dapat dihitung dengan mengalikan besarnya arus listrik dengan panjang lintasan yang ditempuh oleh arus tersebut dan dengan konstanta magnetik.

Dalam bentuk matematika, hukum Ampere dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 I \dots\dots\dots 1$$

Di mana:

B adalah medan magnetik pada titik tertentu yang diukur dalam tesla (T)

dl adalah elemen panjang lintasan melingkar searah arus listrik yang diukur dalam meter (m)

I adalah besarnya arus listrik yang mengalir pada lintasan tersebut, diukur dalam ampere (A)

μ_0 adalah konstanta magnetik vakum, yang bernilai $4\pi \times 10^{-7}$ T.m/A.

Hukum Ampere menggambarkan bahwa medan magnetik pada suatu titik di sekeliling arus listrik terkait dengan besar arus yang mengalir melalui lintasan tertutup yang melingkari titik tersebut. Dengan kata lain, hukum Ampere menunjukkan bahwa arus listrik yang mengalir melalui suatu lintasan tertutup akan menghasilkan medan magnetik pada setiap titik pada lintasan tersebut.

Hukum Ampere dapat diterapkan pada berbagai sistem, seperti kawat yang berarus, solenoida, dan toroida. Dalam kawat yang berarus, hukum Ampere dapat digunakan untuk menghitung medan magnetik di sekitar kawat. Pada solenoida dan toroida, hukum Ampere dapat digunakan untuk menghitung medan magnetik di dalam tabung yang terbentuk oleh kawat melingkar.

Hukum Ampere juga berhubungan dengan Hukum Faraday, yang menyatakan bahwa perubahan medan magnetik dapat menghasilkan tegangan listrik pada rangkaian tertutup. Kedua hukum ini saling terkait dalam menjelaskan sifat elektromagnetik dan penggunaannya dalam berbagai aplikasi teknologi.

9.1.3 Hukum Biot-Savart

Hukum Biot-Savart adalah salah satu hukum dasar dalam elektromagnetisme yang menjelaskan hubungan antara medan magnet dan arus listrik. Hukum ini pertama kali ditemukan oleh fisikawan Prancis, Jean-Baptiste Biot dan Félix Savart pada awal abad ke-19.

Hukum Biot-Savart menyatakan bahwa medan magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik dapat dihitung dengan mengalikan besarnya arus listrik dengan vektor jarak antara elemen arus

dengan titik yang ingin dihitung medan magnetiknya, kemudian dibagi dengan kuadrat jaraknya.

Dalam bentuk matematika, hukum Biot-Savart dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3} \dots\dots\dots 2$$

dimana:

dB adalah besarnya medan magnetik yang dihasilkan oleh elemen arus listrik yang diukur dalam tesla (T)

μ_0 adalah konstanta magnetik vakum, yang bernilai $4\pi \times 10^{-7}$ T. m/A

I adalah besarnya arus listrik yang mengalir pada elemen arus listrik yang diukur dalam ampere (A)

dl adalah elemen panjang arus listrik yang diukur dalam meter (m)

r adalah jarak vektor antara elemen arus listrik dan titik yang ingin dihitung medan magnetiknya, diukur dalam meter (m).

Misalkan ada seutas kawat lurus dengan elemen panjang dL dialiri arus listrik sebesar I . Arah dL sama dengan arah I yang dinyatakan dengan $d\vec{L}$. Perhatikan Gambar berikut :



Gambar 9.2. Medan Magnet oleh kawat berarus

Untuk kuat medan magnet pada titik P dapat ditentukan melalui persamaan :

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \int \frac{d\vec{L} \times \vec{r}}{r^3}$$

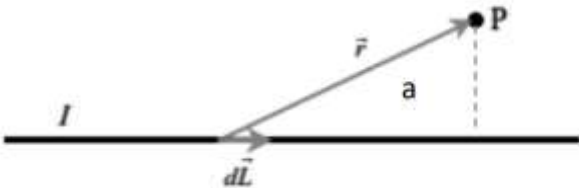
.....3

Penyelesaian persamaan diatas bergantung pada jenis kawat. Apakah kawat berbentuk lurus, melingkar, solenoida ataupun toroida (Siswanto dkk, 2018).

Hukum Biot-Savart berguna dalam menjelaskan sifat magnetik dan dalam mendesain sistem elektromagnetik. Hukum ini juga berhubungan dengan Hukum Ampere, yang menggambarkan hubungan antara medan magnetik dan arus listrik yang melingkupi suatu lintasan tertutup. Kedua hukum ini saling terkait dalam menjelaskan sifat elektromagnetik dan penggunaannya dalam berbagai aplikasi teknologi.

1. Medan Magnet pada Kawat Lurus Berarus

Untuk memahami dengan baik mengenai medan magnet yang terjadi pada kawat lurus berarus, perhatikan gambar berikut !



Gambar 9.3. Medan Magnet oleh kawat lurus berarus

Pada gambar diatas sebuah kawat lurus dengan panjang L. Kemudian sebuah titik P diletakkan dekat kawat tersebut. Untuk menentukan besar medan magnet di titik P akibat adanya kawat berarus dengan panjang L dapat

ditentukan dengan mengambil elemen kawat dL , sudut yang dibentuk oleh elemen dL dengan r adalah θ

Berdasarkan persamaan 3, besar medan magnet di sekitar kawat lurus berarus listrik di titik P dapat dihitung dengan:

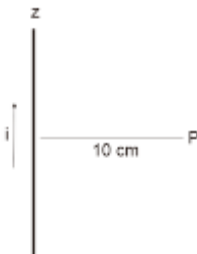
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} \dots\dots\dots 4$$

dengan B : kuat medan magnet (T), a : jarak titik dari penghantar (m), I : kuat arus listrik (A), μ_0 : permeabilitas vakum ($4\pi \cdot 10^{-7}$ T m/A).

Arah medan magnet di titik P dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan. Arah ibu jari bersesuaian dengan arah arus, dan arah jari-jari bersesuaian dengan arah medan magnet di sekitar kawat berarus tersebut.

Contoh Soal:

Sebuah kawat panjang sejajar dengan sumbu z memiliki arus listrik sebesar 3 A mengalir ke arah sumbu positif z . Jika titik P berjarak 10 cm dari kawat, tentukan besar dan arah medan magnetik pada titik P.



Penyelesaian:

Dalam kasus ini, kita dapat menggunakan Hukum Biot-Savart untuk menghitung medan magnetik pada titik P. Medan

magnetik pada titik P dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.

Karena kawat sejajar dengan sumbu z dan titik P terletak pada bidang xy, maka vektor r dapat dihitung sebagai $r = (0.1 \text{ m})i + (0.1 \text{ m})j$. Selain itu, karena arus listrik mengalir ke arah sumbu positif z, maka elemen arus listrik akan sejajar dengan sumbu z dan dl dapat dihitung sebagai $dl = dz \mathbf{k}$.

Maka, dapat dituliskan:

$$dB = \mu_0 (I \cdot dz \mathbf{k} \times (0.1 \text{ m})i + (0.1 \text{ m})j) / (0.1^3 \text{ m}^3) \\ = \mu_0 (0.1 \text{ m} \cdot I \cdot dz) / (2 \times 10^{-4} \text{ m}^3) \mathbf{j}$$

Dalam hal ini, arah medan magnetik akan sejajar dengan sumbu y, karena vektor dB sejajar dengan sumbu y. Oleh karena itu, besar medan magnetik pada titik P dapat dihitung dengan menjumlahkan kontribusi medan magnetik dari seluruh elemen arus pada kawat, yaitu:

$$B = \int dB = \mu_0 I / 2\pi \int (dz / 0.1) \mathbf{j}$$

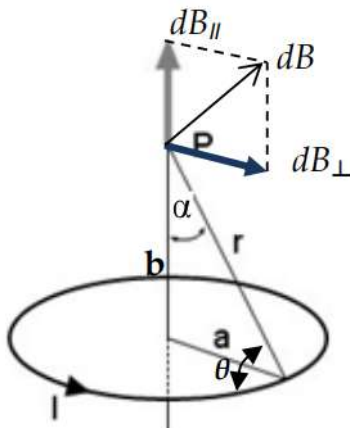
Karena kawat memiliki panjang yang tak terhingga, maka integrasi akan dilakukan dari $-\infty$ hingga $+\infty$. Maka, dapat dituliskan:

$$B = \mu_0 I / 2\pi (\text{integral dari } -\infty \text{ hingga } +\infty \text{ dari } dz / 0.1) \mathbf{j} \\ = \mu_0 I / 2\pi (0) \mathbf{j} = 0 \text{ T}$$

Jadi, besar medan magnetik pada titik P adalah 0 T. Arah medan magnetik sejajar dengan sumbu y.

2. Medan Magnet pada Kawat Melingkar Berarus

Untuk memahami dengan baik mengenai medan magnet yang terjadi pada kawat melingkar berarus, perhatikan gambar berikut !



