

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/336285049>

FISIKA DASAR I

Book · April 2018

CITATIONS

0

READS

144,845

2 authors:



Nurlina Nurlina

Muhammadiyah University of Makassar

29 PUBLICATIONS 15 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Riskawati Riska

Muhammadiyah University of Makassar

17 PUBLICATIONS 52 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

NURLINA | RISKAWATI



Fisika Dasar I

Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan
Universitas Muhammadiyah Makassar
2017

ISBN: 978-602-8187-70-1



FISIKA DASAR

Oleh
Nurlina
Riskawati

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA

HIBAH REVITALISASI
DIREKTORAT PEMBELAJARAN DAN KEMAHASISWAAN
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN DIKTI
2018

FISIKA DASAR I



**Nurlina
Riskawati**

**LPP UNISMUH MAKASSAR
2017**

FISIKA DASAR I

Copyright@penulis 2017

Penulis

**Nurlina
Riskawati**

Editor

Muh. Fakhruddin S

Tata Letak

Mutmainnah

xvi+232 halaman

17 x 23 cm

Cetakan I : Oktober 2017

ISBN : 978-602-8187-70-1

Penerbit

LPP Unismuh Makassar

Jl. Sultan Alauddin Km 7 No. 259 Makassar

Telp. 0411-866972/Fax. 0411-865588

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip dana tau memperbanyak tanpa izin tertulis dari
Penerbit sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun, baik cetak,
footprint, microfilm dan sebagainya.

FISIKA DASAR 1

PRAKATA

Bahan ajar ini disusun berdasarkan kurikulum yang berlaku di jurusan fisika dasar yang materinya bersumber dari berbagai literatur, baik literatur yang sudah lama maupun yang baru. Kajian materi dalam buku ini senantiasa mengikuti perkembangan pendidikan moral yang ada dalam setiap kebijakan pemerintah. Dimana di bab pertama buku ini membahas mengenai besaran dan vektor sebagai pendahuluan, kemudian dilanjutkan di bab berikutnya dengan materi inti tentang kinematika dan dinamika, usaha dan energi, elastisitas, momentum, rotasi benda tegar, optik geometri, rangkaian listrik, getaran dan gelombang, serta kalor.

Bahan ajar yang disusun dalam konsep yang tentunya yang masih sangat sederhana dan tidak tertutup kemungkinan terdapat kekurangan, sebagai penyusun mengharapkan kepada pembaca untuk memberi masukan demi kesempurnaan buku ajar ini.

Atas segala dukungan dan perhatian serta sumbangan pemikiran yang diberikan, kami haturkan terimakasih, semoga pahala yang berlimpah dikaruniakan dari Yang Maha Kuasa, Amin

Wassalam,

Makassar, 13 Juli 2017

Penyusun

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR SIMBOL.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Besaran.....	2
1. Besaran Pokok.....	3
2. Besaran Turunan	3
B. Fungsi.....	4
C. Diferensial	5
D. Integrasi.....	6
E. Vektor.....	9
1. Penjumlahan & Pengurangan Vektor	10
2. Perkalian Vektor.....	13
3. Vektor Satuan.....	15
Rangkuman	18
Latihan.....	19
Evaluasi	20
BAB II KINEMATIKA DAN DINAMIKA	23
A. Jarak dan Perpindahan	25
B. Kecepatan dan Percepatan	26
1. Kecepatan Rata-Rata dan Kecepatan Sesaat	26

2. Percepatan Rata-Rata dan Percepatan Sesaat.....	28
C. GLB Dan GLBB	29
1. Gerak Dengan Kecepatan Konstan (GLB).....	30
2. Gerak Dengan Percepatan Konstan (GLBB).....	32
D. Gerak Peluru	34
E. Gerak Melingkar	36
F. Hukum Newton Tentang Gerak	38
1. Hukum Newton I.....	38
2. Hukum Newton II.....	39
3. Hukum Newton III	41
4. Hukum Gravitasi Newton.....	41
G. Macam-Macam Gaya.....	43
1. Gaya Berat.....	43
2. Gaya Normal	44
3. Gaya Gesek	44
Rangkuman	47
Latihan.....	49
Evaluasi	50
BAB III USAHA DAN ENERGI	54
A. Usaha.....	57
B. Energi.....	59
1. Energi Kimia	60
2. Energi Listrik.....	60
3. Energi Panas	61
4. Energi Kinetik	61
5. Energi Potensial.....	63
6. Hukum Kekekalan Energi	66
7. Daya	67

Rangkuman	68
Latihan.....	69
Evaluasi	70
BAB IV ELASTISITAS DAN GAYA PEGAS.....	74
A. Tegangan dan Regangan	76
B. Modulus Elastisitas	78
C. Hukum Hooke	80
D. Energi Potensial Pegas	82
Rangkuman	84
Latihan.....	85
Evaluasi	86
BAB V MOMENTUM DAN TUMBUKAN.....	90
A. Momentum.....	91
B. Impuls	93
1. Impuls Sama dengan Perubahan Momentum.....	94
2. Tumbukan dan Hukum Kekekalan Momentum	95
3. Menurunkan Hukum Kekekalan Momentum dengan Menggunakan Hukum Newton III	97
4. Jenis-Jenis Tumbukan	99
5. Pusat Massa	103
Rangkuman	109
Latihan.....	110
Evaluasi	111
BAB VI ROTASI BENDA TEGAR.....	115
A. Kinematika Rotasi	117
B. Dinamika Rotasi	118
1. Torsi dan Momentum Sudut.....	118

2. Momen Inersia.....	120
3. Energi Kinetik Rotasi	123
Rangkuman	125
Latihan.....	126
Evaluasi	127
BAB VII OPTIK GEOMETRI.....	131
A. Pemantulan Cahaya.....	132
1. Pemantulan pada Cermin Datar.....	133
2. Pemantulan pada Cermin Lengkung	134
B. Pembiasan Cahaya	137
1. Indeks Bias Mutlak.....	138
2. Pembiasan pada Medium Plan Paralel	139
3. Pembiasan pada Prisma	140
4. Pembiasan pada Lensa.....	142
C. Kekuatan (Daya) Lensa.....	147
D. Susunan Lensa dengan Sumbu Utama Berimpit.....	148
E. Penyimpangan Pembentukan Bayangan pada Lensa	149
1. Aberasi Sferis	149
2. Astigmatisma.....	149
3. Distorsi	150
4. Lengkungan Bidang Bayangan	150
5. Aberasi Kromatis.....	150
Rangkuman	151
Latihan.....	153
Evaluasi	154
BAB VIII ARUS DAN RANGKAIN LISTRIK.....	157
A. Gaya Gerak Listrik.....	158
B. Hukum Ohm.....	159
C. Rangkaian Listrik.....	162
1. Kuat Arus dalam Rangkaian Tidak Bercabang	162
2. Kuas Arus dalam Rangkaian Bercabang	163

D. Rangkaian Resistor	163
1. Rangkaian Resistor Seri	163
2. Rangkaian Resistor Paralel.....	165
E. Penerapan Hukum Ohm dan Hukum 1 Kirchoff	168
Rangkuman	170
Latihan.....	171
Evaluasi	172
BAB IX GETARAN DAN GELOMBANG	176
A. Getaran	177
1. Bandul	177
2. Bandul Mekanis.....	179
3. Getaran yang Dipaksakan Resonansi	179
4. Energi Getaran.....	180
B. Gelombang.....	182
Rangkuman	184
Latihan.....	185
Evaluasi	186
BAB X KALOR	189
A. Kalor Sebagai Transfer Energi.....	191
B. Kuantitas Kalor	191
C. Kalor Laten	193
D. Perpindahan Kalor	195
1. Konduksi	195
2. Konveksi.....	197
3. Radiasi.....	197
Rangkuman	200
Latihan.....	201
Evaluasi.....	202
DAFTAR PUSTAKA	200
Apendiks 1: Beberapa Fungsi dan Bentuk Grafiknya.....	208
Apendiks 2: Beberapa Rumus Diferensial	209

Apendiks 3: Beberapa Integral Tidak Tentu ($a, b, C = \text{konsta}$)	210
Apendiks 4: Koordinat Cartesien untuk Vektor Satuan.....	211
Apendiks 5: Persamaan-Persamaan Gerak Kinematika untuk Gerak Peluru...	213
Apendiks 6: Hubungan Antara Gerak Rotasi dengan Gerak Translasi.....	214
GLOSSARY.....	215

DAFTAR SIMBOL

a	:	Percepatan suatu benda
\bar{a}	:	Percepatan rata-rata
α	:	Percepatan sudut
a_T	:	Percepatan tangensial
a_C	:	Percepatan sentripetal
A	:	Luas permukaan
a_{pm}	:	Percepatan pusat massa
c	:	Kecepatan cahaya dalam ruang hampa
e	:	Regangan
E	:	Energi
E_k	:	Energi kinetik
E_M	:	Energi mekanik
E_p	:	Energi potensial
f	:	Frekuensi
$f(x)$:	Bentuk suatu fungsi
f_g	:	Gaya gesek
f_k	:	Gaya gesek kinetis
f_s	:	Gaya gesek statis
F	:	Gaya yang diberikan pada suatu benda (Newton)
F_C	:	Gaya sentripetal
g	:	Percepatan gravitasi
G	:	Konstanta gravitasi universal ($G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$)
h	:	Tinggi suatu benda
i	:	Vektor satuan pada sumbu X
I	:	Impuls
I	:	Kuat arus
j	:	Vektor satuan pada sumbu Y
k	:	Vektor satuan pada sumbu Z

k	:	Konstanta pegas
l	:	Momentum sudut
L_0	:	Panjang awal
ΔL	:	Perubahan panjang
m	:	Massa suatu benda
n	:	Jumlah bayangan yang dihasilkan cermin
N	:	Gaya normal
v	:	Kecepatan suatu benda
ρ	:	Hambat jenis kawat penghantar
P	:	Daya dan Momentum
Q	:	Kalor
r	:	Jarak suatu benda
τ	:	Torka
R	:	Hambatan
R_p	:	Hambatan pengganti untuk rangkaian paralel
R_s	:	Hambatan pengganti untuk rangkaian seri
r_{pm}	:	Pusat massa sebuah sistem banyak partikel
t	:	waktu
Δt	:	selang waktu (perubahan waktu)
T	:	Periode
v	:	Kecepatan
V	:	Beda potensial
\bar{v}	:	Kecepatan rata-rata
Δv	:	Perubahan kecepatan suatu benda
v_0	:	Kecepatan awal suatu benda
v_t	:	Kecepatan akhir suatu benda
v_{pm}	:	Kecepatan pusat massa
W	:	Usaha
ω	:	Kecepatan sudut
x	:	Jarak
Δx	:	Perubahan jarak

x_0	:	Jarak awal suatu benda
x_t	:	Jarak akhir suatu benda
x_{pm}	:	Pusat massa yang berada pada sumbu X
y_{pm}	:	Pusat massa yang berada pada sumbu Y
z_{pm}	:	Pusat massa yang berada pada sumbu Z
θ	:	Perpindahan sudut
μ_k	:	Koefisien gesek kinetis
μ_s	:	Koefisien gesek statis
σ	:	Tegangan
γ	:	Modulus Young
λ	:	Panjang gelombang

DAFTAR TABEL

No.	Tabel	Halaman
Tabel 1.1	Besaran Pokok Dan Dimensinya	3
Tabel 1.2	Besaran Turunan Dan Dimensinya.....	3
Tabel 1.3	Beberapa Fungsi dan Bentuk Grafiknya.....	4
Tabel 1.4	Beberapa Rumus Diferensial	5
Tabel 1.5	Beberapa Integral Tidak Tentu (a,b,C = konstan)	7
Tabel 1.6	Beberapa Sifat Integral tentu	7
Tabel 2.1	Persamaan-Persamaan Umum Gerak Kinematika untuk	
	Percepatan Konstan dalam Dua Dimensi	35
Tabel 2.2	Persamaan-Persamaan Gerak Kinematika untuk Gerak Peluru	
	(ypositif arah ke atas; $a_x = 0, a_y = -g = -9,80 \text{ m/s}^2$)	35
Tabel 4.1	Modulus Elastis	79
Tabel 6.1	Momen Inersia Beberapa Benda	122
Tabel 6.2	Hubungan antara gerak rotasi dan translasi.....	124
Tabel 7.1	Indeks Bias Beberapa Zat	138
Tabel 10.1	Kalor Jenis (pada tekanan konstan 1 atm dan 20 ⁰ C kecuali	
	dinyatakan lain.....	192
Tabel 10.2	Kalor Laten (1 atm)	193
Tabel 10.3	Konduktivitas Termal	196

DAFTAR GAMBAR

No.	Gambar	Halaman
Gambar 1.1	Gambar sebuah vektor PQ.....	9
Gambar 1.2	Gambar beberapa buah vektor	10
Gambar 1.3	Resultan vektor $\mathbf{A} + \mathbf{B}$, dengan metode jajaran genjang	11
Gambar 1.4	Jumlah vektor $\mathbf{A} + \mathbf{B}$, dengan metode segitiga.....	12
Gambar 1.5	Perkalian vektor.....	14
Gambar 1.6	Vektor satuan.....	16
Gambar 2.1	Besaran Dasar Kinematika	25
Gambar 2.2	Jarak dan Perpindahan.....	26
Gambar 2.3	Gerak Lurus Beraturan	30
Gambar 2.4	Gerak Lurus Berubah Beraturan.....	33
Gambar 2.5	Gerak Peluru.....	34
Gambar 2.6	Gerak Melingkar.....	36
Gambar 2.7	Arah Vektor Gaya Berat.....	43
Gambar 2.8	Arah Vektor Gaya Normal	44
Gambar 2.9	Gaya Gesek.....	44
Gambar 3.1	Jenis-jenis gaya yang terjadi.....	56
Gambar 3.2	Sebuah benda yang berpindah akibat F	57
Gambar 3.3	Seseorang memberikan gaya ke atas F_{ext} untuk mengangkat sebuah batu bata	63
Gambar 4.1	Gaya Pegas	75
Gambar 4.2	Regangan bahan elastis berbentuk silinder.....	76
Gambar 4.3	Tegangan-Regangan	77

Gambar 4.4	Elastis Linear	78
Gambar 4.5	Hukum Hooke	80
Gambar 4.6	Gerak benda karena pengaruh gaya pegas.....	82
Gambar 5.1	Kurva yang menyatakan hubungan antara F dengan t Luas daerah yang diarsir menyatakan besarnya Impuls	94
Gambar 5.2	Tumbukan dua buah benda (1).....	96
Gambar 5.3	Tumbukan dua buah benda (2).....	97
Gambar 5.4	Pusat massa.....	103
Gambar 5.5	Partikel Benda Tegar	104
Gambar 6.1	Hubungan s dan θ	117
Gambar 6.2	Momentum Sudut	118
Gambar 6.3	Kunci inggris	119
Gambar 6.4	Rotasi Bumi pada Porosnya.....	120
Gambar 6.5	Gerak Rotasi Partikel.....	121
Gambar 7.1	Pemantulan pada cermin datar.....	133
Gambar 7.2	Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung.....	135
Gambar 7.3	Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung.....	136
Gambar 7.4	Pembentukan bayangan pada cermin cekung	136
Gambar 7.5	Pembiasan Cahaya	137
Gambar 7.6	Pembiasan pada medium plan paralel	139
Gambar 7.7	Pembiasan pada medium plan paralel	140
Gambar 7.8	Pembiasan pada prisma	140
Gambar 7.9	Pembiasan cahaya pada lensa cembung	142
Gambar 7.10	Pembentukan bayangan pada lensa cembung.....	143
Gambar 7.11	Penentuan sifat bayangan pada lensa cembung.....	144

Gambar 7.12	Pembiasan pada lensa cekung	145
Gambar 7.13	Pembentukan bayangan pada lensa cekung.....	145
Gambar 7.14	Penentuan sifat bayangan pada lensa cekung	147
Gambar 8.1	Rangkaian tertutup.....	158
Gambar 8.2	Gaya gerak listrik	159
Gambar 8.3	Grafik V terhadap I.....	160
Gambar 8.4	Hubungan hambatan dan panjang kawat.....	161
Gambar 8.5	Rangkaian listrik tidak bercabang	162
Gambar 8.6	Rangkaian listrik bercabang	163
Gambar 8.7	Rangkaian resistor seri	163
Gambar 8.8	Rangkaian resistor seri	164
Gambar 8.9	Rangkaian resistor paralel	165
Gambar 8.10	Rangkaian sederhana	168
Gambar9.1	Bandul.....	178
Gambar9.2	Bandul Mekanis.....	179
Gambar 10.1	Hubungan kalor dengan perubahan suhu dan perubahan wujud air	194



Sumber: Encarta Encyclopedia, 2006

KOMPOTENSI DASAR

1. Mendeskripsikan besaran dalam fisika
2. Mendeskripsikan vektor dalam fisika

INDIKATOR

1. Mendeskripsikan besaran pokok dan besaran turunan
2. Mendeskripsikan dimensi suatu persamaan
3. Mendeskripsikan fungsi, diferensial, dan integral dalam fisika
4. Mendeskripsikan vektor dalam fisika

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Membedakan besaran pokok dan besaran turunan
2. Menentukan dimensi suatu persamaan fisika
3. Menentukan fungsi dari suatu grafik

4. Menentukan diferensial dari suatu fungsi
5. Menentukan integral dari suatu fungsi
6. Menghitung penjumlahan dan pengurangan suatu vektor
7. Menentukan perkalian suatu vektor
8. Menentukan vektor satuan



URAIAN MATERI

A. BESARAN

Fisika adalah ilmu yang mempelajari benda-benda serta fenomena dan keadaan yang terkait dengan benda-benda tersebut. Untuk menggambarkan suatu fenomena yang terjadi atau dialami suatu benda, maka didefinisikan berbagai besaran-besaran fisika. Besaran-besaran fisika ini misalnya panjang, jarak, massa, waktu, gaya, kecepatan, temperatur, intensitas cahaya, dan sebagainya. Terkadang nama dari besaran-besaran fisika tadi memiliki kesamaan dengan istilah yang dipakai dalam keseharian, tetapi perlu diperhatikan bahwa besaran-besaran fisika tersebut tidak selalu memiliki pengertian yang sama dengan istilah-istilah keseharian. Seperti misalnya istilah gaya, usaha, dan momentum, yang memiliki makna yang berbeda dalam keseharian atau dalam bahasa-bahasa sastra. Misalnya, “Anak itu bergaya di depan kaca”, Ia berusaha keras menyelesaikan soal ujiannya.