Gambar 9.4. Medan Magnet oleh kawat melingkar berarus

Besar medan magnet yang terjadi di titik P akibat kawat melingkar berarus dapat ditentukan dengan persamaan:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL \sin \theta}{r^2} \dots\dots\dots 5$$

Perhatikan bahwa elemen dL pada kawat selalu tegak lurus dengan r sehingga sudut yang dibentuk selalu 90° ($\sin \theta = 1$) maka persamaan 5 dapat ditulis:

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL}{r^2} \dots\dots\dots 6$$

Besarnya medan magnet yang dihitung adalah pada komponen yang sejajar (yaitu $dB = dB \sin \alpha$). Hal ini

dikarenakan setiap elemen kawat memiliki pasangan di seberangnya (diametrik) di mana komponen tegak lurus sumbu memiliki besar yang sama akan tetapi arahnya berlawanan, sehingga saling meniadakan. Medan magnet yang dihitung yaitu:

$$\begin{aligned}
 B &= \int dB = \int dB \sin \alpha = \int \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{dL}{r^2} \sin \alpha \\
 &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} \sin \alpha \int dL = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{r^2} \sin \alpha (2\pi a)
 \end{aligned}$$

Ingat $\sin \alpha = a / r$ sehingga:

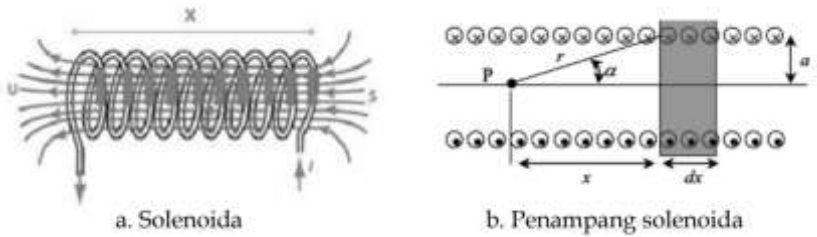
$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{a} \sin^3 \alpha \dots\dots\dots7$$

Jika titik P tepat di pusat lingkaran maka $\sin \alpha = 1$ sehingga persamaan 7 dapat menjadi:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \frac{I}{a} \dots\dots\dots8$$

3. Medan Magnet pada Solenoida

Solenoida merupakan sebuah kumparan dari kawat yang diameternya sangat kecil dibanding panjangnya. Apabila dialiri arus listrik, akan menghasilkan medan magnet. Medan solenoida tersebut merupakan jumlah vektor dari medan-medan yang ditimbulkan oleh semua lilitan yang membentuk solenoida. Kedua ujung pada solenoida dapat dianggap sebagai kutub utara dan kutub selatan magnet, tergantung arah arusnya.



Gambar 9.5. Medan Magnet pada Solenoida

Besar medan magnet pada solenoida di titik P yang berada di ujung atau tepi solenoida dapat ditentukan dengan persamaan:

$$B = \frac{1}{2} \mu_0 n I \dots\dots\dots 9$$

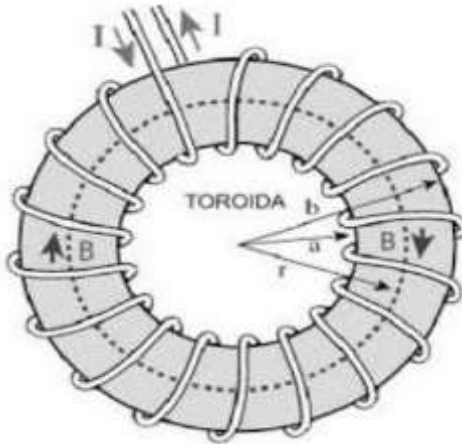
Medan magnet (B) hanya bergantung pada jumlah lilitan per-satuan panjang (n), dan arus (I). Medan tidak tergantung pada posisi di dalam solinoida, sehingga B seragam. Hal ini hanya berlaku untuk solenoid tak hingga, tetapi merupakan pendekatan yang baik untuk titik-titik yang sebenarnya tidak dekat ke ujung.

Sementara untuk besar medan magnet pada solenoida di titik P yang berada di pusat solenoida dapat ditentukan dengan persamaan:

$$B = \mu_0 n I \dots\dots\dots 10$$

4. Medan Magnet pada Toroida

Toroida adalah solenoida panjang yang dilengkungkan sehingga berbentuk lingkaran, seperti yang disajikan pada Gambar berikut:



Gambar 9.6. Medan Magnet pada Toroida

Dengan demikian besarnya medan magnet pada toroida dapat dihitung menggunakan persamaan 10, dengan n merupakan jumlah lilitan tiap satuan panjang. Untuk elemen panjang merupakan keliling toroida yang berbentuk lingkaran, yaitu $2\pi a$ sehingga medan magnet pada toroida adalah:

$$B = \frac{\mu_0 I N}{2\pi a} \dots\dots\dots 11$$

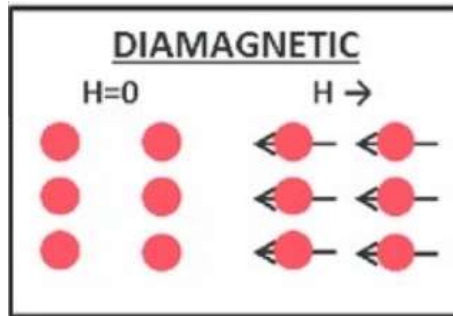
9.2 Sifat Magnetik Bahan

Bahan magnetik adalah bahan yang memiliki kemampuan untuk menarik atau menolak benda lain yang memiliki sifat magnetik. Sifat-sifat bahan magnetik dapat dibagi menjadi tiga kategori, yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik.

9.2.1 Diamagnetik

Bahan diamagnetik adalah bahan magnetik yang memiliki sifat untuk menolak medan magnet luar dan memperlemah medan magnet luar tersebut. Hal ini terjadi karena di dalam atom bahan

tersebut, semua elektron sudah berpasangan dan spin-nya saling membatalkan satu sama lain sehingga tidak ada spin magnetik bersisa. Akibatnya, atom-atom tersebut tidak memiliki momen magnetik netto atau tidak memiliki kutub utara dan selatan.



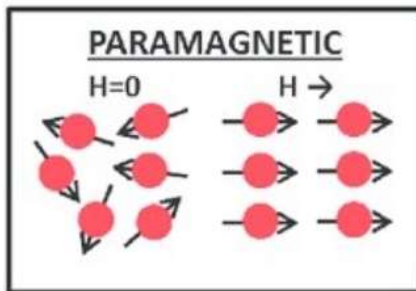
Gambar 9.7. Perilaku medan magnet pada bahan diamagnetik

Karena tidak memiliki momen magnetik netto, magnet diamagnetik tidak menunjukkan sifat magnetisasi spontan dan tidak menarik atau menolak medan magnetik. Namun, ketika ditempatkan dalam medan magnetik yang kuat, magnet diamagnetik akan mengalami polarisasi magnetik yang melawan arah medan magnet luar tersebut. Dalam hal ini, arah magnetisasi diamagnetik akan selalu berlawanan dengan arah medan magnet luar yang diberikan.

Contoh dari bahan magnetik diamagnetik adalah tembaga, emas, perak, dan platina. Walaupun sifat magnetisasi diamagnetik ini sangat lemah dibandingkan dengan sifat magnetisasi pada bahan magnetik lain seperti ferromagnetik dan ferrimagnetik, namun sifat ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi seperti dalam penelitian dan pengembangan material.

9.2.2 Paramagnetik

Bahan paramagnetik adalah bahan magnetik yang memiliki momen magnetik netto yang terbentuk dari elektron-elektron yang tidak berpasangan pada atom-atom di dalamnya. Elektron-elektron ini dapat memutar secara acak dan tidak teratur, sehingga tidak ada momen magnetik netto yang terbentuk. Namun, ketika bahan paramagnetik ditempatkan dalam medan magnet luar, momen magnetik dari elektron-elektron yang tidak berpasangan ini akan berorientasi sejajar dengan medan magnet luar tersebut.



Gambar 9.8. Perilaku medan magnet pada bahan paramagnetik

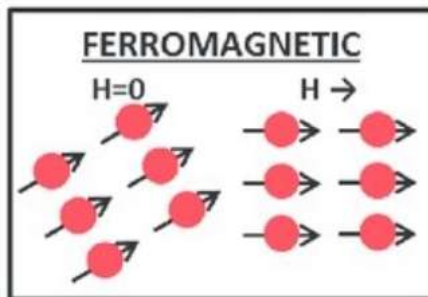
Sehingga, medan magnet luar yang diberikan akan memperkuat momen magnetik atom dan menarik atom-atom tersebut menuju ke dalam medan magnet luar. Oleh karena itu, bahan paramagnetik akan memiliki susceptibilitas magnetik positif, yang mengindikasikan bahwa ia dapat sedikit ter-magnetisasi dan menunjukkan sifat tarik terhadap medan magnet luar.

Beberapa contoh bahan paramagnetik adalah alumunium, platinum, dan titanium. Bahan paramagnetik sering digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti dalam pemisahan material berdasarkan sifat magnetiknya dan dalam penelitian di bidang magnetik dan fisika material. Selain itu, bahan paramagnetik juga

digunakan dalam teknologi diagnostik medis, seperti resonansi magnetik nuklir (NMR) dan gambaran resonansi magnetik (MRI).

9.2.3 Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik adalah bahan magnetik yang memiliki sifat untuk tetap magnetis setelah medan magnet luar dihilangkan. Sifat ini disebut sebagai sifat remanen. Selain itu, bahan ferromagnetik juga menunjukkan sifat magnetisasi spontan atau memiliki momen magnetik netto pada saat tanpa adanya medan magnet luar. Bahan ferromagnetik memperoleh sifat ini karena adanya spin magnetik pada elektron-elektron yang tidak berpasangan pada atom-atom di dalamnya, sehingga atom-atom tersebut memiliki momen magnetik netto.



Gambar 9.9. Perilaku medan magnet pada bahan ferromagnetik

Ketika bahan ferromagnetik ditempatkan dalam medan magnet luar, spin magnetik elektron-elektron ini akan berorientasi sejajar dengan arah medan magnet luar dan memberikan kontribusi besar pada momen magnetik atom, sehingga bahan ferromagnetik akan memiliki susceptibilitas magnetik yang jauh lebih besar dibandingkan dengan bahan paramagnetik.

Beberapa contoh bahan ferromagnetik adalah besi, nikel, kobalt, dan gadolinium. Bahan ferromagnetik sering digunakan

dalam berbagai aplikasi, seperti dalam pembuatan magnet permanen, komponen elektronik seperti hard disk, generator listrik, dan banyak lagi. Selain itu, sifat magnetisasi spontan dan remanen pada bahan ferromagnetik juga dapat dimanfaatkan dalam aplikasi seperti sensor medan magnet dan memori magnetik.

DAFTAR PUSTAKA

- Kiswiranto, Desi. 2018. *Fisika II TGP 1205*: Institut Sains dan Teknologi Akprind.
- Siswanto, J dkk. 2018. *Fisika Dasar Seri Listrik Arus Searah dan Kemagnetan*: UPGRIS Press.

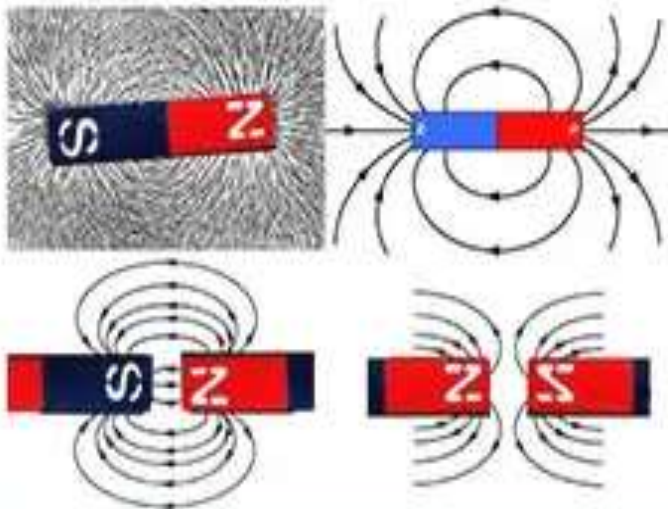
BAB 10

GAYA GERAK LISTRIK INDUKSI

Oleh Unan Yusmaniar Oktiawati

10.1 Pendahuluan

Sebagaimana telah disampaikan pada bab sebelumnya bahwa Medan magnet adalah lingkungan fisik yang dapat mempengaruhi arah dan intensitas dari suatu magnet atau arus listrik atau benda yang mengalirkan arus listrik. Medan magnet dapat diterima oleh partikel-partikel bermuatan dan memberikan gaya pada partikel tersebut, yang mengarah pada perubahan arah atau intensitas suatu magnet atau arus listrik.



Gambar 10.1. Ilustrasi Medan magnet

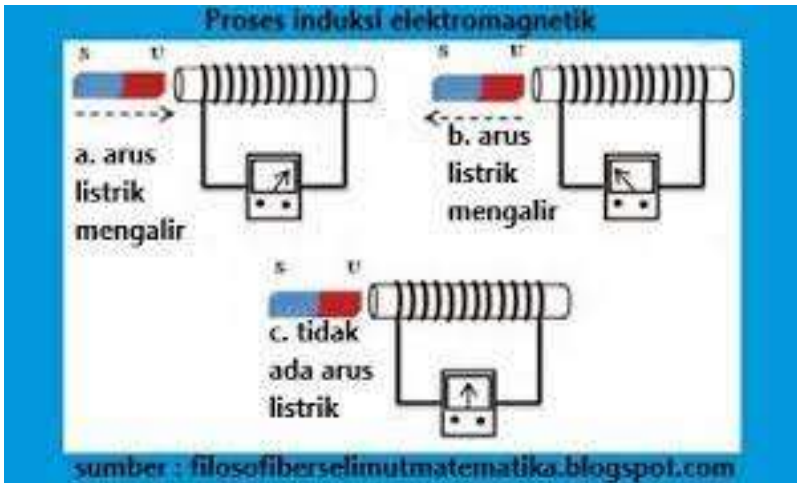
(Sumber : <https://ppidkabbekasi.id/medan-magnet/>, 2023)

Keterkaitan antara medan magnet dan medan listrik serta induksinya itulah yang menjadi dasar Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi. GGL induksi seringkali dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi teknologi, seperti pada transformator, generator listrik, motor listrik, dan sebagainya. Oleh karena itu, pemahaman tentang GGL induksi menjadi sangat penting bagi para ahli teknik listrik dan elektronika maupun pihak yang menggeluti bidang fisika.

10.2 Pengertian GGL Induksi

GGL induksi, atau lebih dikenal dengan istilah bahasa Inggris "*induced voltage*" atau "*Electromotive Force* (EMF)", adalah fenomena di mana adanya perubahan medan magnet di sekitar suatu kawat konduktor akan menimbulkan tegangan listrik di kawat tersebut. Fenomena ini ditemukan oleh Michael Faraday pada abad ke-19 dan menjadi dasar dari prinsip kerja generator listrik. Induksi elektromagnetik adalah cara untuk menghasilkan magnet lewat perubahan fluks. Salah satu syarat dari adanya perubahan fluks adalah magnet yang harus digerakkan menjauh atau mendekat ke dalam lilitan.

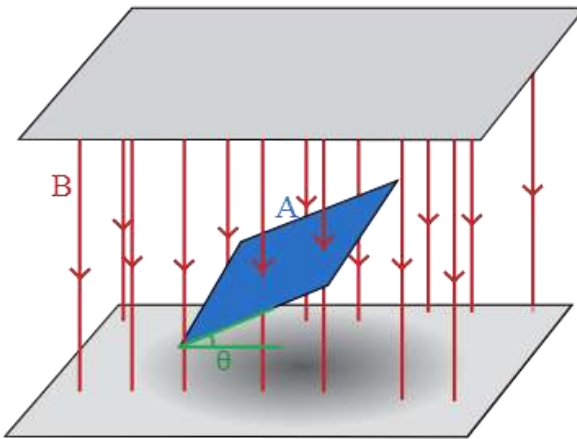
Gaya gerak listrik induksi disebabkan oleh interaksi partikel dengan medan magnet dan dapat menyebabkan partikel berpindah dari satu posisi ke posisi lain. Ketika ada gaya yang diterima oleh partikel yang bergerak melalui medan magnet, saat itulah muncul gaya gerak listrik induksi sebagaimana diilustrasikan pada gambar 10.2.



Gambar 10.2. Ilustrasi Induksi elektromagnetik
 (Sumber : <https://www.ipamts.com/2020/12/induksi-elektromagnetik-dan-penerapannya.html>, 2023)

10.3 Hukum Faraday-Maxwell

Secara umum, GGL induksi dapat dijelaskan dengan hukum Faraday yang menyatakan bahwa besarnya GGL induksi yang dihasilkan pada suatu kawat konduktor sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang melintasi kawat tersebut. Dalam hal ini, fluks magnetik adalah besaran yang mengukur jumlah medan magnet yang melintasi sebuah luasan tertentu seperti digambarkan pada Gambar 10.2.



Gambar 10.2. Ilustrasi fluks magnetik
(Sumber : Khan Academy, 2023)

Untuk memberikan ilustrasi sederhana tentang fluks magnetik, dapat dibayangkan sebuah magnet batang yang ditempatkan di dekat permukaan sebuah meja. Ketika ditempatkan selembar kertas di atas meja dan menaruh magnet di bawahnya, medan magnetik akan menembus kertas dan membentuk pola medan magnetik yang khas.