Besaran-besaran fisika didefinisikan secara khas, sebagai suatu istilah fisika yang memiliki makna tertentu. Terkadang besaran fisika tersebut hanya dapat dimengerti dengan menggunakan bahasa matematik, terkadang dapat diuraikan dengan bahasa sederhana, tetapi selalu terkait dengan pengukuran (baik langsung maupun tidak langsung). Semua besaran fisika harus dapat diukur, atau dikualifikasikan dalam angka-angka. Sesuatu yang tidak dapat dinyatakan dalam angka-angka bukanlah besaran fisika, dan tidak akan dapat diukur.

1. Besaran Pokok

Besaran pokok adalah besaran yang berdiri sendiri dan tidak diturunkan dari besaran lain. Ada 7 besaran pokok, yaitu sebagai berikut:

Tabel 1.1 Besaran Pokok Dan Dimensinya

No.	Besaran Pokok	Satuan (SI)	Lambang	Simbol Dimensi
1.	Panjang	Meter	m	[L]
2.	Massa	kilogram	kg	[M]
3.	Waktu	sekon	s	[T]
4.	Arus Listrik	ampere	A	[I]
5.	Suhu	Kelvin	K	[θ]
6.	Jumlah Zat	mole	mol	[N]
7.	Intensitas Cahaya	candela	cd	[J]

2. Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang diperoleh dari besaran-besaran pokok. Berikut ini tabel besaran turunan beserta dimensinya.

Tabel 1.2 Besaran Turunan Dan Dimensinya

Besaran Turunan	Rumus	Dimensi	Satuan (SI)
Luas	Panjang x Lebar	$[L][L] = [L]^2$	m^2
Volume	Panjang x Lebar x Tinggi	$[L][L][L] = [L]^3$	m^3
Massa Jenis	Massa / Volume	$[M]/[L]^3 = [M][L]^{-3}$	kg/m^3
Kecepatan	Jarak / Waktu	$[L]/[T] = [L][T]^{-1}$	m/s
Percepatan	Kecepatan/Waktu	$[L][T]^{-1}/[T] = [L][T]^{-2}$	m/s^2
Gaya	Massa.Percepatan	$[M][L][T]^{-2}$	$kg.m/s^2$
Usaha	Gaya x Jarak	$[M][L][T]^{-2}[L]$ $= [M][L]^2[T]^{-2}$	Joule (J)

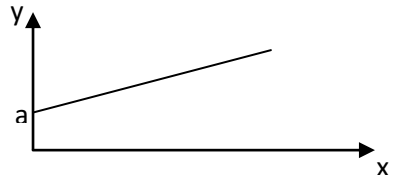
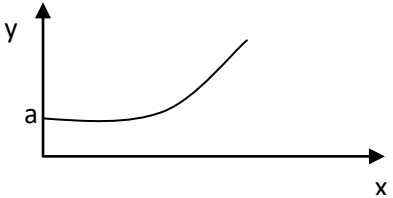
Energi	Massa.Kecepatan ²	$[M]([L][T]^{-1})^2$ $= [M][L]^2[T]^{-2}$	Joule (J)
Tekanan	Gaya / Luas	$[M][L][T]^{-2}/[L]^2$ $= [M][L]^{-1}[T]^{-2}$	Pascal(Pa)
Daya	Usaha / Waktu	$[M][L]^2[T]^{-2}/[T]$ $= [M][L]^2[T]^{-3}$	Watt (W)
Impuls & Momentum	Gaya / Waktu	$[M][L][T]^{-2}[T]$ $= [M][L][T]^{-1}$	N.s

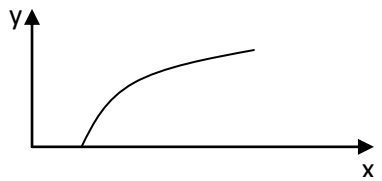
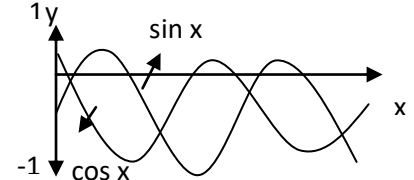
B. FUNGSI

Jika terdapat suatu hubungan matematis $y = f(x)$, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- f adalah suatu fungsi yang memetakan x ke y
- y adalah suatu perubah tidak bebas karena bergantung pada x
- x adalah suatu perubah bebas karena tidak bergantung pada y
- y adalah fungsi dari x

Tabel 1.3 Beberapa Fungsi dan Bentuk Grafiknya

Fungsi	Bentuk Grafiknya
Linear: $y = a + bx$	
Eksponensial: $y = a e^x$	

Logaritme: $y = \ln x$	
Trigonometrik: $y = \sin x$ $y = \cos x$	

C. DIFERENSIASI

Diferensiasi atau sering diterjemahkan sebagai “turunan” suatu fungsi didefinisikan sebagai “laju perubahan suatu peubah/variabel terhadap peubah lain” atau laju perubahan fungsi terhadap peubah bebasnya”.

Misalkan pada suatu fungsi $y = f(x)$, maka definisi turunan adalah:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$$

Fungsi lain $x = f(t)$, maka turunannya adalah:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Tabel 1.4 Beberapa Rumus Diferensial

No.	$f(x)$	$F(x) = df(x)/dx$
1.	C (konstan)	0
2.	X^n	nx^{n-1} , n adalah konstan
3.	a f(x)	a f'(x), a adalah konstan
4.	f(x) + g(x)	f'(x) + g'(x)
5.	f(x).g(x)	f'(x).g(x) + f(x).g'(x)
6.	f(g(x))	(df/dg)(dg/dx)
7.	sin x ; sin f(x)	Cos x ; f'(x) cos f(x)

8.	$\cos x ; \cos f(x)$	$-\sin x ; -f'(x) \sin f(x)$
9.	$\ln x ; \ln f(x)$	$1/x ; 1/f(x) f'(x)$
10.	$e^x ; e^{f(x)}$	$e^x ; f'(x)e^{f(x)}$, n adalah konstan

Contoh Soal

1. Carilah kecepatan dan percepatan benda pada saat $t = 1$ detik jika posisi benda dinyatakan oleh $x = 10t - 3t^2$

Jawab.

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d(10t - 3t^2)}{dt} = 10 - 6t$$

$$= 10 - 6(1)$$

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

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d(10 - 6t)}{dt}$$

$$= 0 - 6 = -6 \text{ m/s}^2$$

2. Carilah turunan dari fungsi $y = e^{2x} + 5$

Jawab. $y = e^{2x} + 5$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d(e^{2x} + 5)}{dx} = 2e^{2x} + 0 = 2e^{2x}$$

D. INTEGRASI

Secara fisis, diferensiasi memiliki arti memperkecil atau menurunkan dimensi atau orde kebergantungan beserta turunan (perubah tidak bebas) terhadap besaran dasar (perubah bebas). Sebaliknya, integrasi memperbesar atau menaikkan orde kebergantungan besaran turunan terhadap besaran dasar. Secara operasi matematis, integrasi bias berarti penjumlahan, mencari luas di bawah kurva, atau mencari fungsi turunan yang diberikan.

Tabel 1.5 Beberapa Integral Tidak Tentu (a, b, C = konstan)

No.	$\int f(x)dx$	$= F(x) + C$
1.	$\int x^n dx$	$(1/n+1)x^{n+1} + C, n \neq -1$
2.	$\int 1/x dx$	$\ln (x) + C$
3.	$\int \cos x dx$	$\sin x + C$
4.	$\int \cos (ax) dx$	$(1/a) \sin (ax) + C$
5.	$\int \sin x dx$	$-\cos x + C$
6.	$\int \sin (ax)dx$	$-(1/a) \cos (ax) + C$
7.	$\int e^x dx$	$e^x + C$
8.	$\int a e^{bx} dx$	$(a/b) e^{bx} + C$
9.	$\int a f(x) + f(x) dx$	$a \int f(x) dx$
10.	$\int [g(x) + f(x)] dx$	$\int g(x) dx + \int f(x) dx$
11.	$\int u(x) dv(x)$	$Uv - \int v dx$

Tabel 1.6 Beberapa Sifat Integral Tentu

No.	Jenis	Kesamaan
1.	$\int_a^a f(x)dx$	0
2.	$\int_a^b f(x)dx$	$-\int_b^a f(x)dx$
3.	$\int_a^b f(x)dx + \int_b^c f(x)dx$	$\int_a^c f(x)dx$

Contoh Soal

1. Sebuah benda bergerak dengan percepatan 20 m/s^2 pada saat $t = 1$ detik. Kecepatan benda 50 m/s dan jarak yang ditempuh 10 meter. Hitung kecepatan dan jarak pada saat $t = 10$ detik.

Jawab.

Peny.

a. $v = \int a \, dt = \int 20 \, dt$

$$v = 20t + C_1$$

$$50 = 20(1) + C_1$$

$$C_1 = 30$$

- v pada saat $t = 10$ detik

$$v = 20t + C_1$$

$$v = 20(10) + 30$$

$$v = 230 \text{ m/s}$$

b. $x = \int v \, dt = \int (20t + 30) \, dt$

$$x = 10t^2 + 30t + C_2$$

$$10 = 10(1)^2 + 30(1) + C_2$$

$$10 = 10 + 30 + C_2$$

$$C_2 = -30$$

- x pada saat $t = 10$ detik

$$x = 10t^2 + 30t + C_2$$

$$x = 10(10)^2 + 30(10) + (-30)$$

$$x = 1000 + 300 - 30$$

$$x = 1270 \text{ meter}$$

E. VEKTOR

Besaran Vektor Dan Skalar

Ada beberapa besaran fisis yang cukup hanya dinyatakan dengan suatu angka dan satuan yang menyatakan besarnya saja. Ada juga besaran fisis yang tidak cukup hanya dinyatakan dengan besarnya saja, tetapi harus juga diberikan penjelasan tentang arahnya.

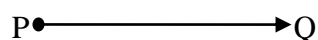
Besaran vektor: Besaran yang dicirikan oleh besar dan arah. **Contoh:** besaran vektor didalam fisika adalah: kecepatan, percepatan, gaya, perpindahan, dan momentum. Untuk menyatakan arah vektor diperlukan sistem koordinat.

Besaran skalar: Besaran yang cukup dinyatakan oleh besarnya saja (besarnya dinyatakan oleh bilangan dan satuan). **Contoh** besaran skalar: waktu, suhu, volume, laju, energi, usaha dll.

Penggambaran, Penulisan (Notasi) Vektor

Sebuah vektor digambarkan dengan sebuah anak panah yang terdiri dari pangkal (titik tangkap), ujung dan panjang anak panah. Panjang anak panah menyatakan nilai dari vektor dan arah panah menunjukkan arah vektor.

Pada gambar (1.1) di gambar vektor dengan titik pangkalnya P, titik ujungnya Q serta sesuai arah panah dan nilai vektornya sebesar panjang.



Gambar 1.1 Gambar sebuah vektor PQ

Titik P : Titik Pangkal (titik tangkap)

Titik Q : Ujung

Panjang PQ : Nilai (besarnya) vektor tersebut = $|PQ|$

Notasi (simbol) sebuah vektor dapat juga berupa huruf besar atau huruf kecil, biasanya berupa huruf tebal, atau berupa huruf yang diberi tanda panah di atasnya atau huruf miring.

Contoh:

Vektor \mathbf{A} \longrightarrow (Berhuruf tebal)

Vektor \vec{A} \longrightarrow (Huruf dengan tanda panah di atasnya)

Vektor A \longrightarrow (Huruf miring)

Untuk penulisan harga (nilai) dari vektor dituliskan dengan huruf biasa atau dengan memberi tanda mutlak dari vektor tersebut.

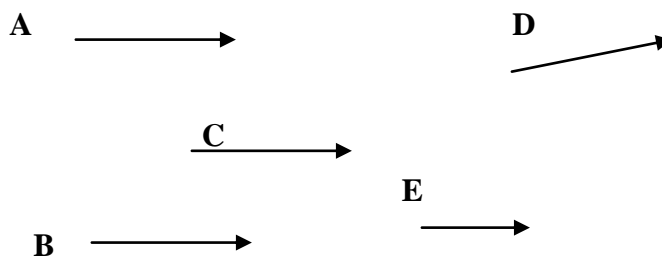
Contoh:

Vektor \vec{A} . Nilai vektor \vec{A} ditulis dengan A atau $|\vec{A}|$

Ada beberapa hal yang perlu diingat mengenai besaran vektor.

- a) Dua buah vektor dikatakan sama jika mempunyai besar dan arah sama.
- b) Dua buah vektor dikatakan tidak sama jika:
 - i. Kedua vektor mempunyai nilai yang sama tetapi berlainan arah
 - ii. Kedua vektor mempunyai nilai yang berbeda tetapi arah sama
 - iii. Kedua vektor mempunyai nilai yang berbeda dan arah yang berbeda

Untuk lebih jelasnya lihat gambar di bawah ini:



Gambar 1.2 Gambar beberapa buah vektor

Besar (nilai) vektor **A**, **B**, **C**, dan **D** sama besarnya. Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa:

A = **C** artinya: nilai dan arah kedua vektor sama

A = - **B** artinya: nilainya sama tetapi arahnya berlawanan

A ≠ **D** artinya: nilainya sama tetapi arahnya berbeda

D ≠ **E** artinya: nilai dan arahnya berbeda

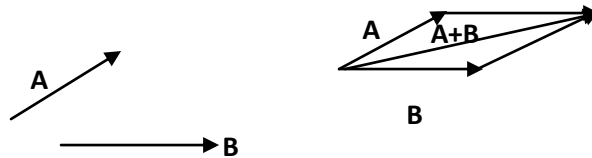
1. Penjumlahan dan Pengurangan Vektor

Mencari resultan dari beberapa buah vektor, berarti mencari sebuah vektor baru yang dapat menggantikan vektor-vektor yang dijumlahkan (dikurangkan).

Untuk penjumlahan atau pengurangan vektor, ada beberapa metode, yaitu:

1) Metode Jajaran Genjang

Cara menggambarkan vektor resultan dengan metode jajaran genjang adalah sebagai berikut.



Gambar 1.3 Resultan vektor $\mathbf{A} + \mathbf{B}$, dengan metode jajaran genjang

Langkah-langkah:

- Lukis vektor pertama dan vektor kedua dengan titik pangkal berimpit.
- Lukis sebuah jajaran genjang dengan kedua vektor tersebut sebagai sisi-sisinya.
- Resultannya adalah sebuah vektor, yang merupakan diagonal dari jajaran genjang tersebut dengan titik pangkal sama dengan titik pangkal kedua vektor tersebut.

Besarnya vektor:

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

θ adalah sudut yang dibentuk oleh vektor \mathbf{A} dan \mathbf{B}

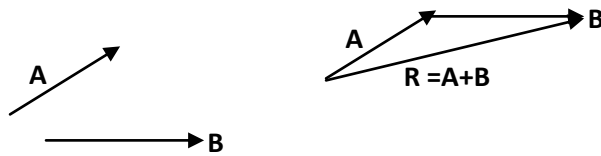
Catatan:

- Jika vektor \mathbf{A} dan \mathbf{B} searah, berarti $\theta = 0^\circ$: $R = A + B$.
- Jika vektor \mathbf{A} dan \mathbf{B} berlawanan arah, berarti $\theta = 180^\circ$: $R = A - B$.
- Jika vektor \mathbf{A} dan \mathbf{B} saling tegak lurus, berarti $\theta = 90^\circ$: $R = 0$

Untuk pengurangan (selisih) vektor = $\mathbf{A} - \mathbf{B}$, maka caranya sama saja, hanya vektor \mathbf{B} digambarkan berlawanan arah dengan yang diketahui.