Jika selembar kertas dibuka dan memotongnya menjadi lingkaran, maka fluks magnetik yang melintasi lingkaran tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$\Phi = BA \cos \theta$$

Fluks magnetik (Φ) = Medan magnetik (B) x Luasan lingkaran (A) x $\cos(\text{theta}, \theta)$

di mana medan magnetik adalah besaran yang mengukur kekuatan medan magnet di suatu titik tertentu, luasan lingkaran adalah ukuran luas permukaan lingkaran yang melintasi medan magnet, dan theta adalah sudut antara arah medan magnetik dengan arah normal permukaan lingkaran.

Dengan cara ini, fluks magnetik yang melintasi suatu permukaan tertentu dapat diukur dan menggunakannya untuk menghitung besarnya ggl induksi yang dihasilkan pada kawat konduktor yang melintasi permukaan tersebut.

$$\xi_{in} = \frac{d\phi}{dt}$$

dimana GGL induksi merupakan laju perubahan Fluks magnetik (Φ) per perubahan waktu (t).

Selain hukum Faraday, prinsip dasar gaya gerak listrik induksi adalah hukum Faraday-Maxwell, yaitu jika suatu medan magnetik berubah atau partikel bergerak melalui medan magnet, maka akan terjadi interaksi yang memproduksi gaya pada partikel tersebut.

Hukum Faraday-Maxwell adalah prinsip fisika yang menjelaskan interaksi antara medan magnet dan arus listrik. Hukum ini terdiri dari dua bagian utama:

1. Hukum Faraday: Jika medan magnetik yang mempengaruhi suatu kumparan berubah, maka akan terjadi arus induksi dalam kumparan tersebut.
2. Hukum Maxwell: Jika arus induksi dalam suatu kumparan berubah, maka akan terjadi medan magnet yang mempengaruhi kumparan tersebut.

Kedua hukum ini saling memperkuat dan membentuk dasar bagi prinsip gaya gerak listrik induksi. Hukum Faraday-Maxwell memberikan dasar untuk memahami bagaimana transformator, generator, dan motor listrik bekerja.

Tidak ada jenis gaya gerak listrik induksi yang spesifik. Dalam setiap aplikasi, gaya gerak listrik induksi digunakan untuk memproduksi atau mentransmisikan listrik tentunya besarnya GGL induksi dipengaruhi berbagai faktor.

10.4 Faktor yang mempengaruhi GGL Induksi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi gaya gerak listrik induksi, antara lain:

1. Medan magnetik: Gaya gerak listrik induksi dipengaruhi oleh intensitas medan magnetik. Semakin kuat medan magnetik, semakin besar gaya yang diproduksi.
2. Kecepatan partikel: Kecepatan partikel mempengaruhi jumlah gaya yang diproduksi. Semakin cepat partikel bergerak, semakin besar gaya yang diproduksi.
3. Jarak antara partikel dan medan magnetik: Jarak antara partikel dan medan magnetik juga mempengaruhi jumlah gaya yang diproduksi. Semakin dekat partikel ke medan magnetik, semakin besar gaya yang diproduksi.
4. Arah partikel: Arah partikel terhadap medan magnet juga mempengaruhi jumlah gaya yang diproduksi. Partikel yang bergerak searah dengan medan magnet akan mengalami gaya yang lebih kecil dibandingkan partikel yang bergerak berlawanan dengan medan magnet.
5. Muatan partikel: Muatan partikel juga mempengaruhi jumlah gaya yang diproduksi. Semakin besar muatan partikel, semakin besar gaya yang diproduksi.

10.5 Contoh Gaya Gerak Listrik induksi

Gaya gerak listrik induksi pada generator listrik merupakan proses dimana sebuah medan magnetik mengarahkan partikel-partikel bermuatan melalui kumparan, sehingga menghasilkan arus listrik. Dalam generator, rotor berputar melalui medan magnet yang diterima oleh kumparan dinamis, memproduksi gaya yang memutar rotor dan membuat mesin berputar. Interaksi antara medan magnetik dan arus yang mengalir melalui kumparan memproduksi gaya gerak listrik induksi yang membuat rotor

berputar dan menghasilkan arus listrik. Ini adalah salah satu contoh penerapan gaya gerak listrik induksi dalam teknologi listrik. Sementara itu, Gaya gerak listrik induksi pada transformator adalah proses dimana arus listrik mengalir melalui kumparan primer dan memproduksi medan magnetik. Medan magnetik ini mempengaruhi kumparan sekunder yang berdekatan, memproduksi gaya gerak listrik induksi yang membuat arus listrik mengalir melalui kumparan sekunder. Transformator mengubah tegangan dan arus dari listrik AC dari satu tingkat ke tingkat lain melalui interaksi medan magnet dan arus listrik. Ini juga merupakan contoh penerapan gaya gerak listrik induksi dalam teknologi listrik.

Contoh lain dari gaya gerak listrik induksi adalah motor listrik. Dalam motor, rotor yang bergerak melalui medan magnet yang diterima oleh kumparan dinamis memproduksi gaya yang memutar rotor dan membuat mesin berputar. Dalam setiap aplikasi, gaya gerak listrik induksi digunakan untuk memproduksi atau mentransmisikan listrik.

10.6 Contoh soal terkait GGL induksi

1. Sumber dari GGL atau gaya gerak listrik adalah...
 - A. **Magnet yang bergerak** di sekitar kumparan
 - B. Muatan listrik yang ada di sekitar kumparan
 - C. Magnet yang diam di sekitar kumparan
 - D. Interaksi kutub magnet di sekitar kumparan
 - E. Dua buah magnet yang mengenai kumparan

Jawaban: A

2. Pada sebuah praktikum fisika dilakukan pengamatan pada sepotong penghantar. Penghantar itu ditarik dalam dua buah medan magnet dengan perubahan fluks sebesar 10 Wb/s dan 5 Wb/s, berapa perbandingan GGL induksinya?

- A. 10:5
- B. 3:2
- C. 1:5
- D. 2:1
- E. 4:1

Jawaban: D

$$\Delta\phi_1 = 10 \text{ Wb/s}$$

$$\Delta\phi_2 = 5 \text{ Wb/s}$$

$$\frac{\xi_1}{\xi_2} = \frac{\Delta\phi_1}{\Delta\phi_2} = \frac{10}{5} = \frac{2}{1}$$

3. Jika sebuah kumparan 40 lilitan mengalami perubahan fluks sebesar 0,05 Wb setiap 0,25 sekon, berapa nilai GGL induksinya?
- A. 6
 - B. 7
 - C. 8
 - D. 9
 - E. 10

Jawaban: C

$$N = 40 \text{ lilitan}$$

$$d\phi = 0,05 \text{ Wb}$$

$$dt = 0,25 \text{ detik}$$

$$\xi_{in} = -N \frac{d\phi}{dt} = -40 \frac{0,05}{0,25} = 8 \text{ volt}$$

4. Alat berikut yang menerapkan GGL induksi adalah...
- A. Pompa air
 - B. Dinamo
 - C. Televisi
 - D. Blender
 - E. Setrika

Jawaban: B

Karena alat tersebut memiliki rotor atau magnet yang bergerak sehingga menimbulkan aliran listrik.

Sumber soal : (<https://www.zenius.net/blog/ggl-induksi>, 2023)

10.7 Penutup

Sebagai penutup, gaya gerak listrik induksi adalah gaya yang diterima partikel yang bergerak melalui medan magnet dan dapat mengarah pada perubahan arah atau intensitas suatu magnet atau arus listrik. Contoh aplikasi gaya gerak listrik induksi meliputi motor listrik, generator listrik, dan transformator. Semoga dapat bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

<https://www.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-magnetic-flux>

<https://ppidkabbekasi.id/medan-magnet/>

<https://www.zenius.net/blog/ggl-induksi>

BAB 11

ARUS BOLAK BALIK

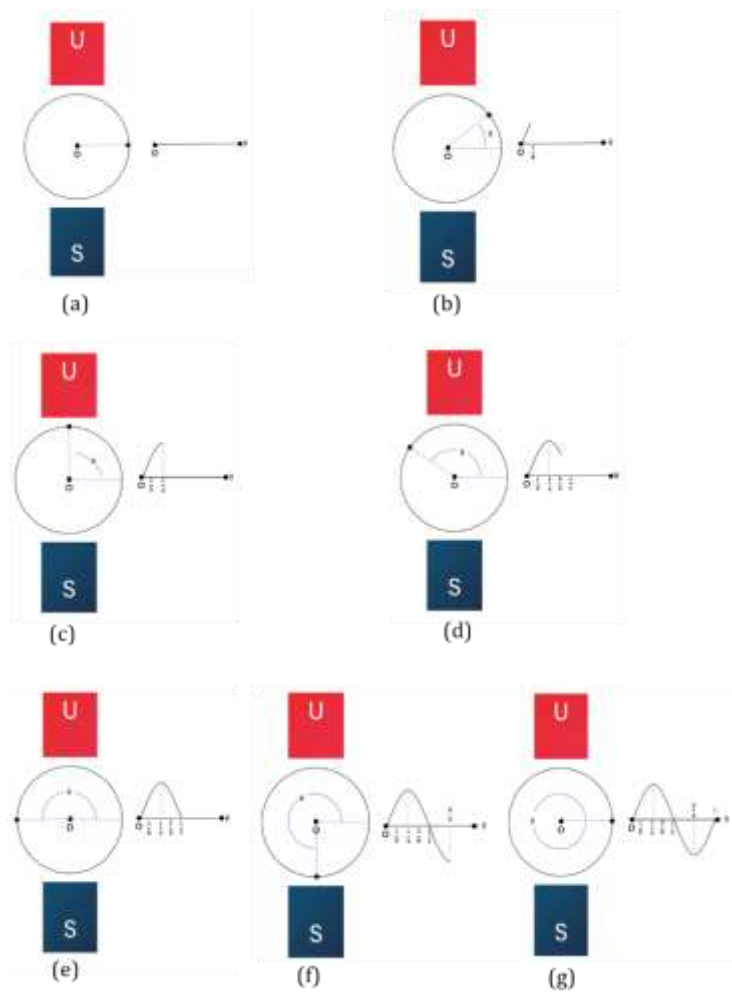
Oleh Astuty

11.1 Pendahuluan

Energi listrik dibangkitkan oleh generator yang didistribusikan melalui saluran transmisi menuju pelanggan baik industri maupun domestik. Dibandingkan dengan arus searah, pembangkitan arus bolak-balik lebih mudah dan murah. Selain dari sisi proses pembangkitan, arus bolak-balik juga lebih mudah dalam proses distribusi (John Bird, 2007). Konversi arus bolak balik dari dan ke nilai tegangan yang lebih besar atau lebih kecil dapat dilakukan dengan mudah menggunakan transformator. Arus bolak balik menggambarkan arus dan tegangan yang nilai dan arahnya berubah-ubah secara periodik.

11.2 Generator ac

Generator ac merupakan mesin yang bekerja untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan menggunakan prinsip elektromagnetis (Wadhwa, 2007). Koil yang berputar pada kecepatan konstan di antara dua kutub magnet, maka *electromotive force* (emf) akan dibangkitkan. Besar magnitude dan arah emf berubah-ubah pada interval yang teratur. Gambar 13.1 menunjukkan interval yang terjadi pada generator yang bekerja.



Gambar 11.13. Rotasi generator membentuk gelombang sinusoidal

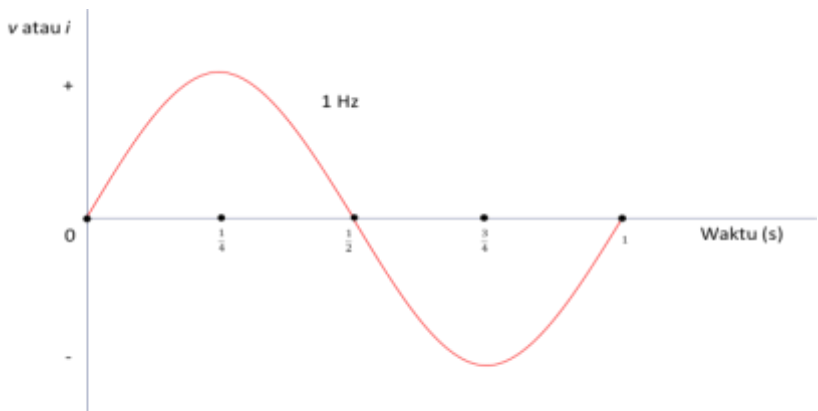
Berdasarkan Hukum Faraday, emf dihasilkan dalam koil dengan magnitudo dan arah yang bervariasi secara berkala.

Gambar 11.13 menunjukkan bahwa pada posisi (a), (e), dan (g) konduktor dari loop secara efektif bergerak sepanjang medan magnet, tidak ada fluks yang dipotong karenanya tidak ada emf diinduksi.

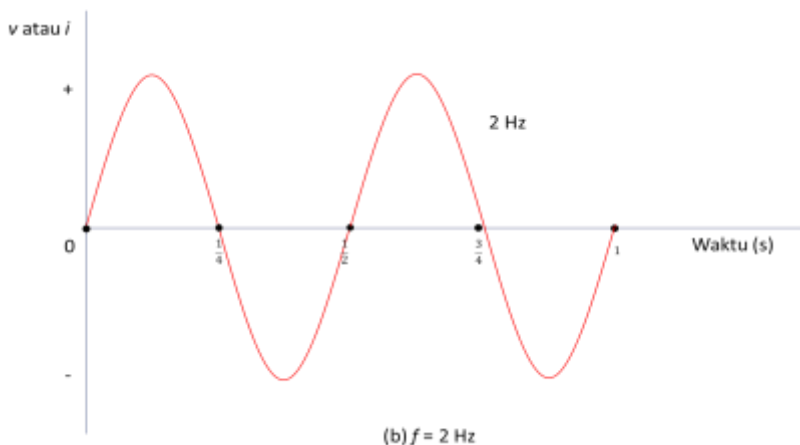
Fux maksimum pada posisi (c) dipotong sehingga terjadi induksi emf maksimum. Induksi emf maksimum juga terjadi pada posisi (f). Namun berdasarkan kaidah tangan kanan Fleming, emf maksimum berada pada arah berlawanan $-E$. Posisi (b) dan (d) menunjukkan beberapa fluks dipotong dan beberapa emf diinduksi.

11.2.1 Frekuensi dan Periode

Jumlah gelombang yang terbentuk per detik disebut dengan frekuensi (f) (Milton Gussow, 1983). Satuan yang digunakan untuk menunjukkan nilai frekuensi adalah Hertz (Hz). Satu siklus per detik sama dengan 1 Hz. Sehingga 60 siklus per detik sama dengan 60 Hz.



(a) $f = 1 \text{ Hz}$



Gambar 11.14. Perbandingan gelombang berdasarkan frekuensi

Total waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu panjang gelombang penuh dikenal dengan periode. Besaran ini disimbolkan dengan T dan memiliki satuan detik s.

$$f = \frac{1}{T} \quad (11.1)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (11.2)$$

f = Frekuensi (Hz)

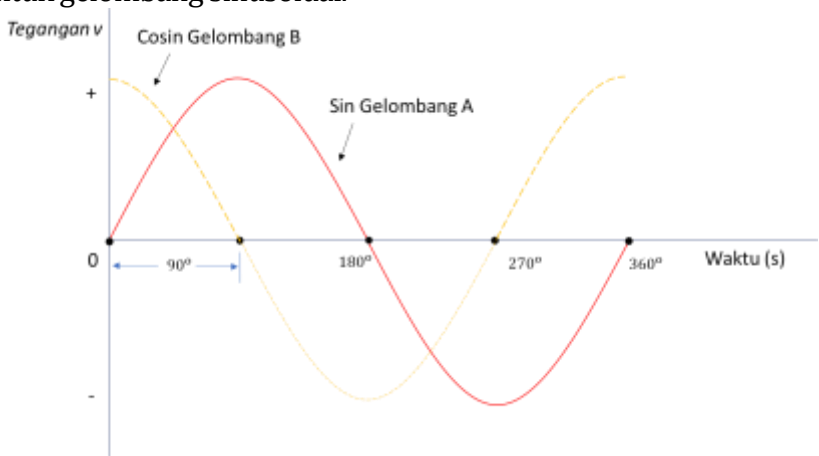
T = Periode (s)

Persamaan (11. 1) dan (11. 2) menunjukkan hubungan antara frekuensi dan periode. Semakin tinggi frekuensi, maka semakin pendek periodenya.

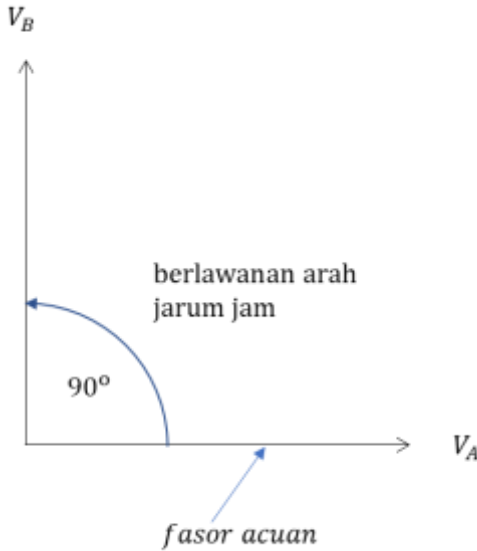
11.2.2 Hubungan antar fasa

Sudut fasa antara dua gelombang dengan frekuensi yang sama diperlihatkan pada Gambar 11.14. Gelombang A dan gelombang B memiliki perbedaan sudut sebesar 90° . Sumbu horisontal memiliki satuan waktu dalam derajat. Gelombang B

pada sudut angular 0° berada pada nilai tegangan maksimum dan mengalami penurunan hingga mencapai nilai nol pada sudut 90° . Ketika gelombang B mencapai nilai maksimum, gelombang A berada pada tegangan 0 V. Hal ini dapat disebut B mendahului (*leading*) A sebesar 90° . Perbedaan 90° antara kedua gelombang akan selalu bertahan selama siklus berlangsung. Berbeda dengan gelombang B yang merupakan gelombang cosinus, gelombang A merupakan gelombang sinus. Kedua gelombang disebut dengan bentuk gelombang sinusoidal.