2) Metode Segitiga

Bila ada dua buah vektor \mathbf{A} dan \mathbf{B} akan dijumlahkan dengan cara segitiga maka tahap-tahap yang harus dilakukan adalah:



Gambar 1.4 jumlah vektor $\mathbf{A} + \mathbf{B}$, dengan metode segitiga

Langkah-langkah:

- Gambarkan vektor \mathbf{A}
- Gambarkan vektor \mathbf{B} dengan cara meletakkan pangkal vektor \mathbf{B} pada ujung vektor \mathbf{A}
- Tariklah garis dari pangkal vektor \mathbf{A} ke ujung vektor \mathbf{B}
- Vektor resultan merupakan vektor yang mempunyai pangkal di vektor \mathbf{A} dan mempunyai ujung di vektor \mathbf{B} .

Jika ditanyakan $\mathbf{R} = \mathbf{A} - \mathbf{B}$, maka caranya sama saja, hanya vektor \mathbf{B} digambarkan berlawanan arah dengan yang diketahui

3) Metode polygon

Pada metode ini, tahapannya sama dengan metode segitiga, hanya saja metode ini untuk menjumlahkan lebih dari dua vektor.

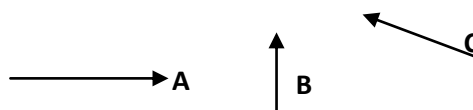
Pada titik koordinat besar vektor:

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

$$\text{Dan arah vector dapat ditulis: } \tan \theta = \frac{R_y}{R_x}$$

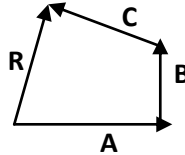
Contoh Soal

- Jumlahkan ketiga buah vektor \mathbf{A} , \mathbf{B} , dan \mathbf{C} dengan metoda Poligon



Jawab:

Resultan ketiga vektor **R** adalah $\mathbf{R} = \mathbf{A} + \mathbf{B} + \mathbf{C}$



2. Tiga buah vektor dalam koordinat kartesius : $\mathbf{A} = 3\mathbf{i} + \mathbf{j}$, $\mathbf{B} = -2\mathbf{i}$, $\mathbf{C} = \mathbf{i} + 2\mathbf{j}$. Tentukan jumlah ketiga vector dan kemana arahnya?

Jawab :

Dik. $\mathbf{A} = 3\mathbf{i} + \mathbf{j}$,

$\mathbf{B} = -2\mathbf{i}$,

$\mathbf{C} = \mathbf{i} + 2\mathbf{j}$

Dit. \mathbf{R} dan θ?

Penye.

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

$$= (3\mathbf{i} + \mathbf{j}) + (-2\mathbf{i}) + (\mathbf{i} + 2\mathbf{j}) = 2\mathbf{i} + 3\mathbf{j}$$

Besar vektornya :

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

$$= \sqrt{2^2 + 3^2}$$

$$= \sqrt{13} \text{ satuan}$$

Arahnya:

$$\text{tg } \theta = 3/2 = 1,5$$

$$\theta = 56,3^\circ$$

2. Perkalian Vektor

Untuk operasi perkalian dua buah vektor, ada dua macam operasi yaitu:

a. Perkalian skalar dengan vektor

Sebuah besaran skalar dengan nilai sebesar k , dapat dikalikan dengan sebuah vektor \mathbf{A} yang hasilnya sebuah vektor baru \mathbf{C} yang nilainya sama dengan

nilai k dikali nilai A . Jika nilai k positif, maka arah C searah dengan A dan jika nilai k bertanda negatif, maka arah C berlawanan dengan arah A . Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

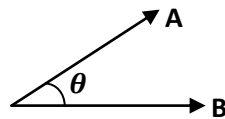
$$C = k A$$

b. Perkalian vektor dengan vektor.

1) Perkalian titik (dot product)

Perkalian titik (dot product) antara dua buah vektor A dan B menghasilkan C , didefinisikan secara matematis sebagai berikut:

$$A \cdot B = C$$



Ket. A dan B vektor

C besaran scalar

Besar C didefinisikan sebagai:

$$C = AB \cos \theta$$

$$A = |A| = \text{besar vektor } A$$

$$B = |B| = \text{besar vektor } B$$

$$\theta = \text{sudut antara vektor } A \text{ dan } B$$

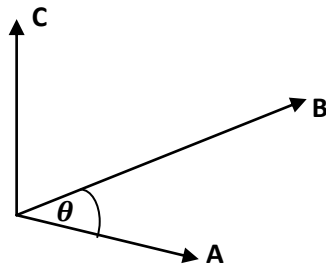
Sifat-sifat perkalian titik:

- bersifat komutatif : $A \cdot B = B \cdot A$
- bersifat distributif : $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$
- jika A dan B saling tegak lurus maka : $A \cdot B = 0$

2) Perkalian silang (cross product)

Perkalian silang (cross product) antara dua buah vektor A dan B akan menghasilkan C , didefinisikan sebagai berikut:

$$A \times B = C$$



Gambar 1.5 Perkalian vektor

Ket. **A**, **B**, dan **C** vektor

Nilai **C** didefinisikan sebagai berikut:

$$\mathbf{C} = \mathbf{A} \mathbf{B} \sin \theta$$

$$A = |\mathbf{A}| = \text{besar vektor } \mathbf{A}$$

$$B = |\mathbf{B}| = \text{besar vektor } \mathbf{B}$$

$$\theta = \text{sudut antara vektor } \mathbf{A} \text{ dan } \mathbf{B}$$

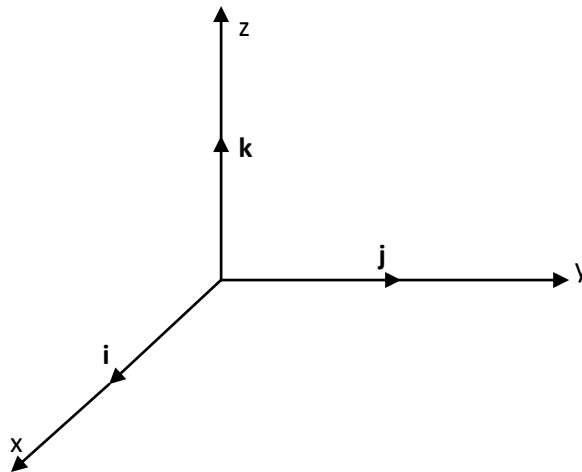
Arah vektor **C** dapat diperoleh dengan cara membuat putaran dari vektor **A** ke **B** melalui sudut θ .

Sifat-sifat perkalian silang (cross Product):

- bersifat anti komutatif : $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = -\mathbf{B} \times \mathbf{A}$
- jika **A** dan **B** saling tegak lurus maka : $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = \mathbf{AB}$
- jika **A** dan **B** searah atau berlawanan arah : $\mathbf{A} \times \mathbf{B} = 0$

3. Vektor Satuan

Vektor satuan adalah sebuah vektor yang didefinisikan sebagai satu satuan vektor. Jika digunakan sistem koordinat Cartesian (koordinat tegak) tiga dimensi, yaitu sumbu x, sumbu y dan sumbu Z, vektor satuan pada sumbu x adalah **i**, vektor satuan pada sumbu y adalah **j** dan pada sumbu z adalah **k**. Nilai dari satuan vektor-vektor tersebut besarnya adalah satu satuan.



Gambar 1.6 vektor satuan

Penulisan suatu vektor **A** dalam koordinat kartesian berdasarkan komponen-komponennya adalah:

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

Dimana A_x , A_y dan A_z adalah komponen A arah sumbu X, Y dan Z

a. Perkalian titik

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k})$$

$$= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

Dengan $\mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = 1$

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

b. Perkalian silang

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

$$= (A_y B_z - A_z B_y) \mathbf{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \mathbf{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \mathbf{k}$$

Dengan $\mathbf{i} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0$

$$\mathbf{i} \times \mathbf{j} = -\mathbf{j} \times \mathbf{i} = \mathbf{k}$$

$$\mathbf{j} \times \mathbf{k} = -\mathbf{k} \times \mathbf{j} = \mathbf{i}$$

$$\mathbf{k} \times \mathbf{i} = -\mathbf{i} \times \mathbf{k} = \mathbf{j}$$

contoh:

Tentukanlah hasil perkalian titik dan perkalian silang dari dua buah vektor berikut ini:

$$\mathbf{A} = 2\mathbf{i} + 4\mathbf{j}$$

$$\mathbf{B} = 3\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$$

Jawab.

Perkalian titik:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = (2\mathbf{i} + 4\mathbf{j}) \cdot (3\mathbf{j} + 2\mathbf{k}) = 14$$

Perkalian silang:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} \times \mathbf{B} &= (2\mathbf{i} + 4\mathbf{j}) \times (3\mathbf{j} + 2\mathbf{k}) \\ &= (4 \cdot 2 - 0 \cdot 3)\mathbf{i} + (0 \cdot 0 - 2 \cdot 2)\mathbf{j} + (2 \cdot 3 - 4 \cdot 0)\mathbf{k} \\ &= 8\mathbf{i} - 4\mathbf{j} + 6\mathbf{k} \end{aligned}$$

RANGKUMAN

1. Besaran pokok adalah besaran yang berdiri sendiri dan tidak diturunkan dari besaran lain.

Besaran turunan adalah besaran yang diperoleh dari besaran-besaran pokok.

2. Diferensial:

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}$$

3. Besarnya vektor dengan sudut θ :

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

Besarnya vektor pada titik koordinat:

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

Arah vektor:

$$\tan \theta = \frac{R_y}{R_x}$$

4. Perkalian titik.

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k})$$

$$= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

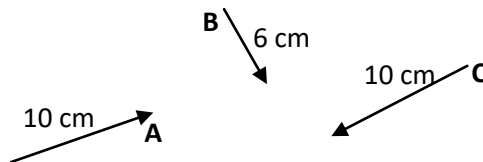
5. Perkalian silang.

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

$$= (A_y B_z - A_z B_y) \mathbf{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \mathbf{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \mathbf{k}$$

LATIHAN

1. Dengan analisis dimensi buktikan bahwa Hukum Gravitasi Universal $F = G \frac{Mm}{r^2}$ dapat ditransfer dalam Hukum II Newton $\sum F = ma = m \frac{v^2}{r}$. Dimana konstanta universal $G = M^{-1}L^3T^{-2}$.
2. Carilah turunan dari:
 - a. $\cos 2x$
 - b. $y = (e^{3x} + 5)^2$
 - c. $4x^3 \sin 2x (u'v + uv')$
3. Tentukan $\int 3x\sqrt{1-2x^2} dx$
4. Gambar dan tentukan besar resultan vektor-vektor berikut:



5. Diberikan tiga buah vektor: $\mathbf{A} = 3\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 2\mathbf{k}$; $\mathbf{B} = -\mathbf{i} - 4\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$, $\mathbf{C} = 2\mathbf{i} + 2\mathbf{j} + \mathbf{k}$. Hitunglah:
 - a. $\mathbf{A} \cdot (\mathbf{A} \times \mathbf{C})$
 - b. $\mathbf{A} \cdot (\mathbf{B} + \mathbf{C})$
 - c. $\mathbf{A} \times (\mathbf{B} + \mathbf{C})$

EVALUASI

A. Pilihan jawaban yang paling tepat!

1. Diantara kelompok besaran di bawah ini yang hanya terdiri dari besaran turunan saja adalah
 - A. kuat arus, massa, gaya
 - B. suhu, massa, volume
 - C. waktu, momentum, percepatan
 - D. usaha, momentum, percepatan
 - E. kecepatan, suhu, jumlah zat
2. Pasangan besaran berikut yang mempunyai dimensi sama adalah....
 - A. massa dan berat
 - B. energi dan daya
 - C. energi dan usaha
 - D. kecepatan dan percepatan
 - E. momentum dan gaya
3. Dua buah satuan berikut yang merupakan satuan besaran turunan menurut Sistem Internasional (SI) adalah
 - A. km/jam dan kg/cm
 - B. joule/sekon dan dyne/meter
 - C. newton/sekon dan gr/cm
 - D. liter dan newton.cm
 - E. kg meter^{-3} dan newton.meter
4. Persamaan $P = F/A$, dimana P = tekanan, F = gaya bersatuan newton (N) dan A = luas penampang bersatuan meter persegi (m^2), maka dimensi tekanan P adalah
 - A. MLT^{-1}
 - B. $\text{ML}^{-1} \text{T}^{-2}$
 - C. $\text{ML}^2 \text{T}^{-2}$
 - D. $\text{ML}^3 \text{T}^{-2}$
 - E. $\text{ML}^2 \text{T}^{-1}$

5. Dua buah vektor gaya F_1 dan F_2 masing-masing sebesar 3 N dan 5 N mengapit sudut 60° dan bertitik tangkap sama. Jumlah kedua vektor gayatersebut adalah
- 7 N
 - 8 N
 - 9 N
 - 10 N
 - 12 N
6. Dua vektor gaya F_1 dan F_2 masing-masing sebesar 3 N dan 8 N bertitik tangkap sama, ternyata membentuk resultan gaya yang besarnya 7 N. Sudut apit antara kedua vektor gaya tersebut adalah ...
- 30°
 - 45°
 - 60°
 - 90°
 - 120°
7. Diketahui $\vec{A} = \hat{i} + 2\hat{j} - 2\hat{k}$ dan $\vec{B} = 2\hat{j} - 4\hat{k}$. Hasil dari $\vec{A} \cdot \vec{B}$ dan $\vec{A} \times \vec{B}$ berturut-turut adalah
- 12 dan $-4\hat{i} + 4\hat{j} + 2\hat{k}$
 - 12 dan $4\hat{i} + 4\hat{j} - 2\hat{k}$
 - 12 dan $-2\hat{i} - 4\hat{j} + 4\hat{k}$
 - 4 dan $-4\hat{i} - 4\hat{j} + 2\hat{k}$
 - 4 dan $4\hat{i} + 4\hat{j} - 2\hat{k}$
8. Seseorang akan menyeberang sungai dengan perahu. Orang itu mengarahkan perahu tegak lurus arah arus sungai. Jika vektor kecepatan arus dinyatakan dengan $\vec{v}_a = 3\hat{i}$ m/s dan kecepatan perahu dinyatakan dengan $\vec{v}_p = 3\hat{j}$ m/s, besar kecepatan yang dialami perahu adalah ... m/s.
- 3
 - $3\sqrt{2}$
 - $3\sqrt{5}$
 - $6\sqrt{2}$
 - 9

B. Jawablah dengan benar!

1. Jelaskan perbedaan antara besaran pokok dan besaran turunan!
2. Sebuah benda yang bergerak diperlambat dengan perlambatan a yang tetap dari kecepatan v_0 dan menempuh jarak S maka akan berlaku hubungan $v_0^2 = 2 aS$. Buktikan kebenaran persamaan itu dengan analisa dimensional!
3. Hitunglah besar kecepatan dan percepatan benda pada saat $t = 2$ detik jika posisi benda dinyatakan oleh $x = 5t^4 - 4t^2$!
4. Sebuah benda bergerak dengan percepatan 20 m/s^2 pada saat $t = 3/2$ detik. Kecepatan benda 50 m/s dan jarak yang ditempuh 15 meter. Hitung kecepatan dan jarak pada saat $t = 10$ detik.
5. Gambarkan bentuk grafik dari fungsi trigonometrik!
6. Seekor semut berpindah dari suatu titik acuan. Dari titik acuan tersebut semut bergerak sejauh 50 cm dengan sudut 37° terhadap arah utara. Kemudian berpindah lagi sejauh 40 cm ke barat dan diteruskan sejauh 3 m ke selatan. Tentukan perpindahan total semut tersebut.
7. Vektor gaya dan perpindahan mempunyai persamaan $\vec{F} = (\hat{i} + \hat{j} + \hat{k})N$ dan $\vec{s} = (3\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k})m$. Tentukan usaha yang dilakukan gaya tersebut!
8. Sebuah gaya dengan persamaan $\vec{F} = (\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k})N$ bekerja pada daun pintu. Dilihat dari sebuah engsel, gaya tersebut bekerja pada vektor posisi $\vec{r} = (0,8\hat{i} + 0,2\hat{j})m$. Tentukan persamaan momen gaya yang ditimbulkan gaya tersebut.



Sumber: Kompas, 20 Juli 2006

KOMPOTENSI DASAR

1. Mendeskripsikan besaran fisika pada gerak dengan kecepatan dan percepatan konstan.
2. Menganalisis besaran fisika pada gerak peluru dan gerak melingkar melingkar.
3. Mendeskripsikan Hukum Newton tentang gerak.

INDIKATOR

1. Membedakan jarak dan perpindahan.
2. Menghitung kecepatan dan percepatan suatu benda.
3. Menentukan persamaan pada GLB dan GLBB.
4. Menghitung kecepatan dan percepatan pada GLB dan GLBB.
5. Menentukan persamaan pada gerak peluru dan gerak melingkar.
6. Menghitung kecepatan pada sumbu X dan Y untuk gerak peluru.
7. Menghitung gaya sentripetal pada gerak melingkar.