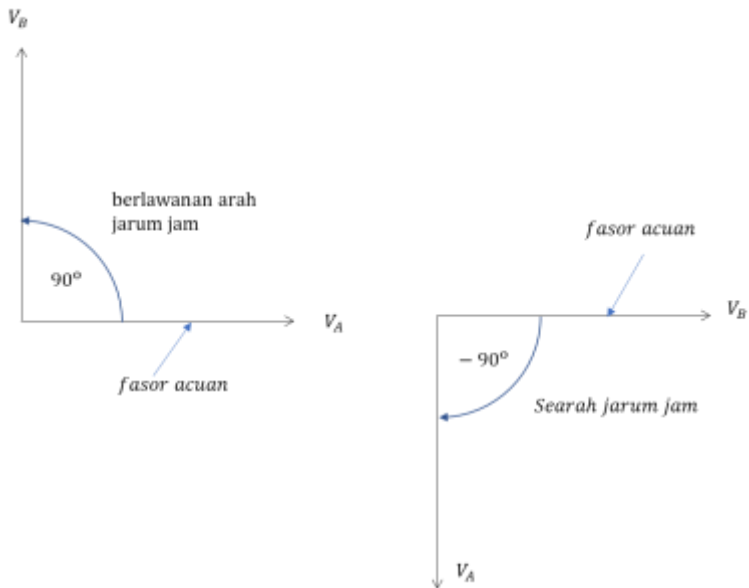
Gambar 11.15. Gelombang B mendahului gelombang A sebesar 90° .



Gambar 11.16. Diagram Fasor

Untuk membandingkan sudut fase atau fase tegangan dan arus bolak-balik, akan lebih mudah menggunakan diagram fasor yang sesuai dengan bentuk gelombang tegangan dan arus. Fasor adalah sebuah besaran yang memiliki besar dan arah. Istilah fasor dan vektor digunakan untuk besaran yang memiliki arah. Namun, besaran fasor berubah terhadap waktu, sedangkan besaran vektor memiliki arah dalam ruang. Panjang panah dalam diagram fasor menunjukkan besarnya tegangan bolak-balik. Sudut panah yang menghadap sumbu horizontal menunjukkan fase sudut. Satu bentuk gelombang dipilih sebagai referensi. Kemudian bentuk gelombang kedua dapat dibandingkan dengan referensi melalui sudut antara panah fasor. Misalnya fasor V_A mewakili gelombang tegangan A dengan sudut fase 0° . Fasor V_B berada pada sumbu vertical untuk menunjukkan sudut fase 90° terhadap fasor V_A yang

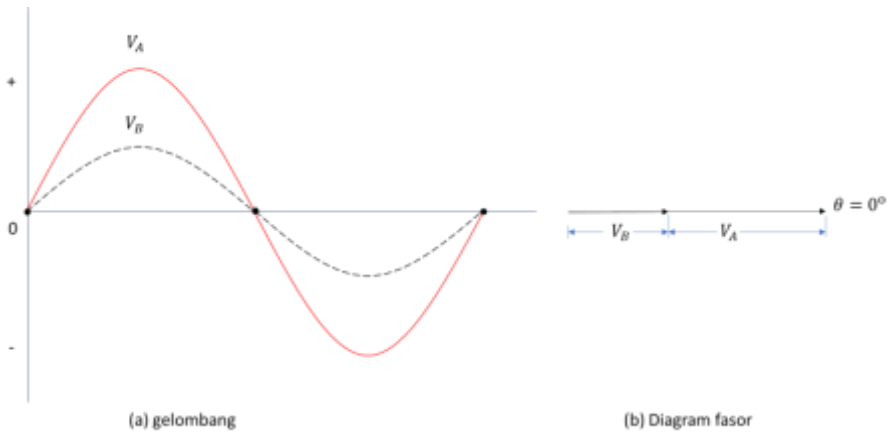
merupakan referensi. Gambar 11.16 Gambar 11.17 menunjukkan arah putaran sudut V_B berlawanan arah jarum jam dan V_B mendahului (*leading*) V_A sebesar 90° .



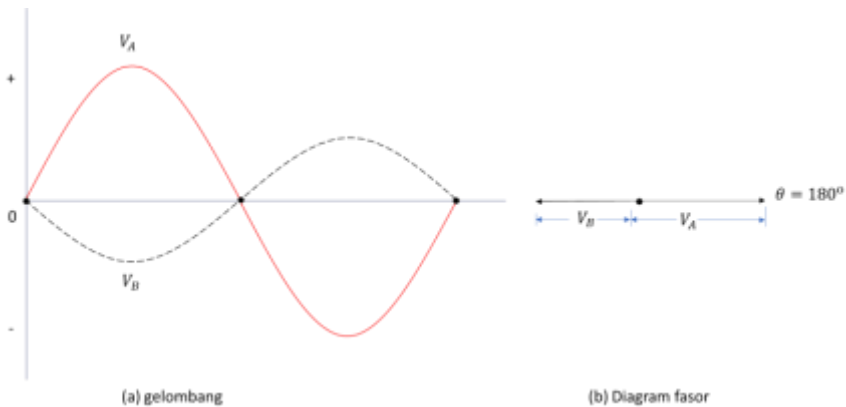
Gambar 11.17. Sudut fasa *leading* dan *lagging*

Fasor referensi atau fasor acuan umumnya berupa garis horizontal bersesuaian terhadap 0° . Rotasi fasor V_A dari fasor acuan searah jarum jam yang ditunjukkan oleh Gambar 11.17 dianggap sebagai kondisi V_A tertinggal (*lagging*) dari V_B sebesar 90° .

Gambar 11.18 menunjukkan dua gelombang pada fase yang sama. Sudut fasa antara dua gelombang tersebut sama dengan nol. Sebaliknya ketika dua gelombang berada pada fase yang berbeda seperti pada Gambar 11.19, maka sudut fasenya sebesar 180° .

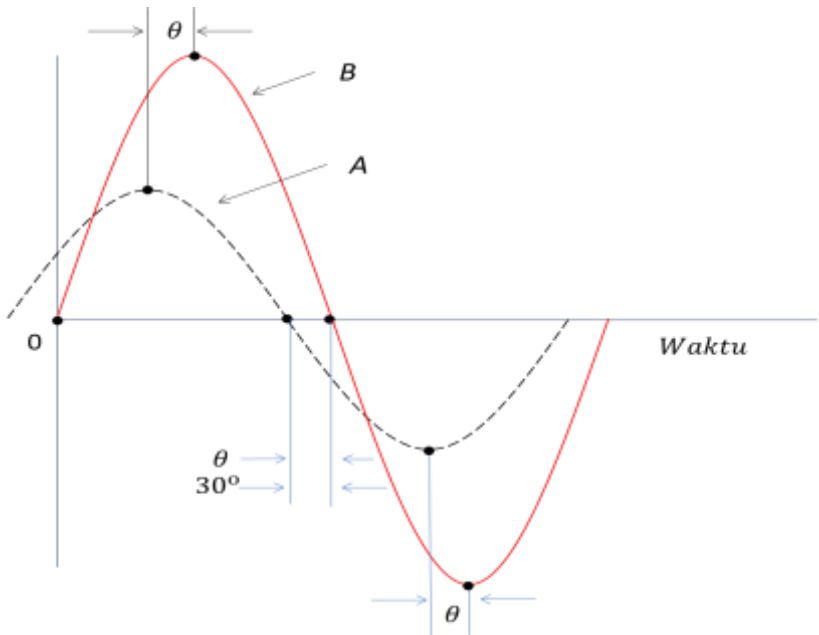


Gambar 11.18. Dua gelombang pada fase yang sama



Gambar 11.19. Dua gelombang pada fase yang berbeda

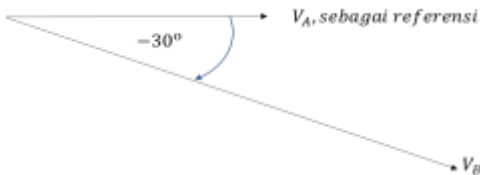
Perhatikan Gambar 11.20 ! Besar sudut fase antara fasor A dan B dapat diketahui dengan membuat diagram fasor.



Gambar 11.20. Gelombang A dan B dengan sudut fasa

Sudut fasa adalah jarak sudut antara titik yang sesuai pada gelombang A dan B. Gelombang A terlebih dahulu melalui titik nol sumbu horizontal sebelum gelombang B. Sehingga dapat dikatakan A mendahului (*leading*) B.

Gelombang A sebagai referensi: V_B tertinggal dari (*Lagging*) V_A sebesar 30° . Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut.



Gelombang B sebagai referensi: V_A mendahului (*leading*) V_B sebesar 30° . Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut.