8. Menentukan hubungan Hukum Newton dengan gerak.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Menjelaskan pengertian jarak dan percepatan.
2. Membedakan jarak dan percepatan dalam kehidupan sehari-hari.
3. Menghitung kecepatan rata-rata dan kecepatan sesaat suatu benda.
4. Menghitung percepatan rata-rata dan kecepatan sesaat suatu benda.
5. Menghitung kecepatan dan percepatan pada GLB.
6. Menghitung kecepatan dan percepatan pada GLBB.
7. Menghitung kecepatan pada sumbu X dan Y untuk gerak peluru.
8. Menghitung gaya sentripetal pada gerak melingkar.
9. Menghitung gaya yang bekerja pada suatu benda berdasarkan Hukum II Newton.
10. Menentukan jenis-jenis gaya yang bekerja pada suatu benda.



URAIAN MATERI

Dalam bab ini kita akan meninjau gerak titik partikel secara geometris, yaitu meninjau gerak partikel tanpa meninjau penyebab geraknya. Cabang ilmu mekanika yang meninjau gerak partikel tanpa meninjau penyebab geraknya disebut sebagai kinematika. Walaupun kita hanya meninjau gerak titik partikel, tetapi dapat dimanfaatkan juga untuk mempelajari gerak benda maupun sistem yang bukan titik. Karena selama pengaruh penyebab gerak partikel hanya pengaruh eksternal, maka gerak keseluruhan benda dapat diwakili oleh gerak titik pusat massanya.



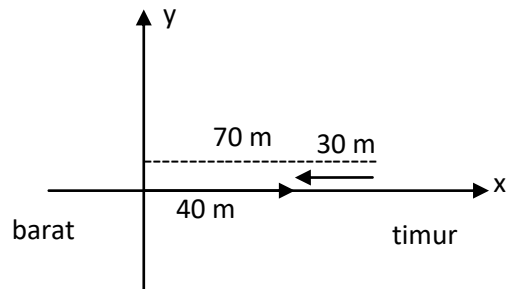
Gambar 2.1 Besaran Dasar Kinematika (www.tehfitsystem.com)

A. JARAK DAN PERPINDAHAN

Jarak dan perubahan adalah dua besaran dengan maksud yang sama tetapi dengan definisi dan arti yang berbeda.

- Jarak adalah besaran skalar yang menyatakan bagaimana jauhnya sebuah benda telah bergerak
- Perpindahan adalah besaran vektor yang menyatakan seberapa jauh benda telah berpindah posisi dari posisi awalnya.

Untuk melihat perbedaan antara jarak dan perpindahan, bayangkan seseorang yang berjalan sejauh 70 m ke arah timur dan kemudian berbalik (ke arah barat) sejauh 30 m. Jarak total yang ditempuh adalah 100 m, tetapi perpindahannya hanya 40 m karena orang itu pada saat ini hanya berjarak 40 m dari titik awalnya (lihat gambar 2.2).



Gambar 2.2 Jarak dan Perpindahan

B. KECEPATAN DAN PERCEPATAN

1. Kecepatan Rata-Rata Dan Kecepatan Sesaat

1.1 Kecepatan Rata-Rata

Aspek yang paling nyata dari gerak benda adalah seberapa cepat benda tersebut bergerak (laju atau kecepatannya).

Istilah “laju” menyatakan seberapa jauh sebuah benda berjalan dalam suatu selang waktu tertentu. Secara umum laju rata-rata sebuah benda didefinisikan sebagai jarak yang ditempuh sepanjang lintasannya dibagi waktu yang diperlukan untuk menempuh jarak tersebut.

$$\text{Laju rata-rata} = \frac{\text{jarak tempuh}}{\text{waktu tempuh yang diperlukan}}$$

Kecepatan rata-rata didefinisikan sebagai perpindahan dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk menempuh perpindahan tersebut.

$$\text{Kecepatan rata-rata} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu tempuh yang diperlukan}}$$

Laju rata-rata dan kecepatan rata-rata sering memiliki besar yang sama, tetapi kadang-kadang tidak. Sebagai contoh, ingat perjalanan yang kita bahas sebelumnya, pada gambar 2.2, dimana seseorang berjalan 70 m ke timur dan 30 m ke barat. Jarak total yang ditempuh adalah $70\text{ m} + 30\text{ m} = 100\text{ m}$, tetapi besar perpindahan adalah $70\text{ m} - 30\text{ m} = 40\text{ m}$. Misalkan perjalanan ini memerlukan waktu 70 s, laju rata-rata adalah:

$$\frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} = \frac{100 \text{ m}}{70 \text{ s}} = 1,4 \text{ m/s}$$

Dilain pihak, besar kecepatan rata-rata adalah:

$$\frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} = \frac{40 \text{ m}}{70 \text{ s}} = 0,57 \text{ m/s}$$

Untuk membahas gerak satu dimensi sebuah benda pada umumnya, misalkan pada satu titik waktu, katakanlah t_1 , benda berada pada sumbu x di titik x_1 pada sistem koordinat, dan beberapa waktu kemudian, pada waktu t_2 , benda berada pada titik x_2 . Waktu yang diperlukan adalah $\Delta t = t_2 - t_1$, dan selama selang waktu ini perpindahan benda itu adalah $\Delta x = x_2 - x_1$. Dengan demikian, kecepatan rata-rata yang didefinisikan sebagai perpindahan dibagi waktu yang diperlukan dapat dituliskan:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Perhatikan bahwa jika x_2 lebih kecil dari x_1 , benda bergerak ke kiri, berarti Δx lebih kecil dari nol. Tanda perpindahan dan berarti juga tanda kecepatan, menunjukkan arah: kecepatan rata-rata positif untuk benda yang bergerak ke kanan sepanjang sumbu x dan negatif jika benda tersebut bergerak ke kiri.

Contoh Soal

Berapa jarak yang ditempuh seorang pengendara sepeda dalam 2,5 jam sepanjang jalan yang lurus jika laju rata-ratanya 18 km/jam?

Jawab.

Dik. $\bar{v} = 18 \text{ km/jam}$

$\Delta t = 2,5 \text{ jam}$

Dit. $\Delta x = \dots\dots\dots?$

Peny.

$$\Delta x = \bar{v} \Delta t = (18 \text{ km/jam})(2,5 \text{ jam}) = 45 \text{ km}$$

1.2 Kecepatan Sesaat

Jika Anda mengendarai mobil sepanjang jalan yang lurus sejauh 150 km dalam jam, besar kecepatan rata-rata Anda adalah 75 km/jm. Walaupun demikian, tidak mungkin Anda mengendarai mobil tersebut tepat 75 km/jam setiap saat. Untuk menangani kasus ini kita memerlukan konsep kecepatan sesaat, yang merupakan kecepatan pada suatu waktu. Lebih tepatnya kecepatan sesaat pada waktu kapanpun adalah kecepatan rata-rata selama selang waktu yang sangat kecil.

Kita definisikan kecepatan sesaat sebagai kecepatan rata-rata pada limit Δt yang menjadi sangat kecil, mendekati nol. Dapat ditulis secara matematis:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

2. Percepatan Rata-Rata dan Percepatan Sesaat

2.1 Percepatan Rata-Rata

Benda yang kecepataannya berubah dikatakan mengalami percepatan. Sebuah mobil yang besar kecepataannya naik dari 0 sampai 80 km/jam berarti dipercepat. Jika satu mobil dapat mengalami perubahan kecepatan seperti ini dalam waktu yang lebih cepat dari mobil lainnya, dikatakan bahwa mobil tersebut mendapat percepatan yang lebih besar. Dengan demikian, percepatan menyatakan seberapa cepat sebuah benda berubah. Percepatan waktu yang diperlukan untuk perubahan ini:

$$\text{Percepatan rata-rata} = \frac{\text{perubahan kecepatan}}{\text{waktu yang diperlukan}}$$

Dalam simbol-simbol, percepatan rata-rata \bar{a} selama selang waktu $\Delta t = t_2 - t_1$ pada waktu kecepatan berubah sebesar $\Delta v = v_2 - v_1$, dapat ditulis:

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

Contoh Soal

Sebuah mobil mengalami percepatan sepanjang jalan yang lurus dari keadaan diam sampai kecepatan 75 m/s dalam waktu 5 s. Berapa besar percepatan rata-ratanya?

Jawab.

Dik. $v_1 = 0$

$v_2 = 75 \text{ m/s}$

$\Delta t = 5 \text{ s}$

Dit. $\bar{a} = \dots\dots\dots?$

Peny.

$$\bar{a} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} = \frac{75 - 0}{5} = 15 \text{ m/s}^2$$

2.2 Percepatan Sesaat

Percepatan sesaat dapat didefinisikan dengan analogi terhadap kecepatan sesaat, untuk suatu saat tertentu:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Disini Δv menyatakan perubahan yang sangat kecil pada kecepatan selama selang waktu Δt yang sangat pendek.

C. GERAK DENGAN KECEPATAN KONSTAN (GLB) DAN GERAK DENGAN PERCEPATAN KONSTAN (GLBB)

Gerak adalah perubahan posisi suatu benda terhadap titik acuan. Titik acuan sendiri didefinisikan sebagai titik awal atau titik tempat pengamat. Gerak bersifat relatif artinya gerak suatu benda sangat bergantung pada titik acuannya. Benda yang bergerak dapat dikatakan tidak bergerak, sebagai contoh meja yang ada di bumi pasti dikatakan tidak bergerak oleh manusia yang ada di bumi. Tetapi

bila matahari yang melihat maka meja tersebut bergerak bersama bumi mengelilingi matahari.

Contoh lain gerak relatif adalah B menggedong A dan C diam melihat B berjalan menjauhi C. Menurut C maka A dan B bergerak karena ada perubahan posisi keduanya terhadap C. Sedangkan menurut B adalah A tidak bergerak karena tidak ada perubahan posisi A terhadap B. Disinilah letak kerelatifan gerak. Benda A yang dikatakan bergerak oleh C ternyata dikatakan tidak bergerak oleh B. Berdasarkan percepatannya gerak dibagi menjadi 2:

1. Gerak beraturan adalah gerak yang percepatannya sama dengan nol ($a = 0$) atau gerak yang kecepatannya konstan.
2. Gerak berubah beraturan adalah gerak yang percepatannya konstan ($a = \text{konstan}$) atau gerak yang kecepatannya berubah secara teratur.

1. Gerak dengan Kecepatan Konstan (GLB)

Gerak lurus beraturan adalah gerak benda yang lintasannya lurus dan kecepatannya konstan (tetap). Contoh gerak GLB adalah mobil yang bergerak pada jalan lurus dan berkecepatan tetap.

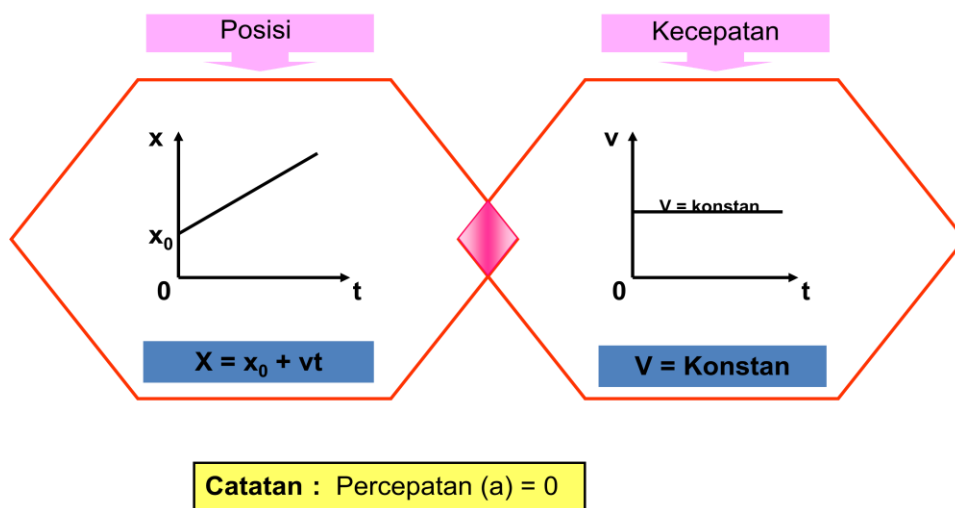
Persamaan yang digunakan pada GLB adalah sebagai berikut:

$$v = x/t$$

Keterangan : x adalah jarak atau perpindahan (m)

v adalah kelajuan atau kecepatan (m/s)

t adalah waktu yang dibutuhkan (s)



Gambar 2.3 Gerak Lurus Beraturan

Bila kecepatan partikel konstan, maka percepatannya nol. Untuk kasus ini posisi partikel pada waktu t dapat diketahui melalui integrasi persamaan.

$$dx = v dt$$

Yang bila diintegrasikan dari saat awal t_0 dengan posisi \vec{x}_0 ke saat akhir t dengan posisi \vec{x}_t .

$$\int_{x_0}^{x_t} dx = v \int_0^t dt$$

$$x_t - x_0 = v(t - 0) \quad \text{atau} \quad x_t = x_0 + v t$$

Contoh Soal

Sebuah mobil bergerak dengan dengan kecepatan tetap pada jalan tol. Pada jarak 10 km dari gerbang tol mobil bergerak dengan kecepatan tetap 90 km/jam selama 15 menit. Hitung posisi setelah 15 menit tersebut. Hitung juga jarak yang ditempuh selama 15 menit tersebut.

Jawab.

Dik. $x_0 = 10 \text{ km} = 10.000 \text{ m}$

$$v_0 = 90 \text{ km/jam} = 90.000 \text{ m} / 36.000 \text{ s} = 25 \text{ m/s}$$

$$t = 15 \text{ menit} \cdot 60 \text{ s} = 900 \text{ s}$$

Dit. x ? Jarak ?

Penye. Posisi mobil setelah : 15 menit

$$\begin{aligned} x_t &= x_0 + v \cdot t = 10.000 + 25 \times 900 \\ &= 32.500 \text{ m} \end{aligned}$$

posisi mobil tersebut 32.500 m setelah 15 menit

Jarak yang ditempuh setelah 15 menit

$$\begin{aligned} x &= v \cdot t \\ &= 25 \times 900 = 22.500 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Gerak dengan Percepatan Konstan (GLBB)

Adalah gerak lintasannya lurus dengan percepatan tetap dan kecepatan yang berubah secara teratur. Contoh GLBB adalah gerak buah jatuh dari pohonnya, gerak benda dilempar ke atas. Bila percepatan partikel konstan a , kecepatan partikel dapat ditentukan dari integrasi persamaan berikut ini:

$$dv = a \, dt$$

yang bila diintegrasikan dari saat awal t_0 dengan kecepatan v_0 ke saat akhir t dengan kecepatan v_t .

$$\int_{v_0}^{v_t} dv = a \int_0^t dt$$

$$v_t - v_0 = a(t - 0)$$

atau

$$v_t = v_0 + a \, t$$

dari persamaan ini, dengan memakai definisi kecepatan sebagai derivatif posisi terhadap waktu, diperoleh persamaan berikut ini:

$$v \, dt = v_0 \, dt + a(t - 0)dt$$

yang bila diintegrasikan dari saat awal t_0 dengan posisi x_0 ke saat akhir t dengan posisi x_t , diperoleh:

$$\int_{x_0}^{x_t} dx = \int_0^t v_0 \, dt + a(t - 0)dt$$

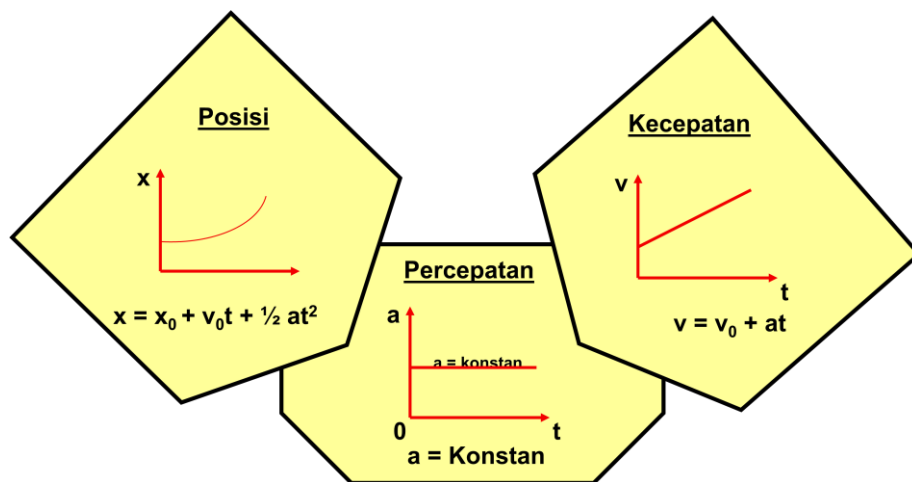
Dan diperoleh:

$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Dengan meninjau gerak satu dimensi, dapat juga dituliskan:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t} \text{ atau } t = \frac{v_t - v_0}{a}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan $t = \frac{v_t - v_0}{a}$ ke persamaan $x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$, maka diperoleh persamaan $v_t^2 = v_0^2 + 2ax$.



Gambar 2.4 Gerak Lurus Berubah Beraturan

Contoh Soal

Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 27 km/jam, kemudian mobil dipercepat dengan percepatan 2 m/s^2 . Hitunglah kecepatan mobil dan jarak yang ditempuhnya selama 5 detik setelah percepatan tersebut.

Jawab.

Dik. $v_0 = 27 \text{ km/jam} = 27000 \text{ m} / 3600 \text{ s} = 7,5 \text{ m/s}$

$x_0 = 0$, $a = 2 \text{ m/s}^2$, $t = 5 \text{ s}$

Dit. v_t dan x_t?

Penye. $v_t = v_0 + a t = 7,5 + (2)(5) = 17,5 \text{ m/s}$

$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 0 + (7,5)(5) + \frac{1}{2} (2)(5)^2$$

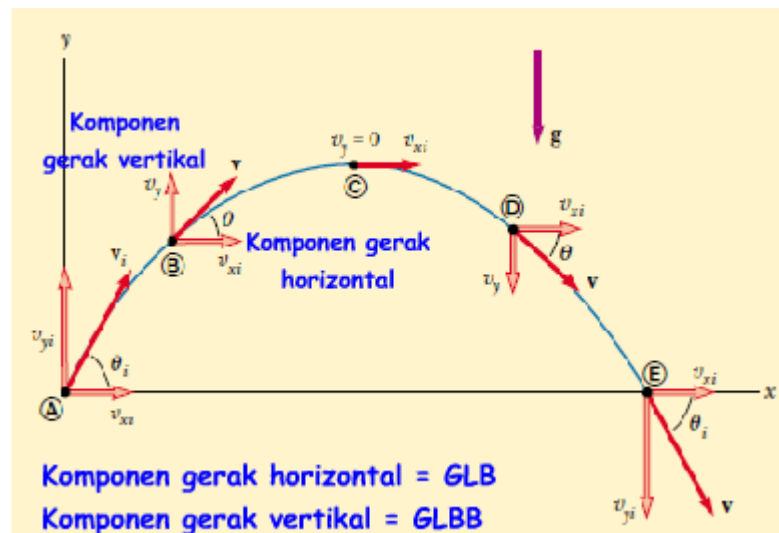
$$= 37,5 + 25 = 62,5 \text{ m}$$

D. GERAK PELURU

Gerak peluru adalah gerak yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Pada gerak peluru, gesekan diabaikan, dan gaya yang bekerja hanya gaya berat/percepatan gravitasi.

Galileo adalah yang pertama kali yang mendeskripsikan gerak peluru secara akurat. Ia menunjukkan bahwa gerak tersebut biasa dipahami dengan menganalisa komponen-komponen horizontal dan vertikal gerak tersebut secara terpisah. Ini merupakan analisis inovatif, tidak pernah dilakukan oleh siapapun sebelum Galileo. Untuk mudahnya, kita anggap bahwa gerak dimulai pada waktu $t = 0$ pada titik awal dari sistem koordinat xy (berarti $x_0 = y_0 = 0$).

Satu hasil dari analisis ini, yang Galileo sendiri meramalkannya, adalah ‘bahwa sebuah benda yang dilepaskan dengan arah horizontal akan mencapai lantai pada saat yang sama dengan sebuah benda yang dijatuhkan secara vertikal’.



Gambar 2.5 Gerak Peluru (www.altime.ru)

Jika sebuah benda diarahkan ke sudut atas, seperti pada Gb. 2.5, analisisnya sama, kecuali bahwa sekarang ada komponen vertikal kecepatan awal v_{y0} . Karena percepatan ke bawah adalah gravitasi $a = g$, v_y terus berkurang sampai benda tersebut mencapai titik tertinggi pada jalurnya, pada saat $v_y = 0$. Kemudian v_y mulai bertambah ke arah bawah, sebagai mana ditunjukkan yaitu menjadi negatif, seperti sebelumnya v_x tetap konstan.

Tabel 2.1 Persamaan-Persamaan Umum Gerak Kinematika untuk Percepatan Konstan dalam Dua Dimensi

No.	x Komponen (Horizontal)	y Komponen (Vertikal)
1.	$v_x = v_{x0} + a_x t$	$v_y = v_{y0} + a_y t$
2.	$x = x_0 + v_{x0} t + \frac{1}{2} a_{x0} t^2$	$y = y_0 + v_{y0} t + \frac{1}{2} a_{y0} t^2$
3.	$v_x^2 = v_{x0}^2 + 2a_x(x - x_0)$	$v_y^2 = v_{y0}^2 + 2a_y(y - y_0)$

Kita dapat menyederhanakan persamaan-persamaan di atas untuk kasus gerak peluru karena kita dapat menentukan $a_x = 0$. Lihat tabel 2.2 yang mengasumsikan y positif ke atas, sehingga $a_y = -g$. perhatikan jika θ dipilih relatif terhadap sumbu +x, seperti pada gambar 2.5 maka:

$$v_{x0} = v_0 \cos \theta \text{ dan } v_{y0} = v_0 \sin \theta$$

Tabel 2.2 Persamaan-Persamaan Gerak Kinematika untuk Gerak Peluru (y positif arah ke atas; $a_x = 0, a_y = -g = -9,80 \text{ m/s}^2$)

No.	Gerak (Horizontal) ($a_x = 0, v_y = \text{konstan}$)	Gerak (Vertikal) ($v_y = -g = \text{konstan}$)
1.	$v_x = v_{x0}$	$v_y = v_{y0} - gt$
2.	$x = x_0 + v_{x0} t$	$y = y_0 + v_{y0} t - \frac{1}{2} gt^2$
3.		$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2gy$

Pada saat waktu t kecepatannya adalah:

$$v_t = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

dan arah kecepatan peluru α didapat dari : $\tan \theta = \frac{v_x}{v_y}$

Contoh Soal

Sebuah benda dilemparkan dengan sudut elevasi 37° dan dengan kecepatan awal 10 m/s. Hitunglah: kecepatan dan posisi benda setelah 0,5 s, jika diketahui percepatan gravitasi bumi 10 m/s².

Jawab.

Dik. $v_0 = 10 \text{ m/s}$; $g = 10 \text{ m/s}^2$

$t = 0,5 \text{ s}$; $\theta = 37^\circ$

Dit. $v?$ dan $x?$

Penye.

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta = 10 \cos 37^\circ = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ m/s}$$

$$v_x = v_{0x} = 8 \text{ m/s}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta = 10 \sin 37^\circ = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ m/s}$$

$$v_y = v_{0y} - g \cdot t = 6 - 10 \cdot 0,5 = 6 - 5 = 1 \text{ m/s}$$

$$\text{jadi } v_t = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{8^2 + 1^2} = 8,06 \text{ m/s}$$

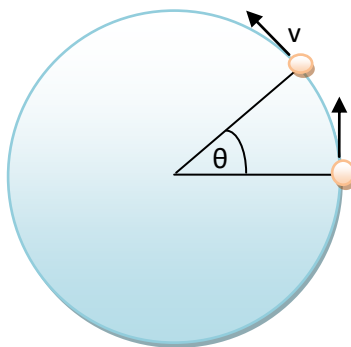
Posisi pada $t = 0,5 \text{ s}$

$$x = v_{0x} \cdot t = 8 \cdot 0,5 = 4 \text{ m}$$

E. GERAK MELINGKAR

Pernahkah kamu naik komedi putar? Setelah beberapa saat diputar dari keadaan diam, akhirnya mesin pemutar akan memutar permainan ini dengan kecepatan pemutar yang konstan, yaitu menempuh satu putaran dalam waktu yang sama. Gerakan berputar inilah yang disebut gerak melingkar beraturan.

Gerak melingkar beraturan adalah suatu gerak dimana besar kecepatan dan percepatannya konstan tetapi arahnya berubah-ubah setiap saat. Dimana arah kecepatan disuatu titik sama dengan arah garis singgung lingkaran dititik itu dan arah percepatannya selalu mengarah ke pusat lingkaran.



Gambar 2.6 Gerak Melingkar

Dari diagram di atas, diketahui benda bergerak sejauh θ° selama t sekon, maka benda dikatakan melakukan perpindahan sudut. Hubungan kecepatan v linear (kecepatan tangensial atau kecepatan singgung) dengan kecepatan sudut adalah: $v = \omega r$.

Waktu yang diperlukan untuk benda melakukan satu kali putaran penuh disebut periode (T), dan banyaknya putaran yang dilakukan tiap detik disebut frekuensi (f), maka:

$$f = 1/T$$

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

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

Keterangan: θ = perpindahan sudut (rad)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

t = waktu (sekon)

Untuk satu kali putaran $t = T$ dan $\theta = 2\pi$, sehingga diperoleh:

$$\omega = 2\pi/T = 2\pi f$$

Apabila kecepatan sudut partikel berubah terhadap waktu, maka didapat percepatan sudut $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$.

Percepatan tangensial pada gerak melingkar adalah dimana $v = \omega r$

$$a_T = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r \frac{d^2\theta}{dt^2} = r\alpha$$

Sedangkan percepatan sentripetal adalah: $a_C = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$

Keterangan: r : jari-jari benda/lingkaran (m)

a_T = percepatan tangensial (m/s^2)

a_C = percepatan sentripetal (m/s^2)

Percepatan total: $a = \sqrt{a_T^2 + a_C^2}$

Gaya sentripetal adalah gaya yang harus bekerja pada benda bergerak melingkar yang besarnya:

$$F_C = ma = m \frac{v^2}{r}$$

Contoh Soal

Sebuah bola berputar pada suatu lingkaran horizontal berjari-jari 0,6 m. bola melakukan 2 putaran per detik. Berapa percepatan sentripetal bola?

Jawab.

Dik. $f = 2 \text{ s}^{-1}$; $r = 0,6 \text{ m}$

Dit. $a_c \dots ?$

Penye. $T = \frac{1}{f} = 0,5 \text{ s}$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3,14)(0,6)}{0,5} = 7,54 \text{ m/s}$$

$$\text{Jadi } a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(7,54)^2}{0,6} = 94,8 \text{ m/s}^2$$

F. HUKUM NEWTON TENTANG GERAK

Ilmuwan yang sangat berjasa dalam mempelajari hubungan antara gaya dan gerak adalah Isaac Newton, seorang ilmuwan Inggris. Newton mengemukakan tiga buah hukumnya yang dikenal dengan Hukum Newton I, Newton II dan Hukum Newton III.

Dalam kehidupan sehari-hari, tiap orang sebenarnya punya konsep dasar tentang gaya. Misalnya pada waktu kita menarik atau mendorong suatu benda atau kita menendang bola, kita mengatakan bahwa kita mengerjakan suatu gaya pada benda tersebut.

Gaya dapat mengubah arah gerak suatu benda, gaya dapat mengubah bentuk suatu benda serta gaya juga dapat mengubah ukuran suatu benda dengan syarat gaya yang kita berikan cukup besar. Satuan gaya adalah Newton, satu Newton adalah besarnya gaya yang diperlukan untuk menimbulkan percepatan 1 m/s^2 pada benda bermassa 1 kg .

1. Hukum Newton I

Benda yang diam akan bergerak jika diberi gaya. Benda yang sudah bergerak dengan kecepatan tertentu, akan tetap bergerak dengan kecepatan itu jika

tidak ada gangguan (gaya). Hal di atas merupakan dasar dari Hukum Newton I yang dapat dituliskan sebagai berikut.

Jika gaya total yang bekerja pada benda itu sama dengan nol, maka benda yang sedang diam akan tetap diam dan benda yang sedang bergerak lurus dengan kecepatan tetap akan tetap bergerak lurus dengan kecepatan tetap. Secara sederhana Hukum Newton I mengatakan bahwa percepatan benda nol jika gaya total (gaya resultan) yang bekerja pada benda sama dengan nol. Secara matematis dapat ditulis.

$$\Sigma F = 0$$

Sebenarnya pernyataan hukum Newton I di atas sudah pernah diucapkan oleh Galileo beberapa tahun sebelum Newton lahir. Galileo mengatakan: Kecepatan yang diberikan pada suatu benda akan tetap dipertahankan jika semua gaya penghambatnya dihilangkan.

2. Hukum Newton II

Hukum Newton II akan membicarakan keadaan benda jika resultan gaya yang bekerja tidak nol. Bayangkan anda mendorong sebuah benda yang gaya F dilantai yang licin sekali sehingga benda itu bergerak dengan percepatan a . Menurut hasil percobaan, jika gayanya diperbesar 2 kali ternyata percepatannya menjadi 2 kali lebih besar. Demikian juga jika gaya diperbesar 3 kali percepatannya lebih besar 3 kali lipat. Dan sini kita simpulkan bahwa percepatan sebanding dengan resultan gaya yang bekerja.

Sekarang kita lakukan percobaan lain. Kali ini massa bendanya divariasi tetapi gayanya dipertahankan tetap sama. Jika massa benda diperbesar 2 kali, ternyata percepatannya menjadi $\frac{1}{2}$ kali. Demikian juga jika massa benda diperbesar 4 kali, percepatannya menjadi $\frac{1}{4}$ kali percepatan semula. Dan sini kita bisa simpulkan bahwa percepatan suatu benda berbanding terbalik dengan massa benda itu.

Kedua kesimpulan yang diperoleh dari eksperimen tersebut dapat diringkaskan dalam Hukum Newton II: Percepatan suatu benda sebanding dengan

resultan gaya yang bekerja dan berbanding terbalik dengan massanya, matematik hukum ini ditulis:

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

Keterangan:

ΣF = resultan gaya yang bekerja

m = massa benda

a = percepatan yang ditimbulkan

Jika dalam bentuk vektor maka penulisannya adalah:

$$\Sigma F_x = m \cdot a_x$$

$$\Sigma F_y = m \cdot a_y$$

$$\Sigma F_z = m \cdot a_z$$

Contoh Soal

Sebuah mobil bermassa 10.000 kg, bergerak dengan kecepatan 20 m/s. Mobil direm dan berhenti setelah menempuh jarak 200 m. Berapakah gaya pengeremannya?

Jawab.

Dik. $m = 10\,000 \text{ kg}$; $v_0 = 0 \text{ m/s}$

$v = 20 \text{ m/s}$; $\Delta x = 200 \text{ m}$

Dit. $F \dots ?$

Penye. $F = m \cdot a$

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$$

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2 \Delta x} = \frac{20^2 - 0^2}{2(200)} = 1 \text{ m/s}^2$$

$$F = m \cdot a = 10\,000 (1) = 10\,000 \text{ N}$$

3. Hukum Newton III

Hukum Newton III berbunyi: Jika suatu benda mengerjakan gaya pada benda lain, maka benda yang kedua ini mengerjakan gaya pada benda yang pertama yang besarnya sama dengan gaya yang diterima tapi arahnya berlawanan.

$$F_{\text{aksi}} = - F_{\text{reaksi}}$$

Keterangan:

F_{aksi} = gaya yang bekerja pada benda

F_{reaksi} = gaya reaksi benda akibat gaya aksi

Hukum ketiga menyatakan bahwa tidak ada gaya timbul di alam semesta ini, tanpa keberadaan gaya lain yang sama dan berlawanan dengan gaya itu. Jika sebuah gaya bekerja pada sebuah benda (aksi) maka benda itu akan mengerjakan gaya yang sama besar namun berlawanan arah (reaksi). Dengan kata lain gaya selalu muncul berpasangan. Tidak pernah ada gaya yang muncul sendirian.

4. Hukum Gravitasi Newton

Selain mengembangkan tiga hukum mengenai gerak, Sir Isaac Newton juga meneliti gerak planet-planet dan Bulan. Terutama, ia mempertanyakan tentang gaya yang harus bekerja untuk mempertahankan Bulan pada orbitnya yang hampir berupa lingkaran mengelilingi Bumi.

Newton juga memikirkan tentang masalah gravitasi. Karena benda yang jatuh dipercepat, Newton menyimpulkan bahwa pasti ada gaya yang bekerja pada benda itu, yang kita sebut dengan gaya gravitasi. Ketika sebuah benda mempunyai gaya, maka gaya itu diberikan oleh benda lain.

Newton menyadari bahwa percepatan gravitasi pada sebuah benda tidak hanya bergantung pada jarak tetapi juga pada massa benda tersebut. Pada kenyataannya, gaya ini berbanding lurus dengan massa. Menurut Hukum Newton III, ketika Bumi memberikan gaya gravitasinya ke benda apapun, seperti Bulan, benda itu memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah. Karena simetri ini, Newton menalar, besar gaya gravitasi harus sebanding dengan kedua massa. Dengan demikian:

$$F_E \propto \frac{m_E m_B}{r^2}$$

Dimana m_E adalah massa Bumi, m_B adalah massa benda lain, dan r adalah jarak dari pusat Bumi ke pusat benda lain tersebut.