Garis yang merepresentasikan V_A lebih pendek dibanding V_B karena nilai maksimum V_A lebih kecil dibandingkan dengan nilai maksimum V_B .

11.3 Persamaan pada gelombang sinusoidal

11.3.1 Nilai Arus Bolak-Balik

Tegangan atau arus yang diinduksi yang mengalir setiap saat selama satu siklus didefinisikan sebagai nilai sesaat dari tegangan atau arus (*instantaneous value*). Gelombang sinus mewakili serangkaian nilai-nilai ini. Nilai sesaat tegangan bervariasi dari nol pada sudut 0° hingga maksimum pada sudut 90° , kembali ke nol pada 180° , hingga maksimum pada arah yang berlawanan pada 270° , dan menjadi nol lagi pada 360° .

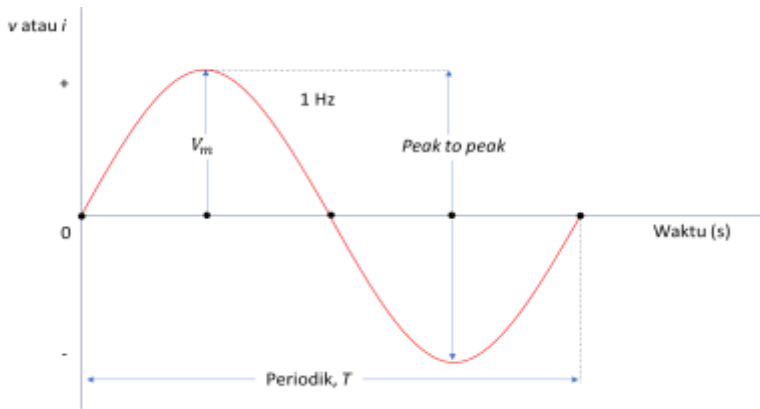
Nilai sesaat yang paling besar dicapai dalam setengah siklus disebut nilai puncak atau nilai maksimum atau amplitudo bentuk gelombang. Nilai ini biasanya dituliskan seperti V_m dan I_m . Nilai tegangan sesaat untuk setiap titik pada gelombang sinus dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$v = V_m \sin \theta \quad (11.3)$$

v = Tegangan sesaat (V)

V_m = Tegangan maksimum (V)

θ = sudut rotasi (derajat)



Gambar 11.21. Nilai *peak- to – peak* pada gelombang

Nilai rata-rata (*average value*) atau nilai *mean* dari nilai bolak-balik simetris pada gelombang sinus didefinisikan sebagai nilai rata-rata yang diukur selama setengah siklus. Nilai rata-rata tegangan untuk gelombang sinus dapat diperoleh melalui persamaan berikut.

$$V_{AV} = \frac{2V_m}{\pi} \quad (11.4)$$

V_{AV} = Tegangan rata-rata (V)

V_m = Tegangan maksimum (V)

Arus yang akan menghasilkan efek pemanasan yang sama dengan efek yang dihasilkan arus searah dalam waktu dan melalui hambatan yang sama disebut dengan nilai efektif . Nilai efektif digunakan untuk mengukur besarnya tegangan dan arus bolak-balik. Nilai ini juga disebut dengan nilai *root mean square* (rms). Contoh penggunaan besaran ini adalah tegangan PLN 240 V. Nilai tegangan 240 V diasumsikan sebagai nilai rms. Berikut adalah persamaan arus dan tegangan efektif.

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (11.5)$$

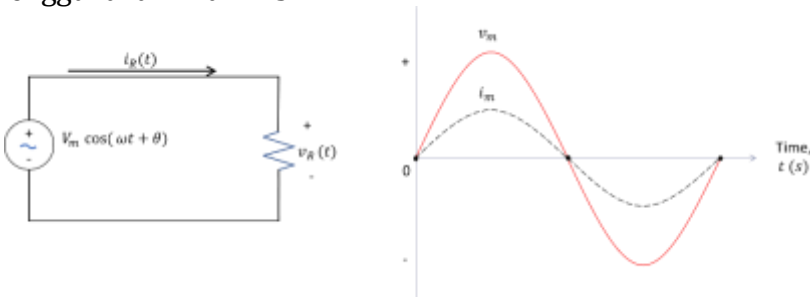
$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (11.6)$$

I_{ef} = Arus efektif

V_{ef} = Tegangan efektif

11.3.2 Beban resistif yang terhubung dengan sumber arus bolak balik

Suatu rangkaian dengan beban resistor seperti pada Gambar 11.22, memiliki variasi arus sefase dengan tegangan yang diberikan. Hubungan dalam fase antara V dan I menunjukkan bahwa sirkuit ac yang hanya terhubung pada beban yang bersifat resistif dapat dianalisis dengan metode yang sama pada analisis rangkaian dc. Perhitungan dalam rangkaian ac, umumnya menggunakan nilai rms.



Gambar 11.22. Sebuah resistor terhubung dengan sumber ac

Nilai tegangan pada resistor dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$v_R(t) = v_m \cos(\omega t + \theta) \quad (11.7)$$

Arus yang melalui resistor memiliki gelombang sinusoidal yang sama.

$$i_R(t) = i_m \cos(\omega t + \theta) = \frac{v_m}{R} \cos(\omega t + \theta) \quad (11.8)$$

11.3.3 Beban kapasitif yang terhubung dengan sumber arus bolak balik

Kapasitansi dalam Rangkaian ac menghasilkan arus yang tergantung pada waktu yang digeser dalam fasa sebesar 90° (Ozgur Ergul, 2017). Hal ini terkait dengan tegangan sumber yang menimbulkan efek yang dikenal sebagai reaktansi kapasitif.

Bentuk rangkaian sederhana yang melibatkan sumber tegangan sinusoidal dan sebuah kapasitor dapat dituliskan sebagai berikut.

$$v_C(t) = v_m \cos(\omega t + \theta) \quad (11.9)$$

Arus yang melewati kapasitor dapat diperoleh menggunakan persamaan (11.9).

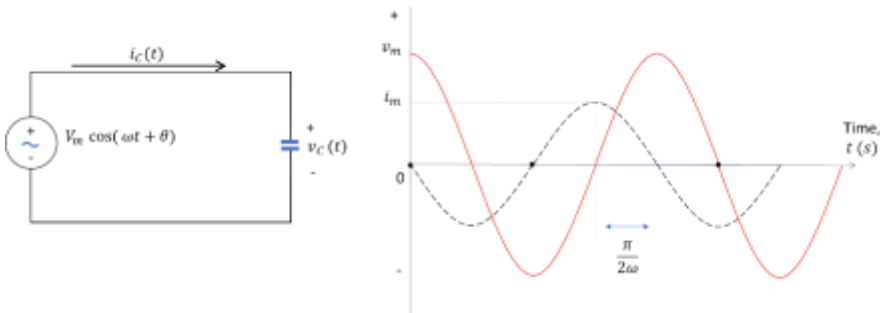
$$\begin{aligned} i_C(t) &= C \frac{dv_C(t)}{dt} = -\omega C v_m \sin(\omega t + \theta) \\ &= -\omega C v_m \cos(\omega t + \theta - \pi/2) \end{aligned} \quad (11.10)$$

Sudut $\pi/2$ rad = 90° merupakan selisih sudut antara tegangan dan arus. Ketika $\theta = 0$, maka

$$\begin{aligned} v_C(t) &= v_m \cos \omega t \\ i_C(t) &= -\omega C v_m \cos(\omega t - \pi/2) \\ &= \omega C v_m \cos(\omega t + \pi/2) \end{aligned} \quad (11.11)$$

$$i_c(t) = \frac{v_m}{1/\omega C} \cos(\omega t + \pi/2) \quad (11.12)$$

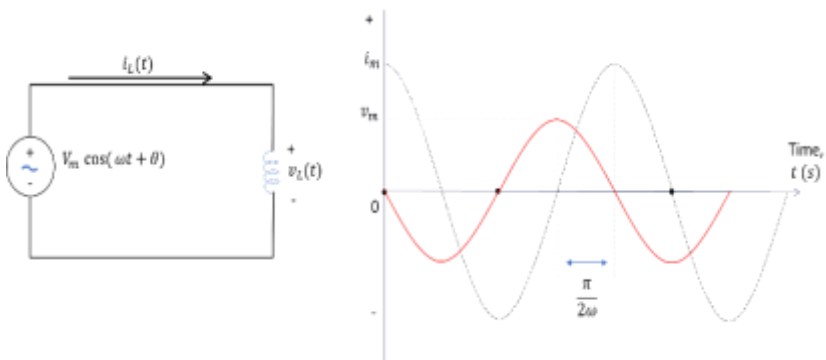
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.23, arus kapasitor mendahului tegangannya sebesar 90° . Pada persamaan (11.12), $1/\omega C$ merepresentasikan reaktansi kapasitif.