Newton maju satu langkah lagi dalam analisisnya mengenai gravitasi. Dalam penelitiannya tentang orbit-orbit planet, ia menyimpulkan bahwa dibutuhkan gaya untuk mempertahankan planet-planet tersebut di orbit masing-masing di sekeliling Matahari. Hal ini membuatnya percaya bahwa pasti juga ada gaya gravitasi yang bekerja antara Matahari dan planet-planet tersebut untuk tetap berada di orbit masing-masing. Dan jika gravitasi bekerja di antara benda-benda ini, mengapa tidak bekerja di antara semua benda? Dengan demikian, Newton mengusulkan Hukum Gravitasi Universal (Hukum Gravitasi Newton) yang dinyatakan sebagai berikut:

“Semua partikel di dunia ini menarik semua partikel lain dengan gaya yang berbanding lurus dengan hasil kali massa partikel-partikel itu dan berbanding terbalik partikel di dunia ini menarik semua partikel lain dengan gaya yang berbanding lurus dengan hasil kali massa partikel-partikel itu dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak diantaranya. Gaya ini bekerja sepanjang garis yang menghubungkan kedua partikel tersebut”.

Besar gaya gravitasi dapat dituliskan:

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

Dengan m_1 dan m_2 adalah massa kedua partikel, r adalah jarak antaranya, dan G adalah konstanta universal yang harus diukur secara eksperimen dan mempunyai nilai numerik yang sama untuk semua benda, yaitu $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{N.m}^2/\text{kg}^2$. Jika persamaan di atas diterapkan di Bumi, maka:

$$F_E = G \frac{m_E m}{r^2}$$

Dimana pada $F_E = mg$, jadi:

$$g = G \frac{m_E m}{r^2}$$

Contoh Soal

Seseorang yang massanya 50 kg dan satu orang lagi yang bermassa 75 kg sedang duduk di sebuah kursi taman sedemikian sehingga pusat mereka berjarak 0,50 m. Berapakah besar gaya gravitasi yang diberikan masing-masing terhadap yang satunya?

Jawab.

Dik. $m_1 = 50$ kg; $m_2 = 75$ kg; $r = 0,50$ m

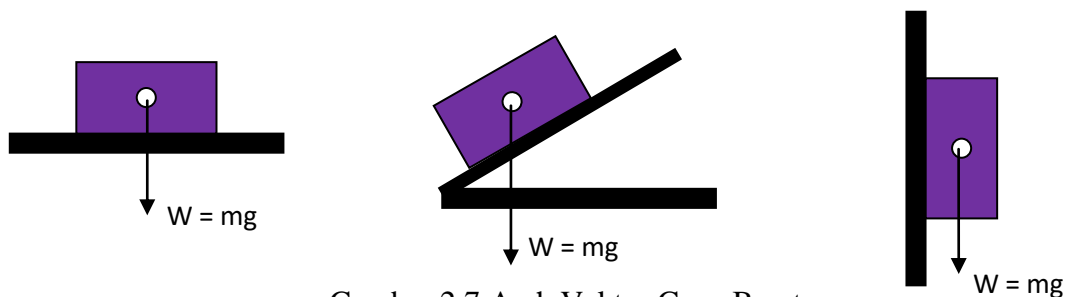
Dit. F?

Penye.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2 \frac{50 \text{ kg} \cdot 75 \text{ kg}}{(0,50 \text{ m})^2} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ N}$$

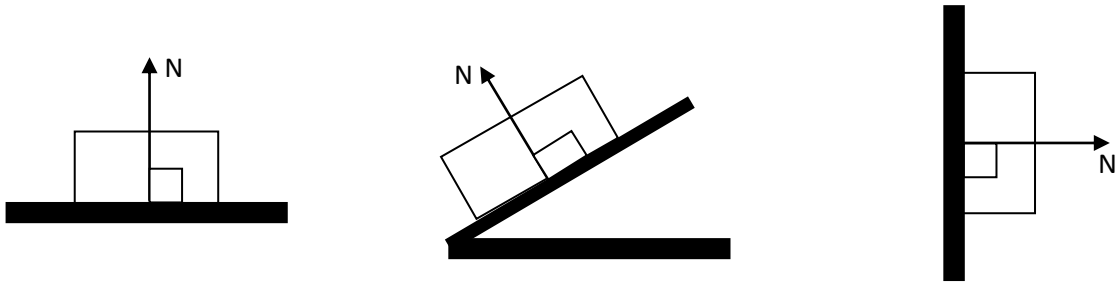
G. MACAM-MACAM GAYA

1. Gaya berat: Gaya berat (W) adalah gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda. Gaya berat selalu tegak lurus kebawah dimana pun posisi benda diletakkan, apakah di bidang horizontal, vertikal ataupun bidang miring.



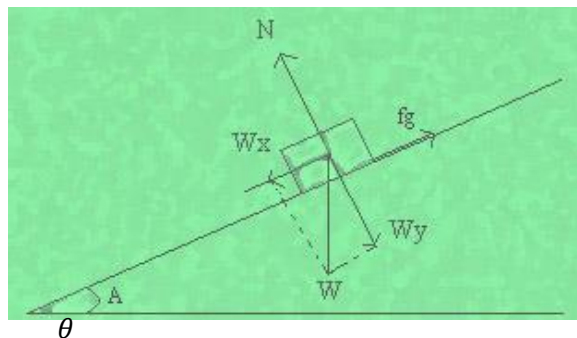
Gambar 2.7 Arah Vektor Gaya Berat

2. Gaya Normal: Gaya normal (N) adalah gaya yang bekerja pada bidang sentuh antara dua permukaan yang bersentuhan, dan arahnya selalu tegak lurus bidang sentuh.



Gambar 2.8 Arah Vektor Gaya Normal

3. Gaya Gesek: yaitu gaya sentuh yang muncul jika permukaan dua zat padat bersentuhan secara fisik, dimana arah gaya gesekan sejajar dengan permukaan bidang dan selalu berlawanan dengan arah gerak relatif antara kedua benda tersebut.



Gambar 2.9 Gaya Gesek (www.altime.ru)

Ada dua jenis gaya gesekan yang bekerja pada benda, yaitu:

- Gaya gesekan kinetis (f_k)

Gaya gesekan kinetis yaitu gaya gesekan yang bekerja pada benda ketika benda sudah bergerak. Nilai gaya gesekan kinetis selalu tetap, dan dirumuskan dengan:

$$f_k = \mu_k N$$

Perhatikan gambar 2.9 di atas,

$$F_y = N - W \cdot \cos \theta = 0, \text{ sehingga } N = W \cdot \cos \theta$$

$$F_x = W \cdot \sin \theta - f_k = 0, \text{ sehingga } f_k = W \cdot \sin \theta$$

dengan:

$$f_k = \text{Gaya Gesek Kinetis}$$

$$F_y = \text{Jumlah gaya yang bekerja pada sumbu y}$$

F_x = Jumlah gaya yang bekerja pada sumbu x

W = Gaya Berat Benda

θ = Sudut Kemiringan Benda

μ_k = Koefisien Gesek Kinetis

N = Gaya Normal

Untuk sebuah benda diam yang terletak diatas sebuah bidang datar kasar dan diberi gaya F, maka:



- Jika $F < f_s$ **maksimum**, maka benda tetap diam, besar gaya gesek yang bekerja : $f_s = F$
- Jika $F = f_s$ **maksimum**, maka benda tetap diam (tepat akan bergerak).
Besar gaya gesek yang bekerja : $f_g = f_s = F$
- Jika $F > f_s$ **maksimum**, benda dalam keadaan bergerak , besar gaya gesek yang bekerja : $f_g = f_k$
 - Gaya gesekan statis (f_s)

Gaya gesekan statis bekerja saat benda dalam keadaan diam dan nilainya mulai dari nol sampai suatu harga maksimum. Jika gaya tarik/dorong yang bekerja pada suatu benda lebih kecil dari gaya gesekan statis maksimum, maka benda masih dalam keadaan diam dan gaya gesekan yang bekerja pada benda mempunyai besar yang sama dengan nilai gaya tarik/dorong pada benda tersebut. Besarnya gaya gesekan statis maksimum adalah:

$$f_s = \mu_s N$$

dimana μ_s adalah koefisien gesekan statis dan N adalah gaya Normal.

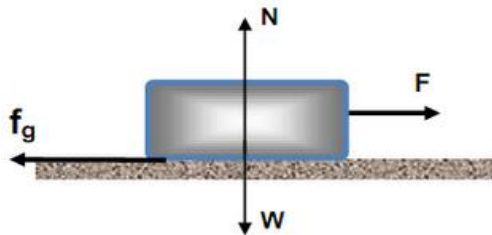
Contoh Soal



Sebuah balok bermassa 4 kg terletak diam pada bidang datar. Hitunglah: Gaya gesekan kinetis dan statis benda jika lantai kasar dengan $\mu_s = 0,4$ dan $\mu_k = 0,2$ yang ditarik dengan gaya $F = 10 \text{ N}$.

Penyelesaian:

Diagram gaya untuk kasus ini adalah sebagai berikut:



Jawab.

Dik. $m = 4 \text{ kg}$; $F = 10 \text{ N}$
 $\mu_s = 0,4$ dan $\mu_k = 0,2$

Dit. f_s? dan f_k?

Penye.

Dari hukum Newton II yaitu $\Sigma F = \Sigma ma$ ke arah vertikal (sumbu y), bendadiam ($a=0$)

$$\Sigma F = 0$$

$$N - W = 0 \text{ sehingga } N = W$$

$$N = mg = 4 \cdot 10 = 40 \text{ N}$$

Besarnya gaya gesekan statis f_s adalah

$$f_s = \mu_s \cdot N = 0,4 \cdot 40 = 16 \text{ N}$$

Besarnya gaya gesekan kinetis f_k adalah

$$f_k = \mu_k \cdot N = 0,2 \cdot 40 = 8 \text{ N}$$

RANGKUMAN

1. Jarak adalah besaran skalar yang menyatakan bagaimana jauhnya sebuah benda telah bergerak.

Perpindahan adalah besaran vektor yang menyatakan seberapa jauh benda telah berpindah posisi dari posisi awalnya.

2. Kecepatan rata-rata:

$$\bar{v} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Kecepatan sesaat:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

3. Percepatan rata-rata:

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

Percepatan sesaat:

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

4. GLB:

$$x_t = x_0 + v t$$

GLBB:

$$x_t = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

5. Tabel Persamaan-Persamaan Gerak Kinematika untuk Gerak Peluru (y positif arah ke atas; $a_x = 0$, $a_y = -g = -9,80 \text{ m/s}^2$)

No.	Gerak (Horizontal) ($a_x = 0$, $v_y = \text{konstan}$)	Gerak (Vertikal) ($v_y = -g = \text{konstan}$)
1.	$v_x = v_{x0}$	$v_y = v_{y0} - gt$
2.	$x = x_0 + v_{x0}t$	$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$
3.		$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2gy$

6. Gerak Melingkar:

Percepatan total:

$$a = \sqrt{a_T^2 + a_c^2}$$

Gaya sentripetal:

$$F_c = ma = m \frac{v^2}{r}$$

7. Hukum Newton

Hukum Newton I:

$$\Sigma F = 0$$

Hukum Newton II:

$$\Sigma F = m a$$

Hukum Newton III:

$$F_{aksi} = - F_{reaksi}$$

Hukum Gravitasi Newton:

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

LATIHAN

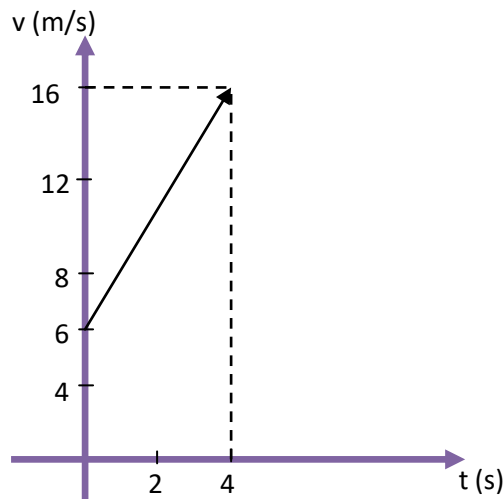
1. Persamaan gerak dinyatakan oleh fungsi $x(t) = 0,1 t^3$, dengan x dalam meter dan t dalam detik. Hitunglah:
 - a. Kecepatan rata-rata dalam selang waktu $t = 3$ s ke $t = 4$ s
 - b. Kecepatan pada saat $t = 3$ s
 - c. Percepatan rata-rata dalam selang waktu $t = 3$ s ke $t = 4$ s
 - d. Percepatan pada saat $t = 5$ s
2. Sebuah bola ditendang dengan sudut $\theta_0 = 37^\circ$ dengan kecepatan 20 m/s. Hitunglah:
 - a. Tinggi maksimum bola
 - b. Waktu perjalanan bola menyentuh tanah
 - c. Seberapa jauh dari titik awal bola tersebut menyentuh tanah.
3. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan 25 m/s. Setelah menempuh jarak 500 m kecepatan benda menjadi 10 m/s. Hitunglah perlambatan benda tersebut.
4. Pada permainan ski, misalkan salju menjadi cair dan pemain ski meluncur pada kemiringan 30° tersebut dengan laju konstan. Berapakah besar koefisien gesek kinetisnya?

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat

1. Sebuah benda bergerak lurus 50 m ke arah Timur dalam waktu 60 sekon, lalu 30 m ke arah Barat dalam waktu 40 sekon. Laju dan kecepatan partikel itu selama waktu itu adalah ...
 - A. 0,8 m/s dan 0,2 m/s ke arah Timur
 - B. 0,8 m/s dan 0,2 m/s ke arah Barat
 - C. 0,8 m/s dan 0,4 m/s ke arah Timur
 - D. 0,8 m/s dan 0,4 m/s ke arah Barat
 - E. 0,4 m/s dan 0,2 m/s ke arah Timur
2. Suatu partikel bergerak lurus sepanjang sumbu x di mana posisinya dinyatakan oleh persamaan $x = 5t^2 + 1$, di mana x dalam meter dan t dalam sekon. Kecepatan rata-rata dalam selang waktu antara 2 s dan 3 s adalah ...
 - A. 5 m/s
 - B. 15 m/s
 - C. 25 m/s
 - D. 40 m/s
 - E. 50 m/s

3.



Grafik di atas merupakan grafik gerak lurus berubah beraturan. Jarak yang ditempuh benda selama 4 sekon adalah ...

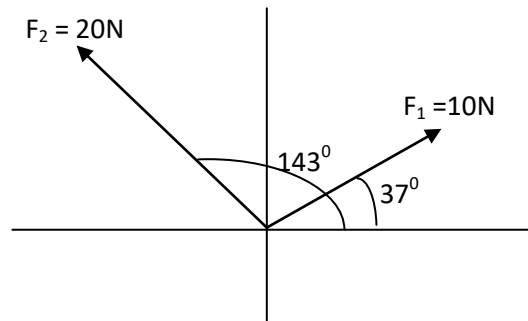
- A. 24 m
 - B. 44 m
 - C. 64 m
 - D. 76 m
 - E. 92 m
4. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dari tanah, ternyata tinggi maksimum yang dicapai peluru di atas tanah ialah 80 m ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Kecepatan peluru dan tinggi kedudukan peluru di atas tanah setelah melesat selama 2 s adalah ...
- A. 15 m/s dan 40 m
 - B. 20 m/s dan 60 m
 - C. 30 m/s dan 50 m
 - D. 25 m/s dan 60 m
 - E. 40 m/s dan 60 m
5. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dari permukaan tanah dengan kecepatan awal 80 m/s ($g = 10 \text{ m/s}^2$). Maka lamanya peluru di udara, tinggi maksimum yang dicapai peluru, dan kecepatan peluru tepat jatuh menyentuh tanah masing-masing adalah ...
- A. 16 s, 320 m, dan 80 m/s
 - B. 16 s, 640 m, dan 80 m/s
 - C. 18 s, 320 m, dan 80 m/s
 - D. 18 s, 640 m, dan 80 m/s
 - E. 20 s, 640 m, dan 120 m/s
6. Sebuah benda yang bergerak melingkar beraturan mempunyai ...
- A. Kelajuan tetap
 - B. Kecepatan tetap
 - C. Percepatan tetap
 - D. Sudut simpangan tetap

- E. Percepatan sudut tetap
7. Sebuah roda berdiameter 1 m melakukan 120 putaran per menit. Kecepatan linier suatu titik pada roda tersebut adalah ...
- A. $\frac{1}{2} \pi$ m/s
B. π m/s
C. 2π m/s
D. 4π m/s
E. 6π m/s
8. Sebuah benda massanya 20 kg terletak pada bidang miring dengan sudut kemiringan α ($\tan \alpha = \frac{3}{4}$). Jika percepatan gravitasi setempat 10 m/s^2 , maka besar gaya normal bidang terhadap benda adalah ...
- A. 100 N
B. 120 N
C. 150 N
D. 200 N
E. 250 N

B. Jawablah dengan benar

1. Jelaskan pengertian jarak dan perpindahan!
2. Sebutkan contoh yang termasuk jarak dan perpindahan dalam kehidupan!
3. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 54 km/jam. Tiba-tiba mobil direm dan berhenti setelah 2 detik. Hitunglah jarak yang ditempuh selama pengereman.
4. Sebuah bola bermassa 0,5 kg diikat diujung seutas tali yang mempunyai panjang 1,5 m. Bola tersebut diputar dalam suatu lingkaran horizontal seperti tampak pada gambar di bawah ini. Bila bola tersebut berputar dengan laju konstan dengan membuat putaran 120 putaran permenit dan tali tidak putus. Tentukan:
 - a. Frekuensi f dan periodenya T
 - b. Kecepatan sudut dan kecepatan linearnya
 - c. Percepatan sentripetal dan gaya tegang tali (gaya sentripetal)

- d. Laju linearnya, jika tali tersebut hanya mampu menahan tegangan 50 N
5. Sebuah bola bilyard diletakkan pada permukaan yang licin sekali (anggap gesekannya tidak ada). Dua gaya bekerja pada bola ini seperti pada Gb.



Hitung percepatan tersebut jika massanya, 0,5kg.

6. Hitung gaya total di Bulan ($m_M = 7,35 \times 10^{22} \text{ kg}$) yang disebabkan oleh gaya tarik gravitasi Bumi ($m_E = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$) dan Matahari ($m_S = 1,99 \times 10^{30} \text{ kg}$) dengan menganggap ketiganya membentuk sudut siku-siku. Bumi terletak $3,84 \times 10^5 \text{ km}$ dari Bulan dan Matahari berada $1,50 \times 10^8 \text{ km}$ dari Bumi dan Bulan.
7. Perkirakan gaya total yang dibutuhkan untuk mempercepat mobil dengan massa 1000 kg sebesar $\frac{1}{2} g$.



Sumber: www.weight-lifting-world.com

KOMPOTENSI DASAR

1. Mendeskripsikan hubungan antara usaha, perubahan energi dengan hukum kekekalan energi mekanik.
2. Mendeskripsikan hukum kekekalan energi mekanik untuk menganalisis gerak dalam kehidupan sehari-hari.

INDIKATOR

1. Menentukan hubungan antara usaha, gaya dan perpindahan.
2. Menganalisis energi kinetik dan energi potensial.
3. Menerapkan hukum kekekalan energi mekanik pada berbagai gerak.
4. Menentukan hubungan daya dan energi.

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Menjelaskan pengertian usaha dan energi
2. Menghitung besarnya usaha suatu benda
3. Menghitung besar energi kinetik dan energi potensial
4. Menentukan hubungan antara usaha dengan energi kinetik
5. Menentukan hubungan antara usaha dengan energi potensial
6. Merumuskan bentuk hukum kekekalan energi mekanik
7. Menentukan hukum kekekalan energi mekanik pada berbagai gerak
8. Menjelaskan pengertian daya
9. Menghitung besar daya pada suatu benda

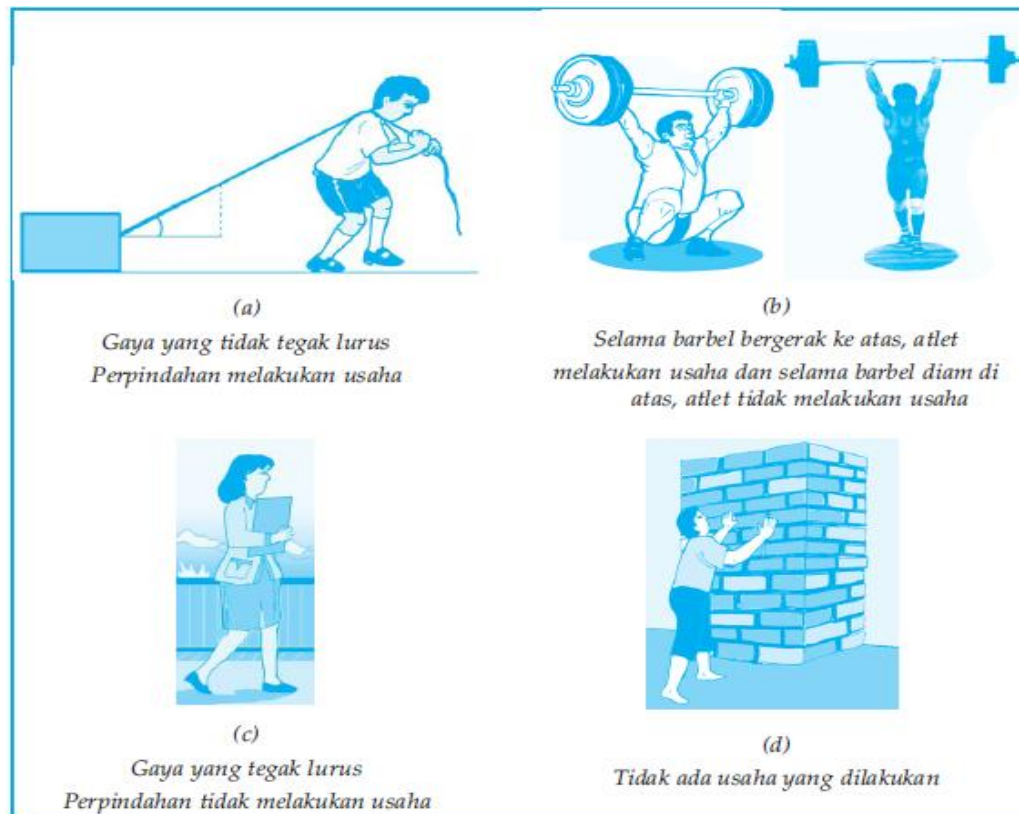


URAIAN MATERI

Dalam kehidupan sehari-hari, kita tidak lepas dari kata ‘gerak’. Gerak terjadi karena adanya suatu gaya yang bekerja pada objek tersebut. Pada bab sebelumnya kita sudah membahas mengenai gerak. Pada pembahasan ini gaya mempunyai peranan utama dalam menentukan gerak suatu benda. Hal ini tidak terlepas dari konsep energi dan kerja (usaha). Besaran-besaran ini merupakan besaran skalar dan dengan demikian tidak mempunyai arah yang berhubungan dengannya. Karena kedua besaran ini merupakan skalar, lebih mudah untuk menangannya daripada besaran vektor seperti gaya dan percepatan. Energi bersifat penting karena dua hal (Douglas C. Giancoli, 2001: 172-173); pertama, energi merupakan besaran yang kekal; kedua, energi merupakan konsep yang tidak hanya berguna dalam mempelajari gerak, tetapi juga pada semua bidang fisika dan ilmu lainnya.

Agar kita dapat melakukan suatu usaha diperlukan energi. Walaupun kita telah mengeluarkan energi dapat saja dikatakan kita tidak melakukan usaha, sebab pengertian usaha di dalam Fisika berbeda dengan pengertian usaha di dalam kehidupan sehari-hari.

Perhatikan gambar di bawah ini:



Gambar 3.1 Jenis-jenis gaya yang terjadi

Keterangan:

- (a) : Seseorang yang sedang memindahkan (menarik) sebuah balok kayu. Selama itu orang telah melakukan usaha dan selama itu ia telah mengeluarkan energi.
- (b) : Seorang atlet angkat besi sedang mengangkat barbel.
- Selama barbel bergerak ke atas, dikatakan atlet tersebut melakukan usaha dan selama itu atlet mengeluarkan energi.
 - Selama barbel terangkat di atas kepala dan diam dikatakan atlet tidak melakukan usaha walaupun atlet tersebut mengeluarkan energi untuk menahan benda tersebut.
- (c) : Seseorang sedang membawa buku dari suatu tempat ke tempat lain.
- Selama orang tersebut membawa buku dikatakan tidak melakukan usaha walaupun orang tersebut telah mengeluarkan energi.

(d) : Seorang sedang mendorong tembok dan tembok tidak bergerak.

Selama itu orang dikatakan tidak melakukan usaha walaupun selama ia mendorong tembok ia telah mengeluarkan energi.

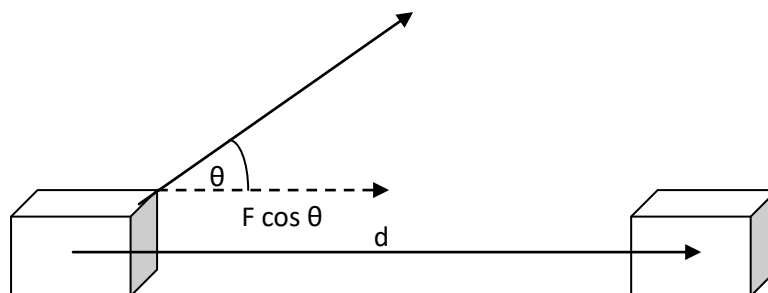
A. USAHA

Dalam kehidupan sehari-hari, pengertian usaha identik dengan kemampuan untuk meraih sesuatu. Misalnya, usaha untuk bisa naik kelas atau usaha untuk mendapatkan nilai yang besar. Namun, apakah pengertian usaha menurut ilmu Fisika?

Ketika benda didorong ada yang berpindah tempat dan ada pula yang tetap di tempatnya. Ketika kamu mendorong atau menarik suatu benda, berarti kamu telah memberikan gaya pada benda tersebut. Oleh karena itu, usaha sangat dipengaruhi oleh dorongan atau tarikan (gaya). Menurut informasi tersebut, jika setelah didorong benda itu tidak berpindah, gayamu tidak melakukan usaha. Dengan kata lain, usaha juga dipengaruhi oleh perpindahan.

Perlu diperhatikan, kita tidak boleh mengasosiasikan pemahaman kata ‘usaha’ dalam bahasa sehari-hari dengan istilah usaha dalam fisika, walaupun ada kemiripannya. Sebagai istilah fisika usaha yang dilakukan suatu gaya didefinisikan sebagai hasil kali skalar vektor gaya dan vektor perpindahan benda, atau hasil kali komponen gaya yang searah dengan perpindahan benda dengan besar perpindahan benda. Perlu diperhatikan bahwa perpindahan bendanya tidak harus disebabkan oleh gaya tadi. Usaha dilambangkan dengan W (work) dan untuk gaya yang konstan dirumuskan sebagai:

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s} = F \cos \theta$$



Gambar 3.2 Sebuah benda yang berpindah akibat F

Dengan θ adalah sudut antara vektor gaya dan vektor perpindahan benda s . Bila gayanya tidak konstan, maka harus dijumlahkan untuk setiap bagian perpindahannya dengan gaya yang konstan,

$$W = \sum_i \vec{F}_i \cdot \Delta \vec{s}_i$$

Bila perubahannya kontinyu, maka perumusan di atas berubah menjadi integral

$$W = \int_a^b \vec{F}_i \cdot d\vec{s}_i$$

untuk perpindahan dari titik a ke titik b, melalui suatu lintasan.

Contoh Soal

1. Suatu gaya 10 N bekerja pada sebuah benda yang bermassa 5 kg yang terletak pada bidang datar selama 10 sekon. Jika benda mula-mula diam dan arah gaya searah dengan perpindahan benda, maka tentukan:
 - a. jarak yang ditempuh benda selama 10 sekon.
 - b. usaha yang dilakukan oleh gaya pada benda selama 10 sekon!

Penyelesaian:

Diketahui: $F = 10 \text{ N}$; $m = 5 \text{ kg}$; $t = 10 \text{ sekon}$; $V_0 = 0$

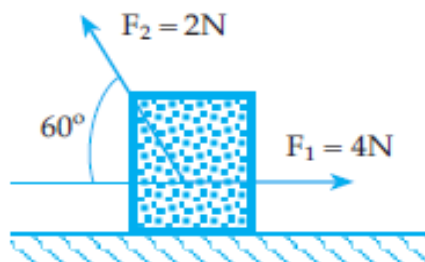
Ditanya: a) S b) W

Jawab:

$$\text{a. } a = \frac{F}{m} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2 \qquad \text{b. } W = F \cdot s = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ J}$$

$$s = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 100 \text{ m}$$

2.



Gambar di samping melukiskan sebuah benda yang terletak pada bidang datar bekerja dua gaya dengan besar dan arah seperti terlihat pada gambar. Jika akibat kedua gaya tersebut benda berpindah ke kanan sejauh 0,5 m, berapakah usaha yang dilakukan oleh kedua gaya pada benda selama perpindahannya?

Penyelesaian:

Diketahui: $F_1 = 4 \text{ N}$; $\theta_1 = 0^\circ$ (arah F_1 searah perpindahan benda)

$$F_2 = 2 \text{ N}; \theta_2 = 120^\circ$$

$$S = 0,5 \text{ m}$$

Ditanya: W

Jawab:

$$W = W_1 + W_2$$

$$W = F_1 \cdot S \cdot \cos \theta_1 + F_2 \cdot S \cdot \cos \theta_2$$

$$W = 4 \cdot 0,5 \cdot \cos 0^\circ + 2 \cdot 0,5 \cdot \cos 120^\circ$$

$$W = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ N.m}$$

B. ENERGI

Setiap saat manusia memerlukan energi yang sangat besar untuk menjalankan kegiatannya sehari-hari, baik untuk kegiatan jasmani maupun kegiatan rohani. Berpikir, bekerja, belajar, dan bernyanyi memerlukan energi yang besar. Kamu membutuhkan berjuta-juta kalori setiap harinya untuk melakukan kegiatan dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, disarankan setiap pagi sebelum berangkat sekolah, kamu harus makan terlebih dahulu. Dengan demikian, tubuhmu cukup energi untuk melakukan kegiatan di sekolah dan untuk menjaga kesehatanmu.

Ketika kamu sakit dan nafsu makanmu hilang, tubuhmu akan lemas karena energi dalam tubuhmu berkurang. Jika demikian, kegiatan rutin sehari-harimu akan terganggu bahkan kegiatan ibadahmu pun akan terganggu. Menurutmu, apakah energi itu?

Dalam fisika, energi sering diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Jika suatu benda melakukan usaha, maka benda tersebut akan kehilangan energi yang sama dengan usaha yang dilakukannya.

$$\sum E_{diberikan} = \sum E_{dilakukan}$$

Energi dapat berubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Misalnya pada kompor di dapur, energi yang tersimpan dalam minyak tanah diubah menjadi api yang selanjutnya jika api digunakan untuk memanaskan air, energi berubah bentuk lagi menjadi gerak molekul-molekul air. Perubahan bentuk energi ini disebut transformasi energi.

Energi juga dapat berpindah dari suatu benda ke benda yang lain. Perpindahan energi ini disebut transfer energi. Misalnya untuk contoh kompor di dapur tadi, energi pembakaran yang ada di dalam api dipindahkan ke air yang ada di dalam panci. Perpindahan energi seperti ini yang terjadi semata-mata karena perbedaan temperatur.

1. Energi Kimia

Energi kimia adalah energi yang tersimpan dalam persenyawaan kimia. Makanan banyak mengandung energi kimia yang sangat bermanfaat bagi tubuh manusia. Energi kimia pun terkandung dalam bahan minyak bumi yang sangat bermanfaat untuk bahan bakar. Baik energi kimia dalam makanan maupun energi kimia dalam minyak bumi berasal dari energi matahari.

Energi cahaya matahari sangat diperlukan untuk proses fotosintesis pada tumbuhan sehingga mengandung energi kimia. Tumbuhan dimakan oleh manusia dan hewan sehingga mereka akan memiliki energi tersebut. Tumbuhan dan hewan yang mati milyaran tahun yang lalu menghasilkan minyak bumi. Energi kimia dalam minyak bumi sangat bermanfaat untuk menggerakkan kendaraan, alat-alat pabrik, ataupun kegiatan memasak.

2. Energi Listrik

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan. Energi ini dipindahkan dalam bentuk aliran muatan listrik melalui kawat logam konduktor yang disebut arus listrik. Energi listrik dapat diubah menjadi bentuk energi yang lain seperti energi gerak, energi cahaya, energi panas,

atau energi bunyi. Sebaliknya, energi listrik dapat berupa hasil perubahan energi yang lain, misalnya dari energi matahari, energi gerak, energi potensial air, energi kimia gas alam, dan energi uap.

3. Energi Panas

Sumber energi panas yang sangat besar berasal dari Matahari. Sinar matahari dengan panasnya yang tepat dapat membantu manusia dan makhluk hidup lainnya untuk hidup dan berkembang biak. Energi panas pun merupakan hasil perubahan energi yang lain, seperti dari energi listrik, energi gerak, dan energi kimia. Energi panas dimanfaatkan untuk membantu manusia melakukan usaha seperti menyetrika pakaian, memasak, dan mendidihkan air.