Gambar 11.23. Sebuah kapasitor terhubung dengan sumber ac

11.3.4 Beban induktif yang terhubung dengan sumber arus bolak balik

Induktansi pada sebuah induktor dalam rangkaian ac, disebabkan oleh medan magnet konduktor yang membawa arus. Arus ini menciptakan fluks magnet yang sebanding dengan arus. Terjadinya perubahan arus menghasilkan tegangan yang melintasi induktor yang berlawanan dengan penyebabnya. Jadi tegangan jatuh pada induktor merupakan reaksi terhadap perubahan arus yang melaluinya. Jika arus sesaat mencapai puncaknya, maka tegangan sesaat adalah nol. Jika tegangan sesaat berada pada puncaknya, itu berarti laju perubahan arus sesaat berada pada maksimumnya. Dengan demikian gelombang tegangan 90° berbeda fase dengan gelombang arus. Dengan demikian arus tertinggal dari tegangan sebesar 90° seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.24.



Gambar 11.24. Sebuah induktor terhubung dengan sumber ac

Arus yang melalui induktor dapat dituliskan pada persamaan

$$i_L(t) = i_m \sin(\omega t + \theta) \quad (11.13)$$

Selanjutnya dapat dituliskan

$$\begin{aligned} v_L(t) &= L \frac{di_L(t)}{dt} \\ &= -\omega L i_m \sin(\omega t + \theta) \\ &= -\omega L i_m \cos\left(\omega t + \theta - \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (11.14)$$

Beda sudut fase antara tegangan dan arus pada sebuah induktor adalah $\pi/2$ rad = 90° . Jika $\theta = 0$, maka

$$\begin{aligned} i_L(t) &= i_m \cos(\omega t) \\ v_L(t) &= -\omega L i_m \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \\ v_L(t) &= \omega L i_m \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned} \quad (11.15)$$

Dengan demikian, tegangan pada konduktor mendahului arus induktor sebesar 90° atau arus pada induktor tertinggal dari tegangan sebesar 90° .

DAFTAR PUSTAKA

- John Bird. 2007. *Electrical Circuit Theory and Technology*. Great Britain: Elsevier Ltd.
- Milton Gussow. 1983. *Theory and Problems of Basic Electricity*. United States of America: McGraw-Hill.
- Ozgur Ergul. 2017. *Introduction to Electrical Circuit Analysis*. Turkey: John Wiley and Sons Ltd
- Wadhwa. 2007. *Basic Electrical Engineering Fourth Edition*. New Delhi: New Age International (P) Limited, Publishers.

BIODATA PENULIS



Arif Rahman Hakim, M. Si

Dosen Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar
STKIP Taman Siswa Bima

Penulis lahir di Bima-Nusa Tenggara Barat tanggal 06 Juni 1991. Penulis adalah salah satu dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar di STKIP Taman Siswa Bima. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 pada jurusan ilmu fisika Universitas Brawijaya di tahun 2012 dan 2014. Penulis menekuni bidang menulis sejak menjadi Dosen pada tahun 2015. Tulisan yang dihasilkan berupa buku dan beberapa jurnal ilmiah khususnya dalam bidang IPA, Sains dan Fisika.

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



Siti Shofiah, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi D3 Teknologi Otomotif
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan

Penulis lahir di Tegal. Penulis telah menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Fisika dan melanjutkan S2 pada Program Studi Ilmu Fisika. E-mail sitishofiah@pktjac.id

BIODATA PENULIS



Muhammad Nasir, M.Si

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

Penulis lahir di Nagan Raya, Aceh, 12 Januari 1990. Penulis memperoleh gelar sarjana dari Universitas Syiah Kuala jurusan Pendidikan Fisika pada tahun 2011 dan gelar magister dari Institut Teknologi Bandung jurusan Fisika bidang Biofisika dan Fisika Medis pada tahun 2015. Penulis beralamat di Jalan Cendrawasih Kuta Alam Kota Banda Aceh. Penulis aktif melakukan penelitian dalam bidang radiodiagnostik dan miskonsepsi dalam pembelajaran Fisika. Selain itu, penulis juga aktif terlibat dalam berbagai kegiatan, diantaranya narasumber peningkatan kemampuan matematika guru SD, narasumber pelatihan standarisasi pengelolaan laboratorium IPA di Banda Aceh, Aceh Besar dan Simuelue, serta dewan juri pemilihan guru dan tenaga kependidikan berprestasi Provinsi Aceh. Mata kuliah yang diampu oleh penulis antara lain Fisika Dasar, *English for Physics*, Fisika Matematika I dan II, serta Fisika Statistik. Penulis dapat dihubungi melalui surel *muhammad.nasir@ar-raniry.ac.id*.

BIODATA PENULIS



La Ode Asmin, S.Si., M.Sc.
Staf Dosen IAIN Kendari

La Ode Asmin, S.Si., M.Sc. Lahir dan dibesarkan di desa bagian timur Kabupaten Muna tepatnya di desa Pola tanggal 26 Desember 1988. Menempuh pendidikan dasar dari SD sampai SMA di Pola Kecamatan Pasir Putih. Melanjutkan pendidikan S-1 tahun 2007 dan Lulus di Program Studi Fisika FMIPA Universitas Halu Oleo (UHO) tahun 2012. Lulus S2 di Program Pascasarjana Ilmu Fisika Universitas Gadjah Mada Yogyakarta tahun 2015. Sejak kuliah S1 aktif sebagai Koordinator Praktikum di Laboratorium Dasar Unit Fisika UHO. Karir mengajar dimulai sejak tahun 2016 sebagai dosen tetap Bukan-PNS Program Studi Tadris Fisika Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan IAIN Kendari dan terangkat menjadi PNS tahun 2020. Mengampu mata kuliah Fisika Dasar I dan II (dan Fisika Dasar Untuk Mahasiswa Biologi), Fisika Matematika (I dan II), Fisika Kuantum, Fisika Zat Padat, dan Gelombang dan Optik.

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



Feby Permata Sari, S.Pd.

Mahasiswa Prodi Pendidikan Sains

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA)

Penulis merupakan mahasiswa Magister Pendidikan Sains, Universitas Negeri Yogyakarta. Penulis menyukai bidang sains dan pedagogi. Sejak pandemi, penulis mencoba menuliskan satu buku solo berjudul *Metamorfosis: Kisah Perjalanan Hidup dengan Metamorfosis Sempurna*. Beberapa buku antologi yang pernah ditulis berjudul: *Masih Ada Hari Esok*, *Be a Better You, Start From Here!*, *Guru Santai Saat Pandemi*, *Jangan Nyerah*, dan *Serabut Asa*.

BIODATA PENULIS



Langgeng Asmoro, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif
Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan tegal

Penulis lahir di Grobogan tanggal 07 september 1993, Penulis menempuh pendidikan untuk pendidikan jenjang strata 1 (S1) di Program studi Pendidikan Fisika di Universitas sebelas maret Surakarta. penulis menyelesaikan pendidikan S1 Penulis pada tahun 2015, kemudian penulis melanjutkan jenjang magister/ Strata 2 (S2) program studi Ilmu Fisika di Institut Teknologi Bandung dan menyelesaikan pendidikan S2 pada tahun 2018. Penulis bertugas di bawah Badan Pengembangan SDM Perhubungan yaitu di UPT Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan (PKTJ) Sebagai seorang Dosen. Pengabdian Penulis di Kemenhub dimulai sejak Penulis dinyatakan lolos dan diterima sebagai ASN pada tahun 2019 dengan formasi Dosen Asisten Ahli dengan spesifikasi sebagai dosen mata kuliah Fisika, sejak saat itu Penulis mulai aktif bekerja hingga saat ini.

BIODATA PENULIS



Andi Rosman N, S.Si., M.Si.

Dosen Program Studi Pendidikan Fisika
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan (FKIP)
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Bone tanggal 10 Agustus 1987. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Makassar pada tahun 2010 dan melanjutkan S2 pada Jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menekuni bidang Fisika terutama untuk konsentrasi atau bidang minat Fisika Instrumentasi.

BIODATA PENULIS

Unan Yusmaniar Oktiawati

Dosen Departemen Teknik Elektro dan Informatika
Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada

Penulis lahir di Jakarta. Merupakan salah satu dosen tetap pada Departemen Teknik Elektro dan Informatika Fakultas Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan S2 serta S3 pada *Electrical and Electronics Engineering Department* Universiti Teknologi PETRONAS Malaysia. Penulis menekuni bidang menulis terkait Teknik Elektro dan *Internet of Things*, termasuk mengelola web elektronika.sv.ugm.ac.id serta bergabung pada *Centre of Excellence Smart System* di *Teaching Industry Learning Centre* Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. Penulis dapat dihubungi melalui email unan_yusmaniar@ugm.ac.id.

BIODATA PENULIS



Astuty, S.Pd., M.Eng

Dosen Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi
Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Penulis lahir di Sidrap tanggal 11 Februari 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Pendidikan Teknik Elektro dan melanjutkan S2 pada Jurusan Teknik Elektro. Penulis menekuni bidang sistem tenaga listrik yang meliputi pembangkitan energi listrik dan sistem transmisi listrik.