4. Energi Kinetik

Sebuah benda yang sedang bergerak memiliki kemampuan untuk melakukan usaha maka dapat dikatakan mempunyai energi. Energi gerak disebut energi kinetik yang berasal dari bahasa Yunani “*kinetos*” yang berarti gerak (Douglas C. Giancoli, 2001:179). Jadi energi kinetik merupakan energi yang dimiliki oleh benda karena gerakannya atau kecepatannya.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Dimana: E_k = energi kinetik (J)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan benda (m/s)

E_k dapat disebut juga sebagai energi kinetik translasi, untuk membedakan dari energi kinetik rotasi. Misalkan sebuah benda dengan massa m sedang bergerak pada garis lurus dengan kecepatan awal v_1 . Untuk mempercepat benda itu secara beraturan sampai kecepatannya v_2 , maka diberikan padanya suatu gaya total konstan F_{tot} dengan arah yang sejajar dengan arah geraknya sejauh jarak d , kemudian usaha total yang dilakukan pada benda itu adalah:

$$W_{Tot} = F_{Tot}d$$

$$W_{Tot} = ma \cdot d \quad (\text{berlaku Hukum II Newton: } F = ma)$$

$$W_{Tot} = m \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \right) d \quad (\text{pers. Sebelumnya } v_2^2 = v_1^2 + 2ad)$$

$$W_{Tot} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

Persamaan di atas merupakan persamaan untuk gerak satu dimensi dan berlaku juga untuk gerak translasi tiga dimensi, bahkan untuk gaya yang tidak beraturan. Persamaan (3.5) dikenal sebagai teorema usaha-energi kinetik, yang dapat ditulis kembali menjadi persamaan:

$$W_{Tot} = E_{k2} - E_{k1}$$

$$W_{Tot} = \Delta E_k$$

Dimana E_{k1} adalah energi kinetik awal dan E_{k2} adalah energi kinetik akhir. Dan persamaan di atas berarti bahwa kerja total yang dilakukan pada sebuah benda sama dengan perubahan energi kinetiknya.

Teorema usaha-energi hanya berlaku jika W adalah usaha total yang dilakukan pada benda (usaha yang dilakukan oleh semua gaya F_{Tot} yang bekerja pada benda tersebut). Jika W_{Tot} positif dilakukan pada sebuah benda, maka energi kinetiknya bertambah sejumlah W . Dan berlaku sebaliknya, Jika W_{Tot} negatif dilakukan pada sebuah benda, maka energi kinetiknya berkurang sejumlah W . Artinya F_{Tot} yang diberikan pada benda dengan arah yang berlawanan dengan arah gerak benda mengurangi kecepatannya dan energi kinetiknya. Jika W_{Tot} yang dilakukan pada benda sebesar nol, maka energi kinetiknya tetap konstan dan artinya kecepatannya juga konstan.

Contoh Soal

Sebuah bola baseball dengan massa 145 g dilemparkan dengan kecepatan 25 m/s.

- Berapakah energi kinetiknya?
- Berapakah usaha yang dilakukan pada bola untuk mencapai kecepatan ini, jika dimulai dari keadaan diam?

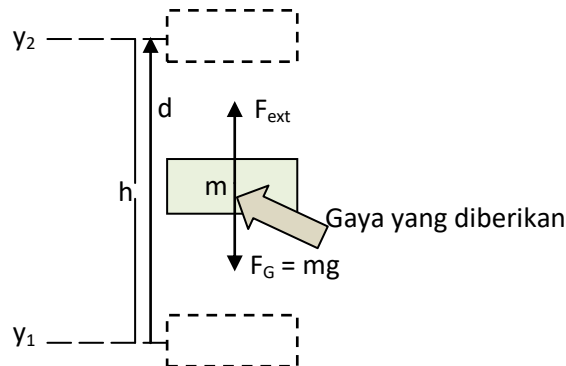
Penyelesaian.

$$\begin{aligned} \text{a. } E_k &= \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,145 \text{ kg})(25 \text{ m/s})^2 = 45 \text{ J} \\ \text{b. } W &= E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 45 \text{ J} - 0 = 45 \text{ J} \end{aligned}$$

5. Energi Potensial

Energi potensial adalah energi yang dimiliki oleh benda karena kedudukannya atau posisinya. Berbagai jenis energi potensial dapat didefinisikan, dan setiap jenis dihubungkan dengan suatu gaya tertentu.

Energi potensial akibat gravitasi Bumi disebut energi potensial gravitasi. Energi potensial gravitasi pun bisa diakibatkan oleh tarikan benda-benda lain seperti tarikan antarplanet. Adapun energi potensial yang dimiliki suatu benda akibat pegas atau karet yang kamu regangkan disebut energi potensial pegas.



Gambar 3.3 Seseorang memberikan gaya ke atas F_{ext} untuk mengangkat sebuah gaya

Untuk mengangkat vertikal suatu benda bermassa m , gaya ke atas yang paling tidak sama dengan beratnya mg harus diberikan padanya (misal oleh tangan seseorang). Untuk mengangkat benda itu tanpa percepatan setinggi h dari posisi y_1 ke posisi y_2 (Gambar 3.1), maka orang tersebut harus melakukan usaha yang sama dengan hasil kali gaya eksternal yang dibutuhkan $F_{\text{ext}} = mg$ ke atas (jika diasumsikan arah ke atas positif) dan jarak vertikal h .

$$W_{\text{ext}} = F_{\text{ext}} d \cos 0^\circ = mgh = mg(y_2 - y_1)$$

Gravitasi juga bekerja pada benda sewaktu bergerak dari y_1 ke y_2 dan melakukan usaha sebesar:

$$W_G = F_G d \cos \theta = mgh \cos 180^\circ = -mgh = -mg(y_2 - y_1)$$

Jadi kemudian benda dilepaskan dari keadaan diam, maka benda akan jatuh bebas dibawah pengaruh gravitasi dan benda itu akan memiliki kecepatan setelah jatuh dengan ketinggian h sebesar:

$$v^2 = v_0^2 + 2gh = 2gh$$

Benda akan mempunyai energi kinetik $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(2gh) = mgh$, dan jika benda mengenai sebuah tiang pancang maka benda itu bias melakukan usaha pada tiang itu sebesar mgh (teorema usaha-energi). Oleh karena itu, dengan menaikkan sebuah benda dengan massa m sampai ketinggian h membutuhkan sejumlah usaha yang sama dengan mgh . Maka energi potensial sebuah benda dapat didefinisikan dalam persamaan:

$$E_p = mgh$$

Dimana: E_p = energi potensial benda (J)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = tinggi benda (m)

Semakin tinggi suatu benda di atas tanah, maka semakin besar energi potensial yang dimilikinya.

$$W_{\text{ext}} = mgy_2 - mgy_1 = E_{p2} - E_{p1} = \Delta E_p$$

Dengan demikian usaha yang dilakukan oleh gaya eksternal untuk menggerakkan massa m dari titik 1 ke titik 2 (tanpa percepatan) sama dengan perubahan energi potensial benda antar titik 1 dan titik 2. Selain itu ΔE_p dalam hubungannya dengan usaha yang dilakukan gravitasi dapat ditulis dalam persamaan:

$$W_G = -mgh = -mg(y_2 - y_1)$$

Artinya usaha yang dilakukan ke titik oleh gravitasi sementara massa m bergerak dari titik 1 ke titik 2 sama dengan negatif dari perbedaan energi potensial antara titik 1 dan titik 2.

6. Hukum Kekekalan Energi

Energi mekanik total (E_M) merupakan jumlah energi kinetik dan energi potensial. Dan dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$E_M = E_k + E_p$$

Hukum kekekalan energi mekanik untuk gaya-gaya konservatif menyatakan bahwa: *“jika hanya gaya-gaya konservatif yang bekerja, energi mekanik total dari sebuah sistem tidak bertambah maupun berkurang dalam proses apapun. Energi tersebut tetap konstan-kekal”* (Douglas C. Giancoli, 2001: 188). Dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$E_{M1} = E_{M2} = \text{konstan}$$

Dalam kehidupan sehari-hari, kita biasa melihat suatu benda yang jatuh. Misalnya saja kita jatuhkan benda dari tangan kita, benda tersebut akan jatuh dengan ketinggian h di bawah pengaruh gravitasi. Ketika dijatuhkan, benda tersebut yang mulanya dalam keadaan diam, pada awalnya hanya mempunyai energi potensial. Sewaktu jatuh, energi potensialnya berkurang tetapi energi kinetiknya bertambah untuk mengimbangi, sehingga jumlah keduanya tetap konstan.

Contoh Soal

Sebuah batu dijatuhkan yang mula-mula diam dengan ketinggian awal 530 cm. Tentukan besarnya kecepatan batu tersebut ketika telah mencapai posisi 275 cm di atas tanah.

Jawab.

Dik. $h_1 = 530 \text{ cm} = 5,3 \text{ m}$

$h_2 = 275 \text{ cm} = 2,75 \text{ m}$

Dit. $v_2, \dots ?$

Penye. $E_{M1} = E_{M2}$

$$\frac{1}{2} m v_1^2 + m g h_1 = \frac{1}{2} m v_2^2 + m g h_2$$

$$0 + m (9,8)(5,3) = \frac{1}{2} m v_2^2 + m (9,8)(2,75)$$

$$v_2^2 = 2(9,8 \times 5,3) - (9,8 \times 2,75)$$

$$= 2(51,94 - 26,95) = 2 \times 24,99 = 49,98$$

$$v_2 = 7,07 \text{ m/s}$$

Selain energi kinetik dan energi potensial, masih banyak bentuk-bentuk energi yang terdapat dalam suatu benda. Misalnya dalam makanan terdapat energi kimia, dalam bahan bakar terdapat energi panas, dan masih ada energi listrik yang kita manfaatkan sekarang dalam kehidupan kita. Tetapi dengan munculnya teori atom, bentuk-bentuk energi yang lain ini dianggap sebagai energi kinetik dan energi potensial pada tingkat atom atau molekul. Sebagai contoh, menurut teori atom, energi panas diinterpretasikan sebagai energi kinetik dari molekul-molekul yang bergerak cepat jika sebuah benda dipanaskan. Sedangkan energi yang tersimpan pada makanan dan bahan bakar seperti bensin dapat dianggap sebagai energi potensial yang tersimpan berdasarkan posisi relatif atom-atom di dalam molekul yang disebabkan oleh gaya listrik antar atom.

Dari beberapa contoh di atas, perpindahan energi diiringi dengan adanya usaha. Contoh tersebut memberikan pengertian yang lebih jauh mengenai hubungan antara usaha dan energi: *kerja dilakukan ketika energi dipindahkan dari satu benda ke benda yang lain* (Douglas C. Giancoli, 2001: 197).

Salah satu hasil fisika yang hebat adalah bilamana energi dipindahkan atau diubah, ternyata tidak ada energi yang didapat atau hilang pada proses tersebut. Ini merupakan Hukum Kekekalan Energi, salah satu prinsip yang paling penting dalam fisika, bisa dinyatakan sebagai:

Energi total tidak berkurang dan juga tidak bertambah pada proses apapun. Energi dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya, dan dipindahkan dari satu benda ke benda yang lain, tetapi jumlah totalnya tetap konstan (Douglas C. Giancoli, 2001: 198).

7. Daya

Daya didefinisikan sebagai kecepatan melakukan usaha atau kecepatan perubahan energi dan dapat ditulis dalam persamaan:

$$P = W/t$$

Dimana: P = daya (Watt)

W = usaha (J)

t = waktu (sekon)

Daya seekor kuda menyatakan seberapa besar kerja yang dapat dilakukan per satuan waktu. Penilaian daya sebuah mesin menyatakan seberapa besar energi kimia atau listrik yang bias diubah menjadi energi mekanik per satuan waktu. Karena usaha sama dengan gaya perpindahan ($W = Fs$), maka persamaan di atas dapat ditulis sebagai:

$$P = Fs/t = Fv$$

Contoh Soal

Seseorang bermassa 60 kg memanjat sebuah pohon kelapa hingga ketinggian 5 meter selama 10 detik. Daya yang dibutuhkan orang tersebut agar dapat memanjat pohon kelapa adalah... $g = 10 \text{ m/s}^2$

Pembahasan

Dik:

Massa (m) = 60 kg

Tinggi (h) = 5 meter

Percepatan gravitasi (g) = 10 m/s^2

Selang waktu (t) = 10 sekon

Dit : $P = \dots?$

Jawab:

$$W = m g h = (60)(10)(5) = 3000 \text{ Joule}$$

$$P = W / t = 3000 / 10 = 300 \text{ Joule/sekon.}$$

RANGKUMAN

1. Usaha adalah hasil kali resultan gaya dengan perpindahan.

$$W = F \cdot \cos \theta s$$

2. Energi potensial adalah energi yang dimiliki benda karena posisinya.

$$Ep = m \cdot g \cdot h$$

3. Energi kinetik adalah energi yang dimiliki benda bergerak.

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2$$

4. Energi mekanik adalah jumlah energi potensial dan energi kinetik.

$$Em = Ep + Ek$$

5. Usaha pada arah mendatar sama dengan perubahan energi kinetik.

$$W = \Delta Ek$$

6. Usaha pada arah vertikal sama dengan perubahan energi potensial.

$$W = \Delta Ep$$

7. Hukum Kekekalan Energi Mekanik dirumuskan sebagai berikut.

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$$

8. Daya adalah energi tiap satuan waktu

$$P = W/t$$

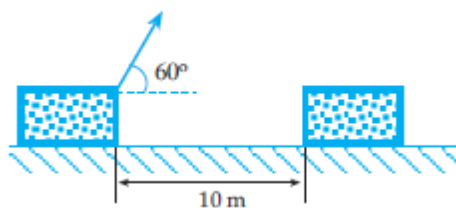
LATIHAN

1. Sebuah gaya konstan bekerja pada benda yang bermassa 1 kg yang mulamula diam, sehingga setelah 2 sekon kecepatannya menjadi 4 m/s. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut selama 2 sekon itu?
2. Sebuah mobil yang bermassa 2 ton, mula-mula bergerak dengan kecepatan 72 km/jam. Kemudian mobil direm dengan gaya konstan. Setelah menempuh jarak 150 m kecepatan mobil menjadi 36 km/jam, hitunglah:
 - a. Usaha yang dilakukan oleh gaya pengereman selama mobil direm
 - b. Besar gaya pengereman!
3. Hitung daya sebuah mesin yang dapat mengangkat beban 500 kg setinggi 20 m dalam waktu 60 detik.
4. Sebuah balok didorong sejauh 20 m di atas sebuah lantai datar dengan kecepatan konstan oleh gaya yang membentuk sudut 30^0 di bawah horizontal. Koefisien gesekan antara balok dan lantai 0,25. Berapakah usaha yang dilakukan?
5. Seseorang bermassa 70 kg berjalan naik tangga ke tingkat tiga sebuah gedung. Tinggi vertikal tingkat ini 12 m di atas jalan raya.
 - a. Berapa usaha yang dilakukannya?
 - b. Berapa banyak ia telah menambah energi potensialnya?
 - c. Jika ia naik tangga itu selama 20 sekon, berapa usahanya?

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat

1. Sebuah benda melakukan gerakan jatuh bebas, semakin ke bawah
 - a. E_p tetap, E_k tetap
 - b. E_p bertambah, E_k tetap
 - c. $(E_p + E_k)$ tetap
 - d. $E_p = E_k$
 - e. $(E_p + E_k)$ berubah
2. Kelereng dilempar ke atas dari permukaan tanah dengan kecepatan 8 m/s. Kecepatan kelereng saat bergerak ke atas dengan tinggi 2 m adalah . . .
 - a. $2\sqrt{6}$ m/s
 - b. 2 m/s
 - c. $\sqrt{6}$ m/s
 - d. $3\sqrt{8}$ m/s
 - e. $\sqrt{8}$ m/s
- 3.



Untuk memindahkan benda sejauh 10 m, gaya F melakukan usaha 250 joule. Besarnya gaya F adalah

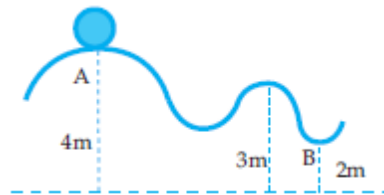
- a. 15 N
- b. 30 N
- c. 5 N
- d. 25 N
- e. 50 N

4. Mesin truk Pak Bonar mempunyai kekuatan 1.000 daya kuda (hp). Jika 1hp = 746 watt maka daya keluaran mesin dengan efisiensi mesin 90 % adalah .
...
- a. $7,460 \cdot 10^5$ watt
 - b. $7,460 \cdot 10^4$ watt
 - c. $7,460 \cdot 10^3$ watt
 - d. $6,714 \cdot 10^5$ watt
 - e. $6,714 \cdot 10^4$ watt
5. Air terjun pada ketinggian 40 m mengalirkan air sebanyak 150.000 kg/menit. Jika efisiensi generator 50 % maka daya yang dihasilkan generator adalah
- a. 525 kW
 - b. 500 kW
 - c. 475 kW
 - d. 450 kW
 - e. 400 kW
6. Besarnya usaha yang diperlukan untuk mendorong suatu benda sejauh 10 meter melalui lantai mendatar, apabila gaya gesekan yang harus ditentang 500 N ($g = 10 \text{ m/s}^2$) adalah
- a. 5000 joule
 - b. 1000 joule
 - c. 1500 joule
 - d. 2000 joule
 - e. 2500 joule
7. Sebuah bola dengan massa 100 gram dilempar ke atas pada dinding miring licin dengan sudut kemiringan 30° dengan kecepatan awal 10 m/s. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka usaha yang dilakukan oleh gaya berat bola mulai dilempar sampai saat bola akan kembali lagi adalah
- a. 5 J
 - b. 10 J
 - c. -5J

- d. -10 J
 - e. -1 J
8. Sebuah benda jatuh bebas dengan energi potensial 200 J dari ketinggian h meter di tanah. Pada saat ketinggian benda dari tanah $1/2h$, energi kinetik benda sebesar
- a. 150 J
 - b. 50 J
 - c. 200 J
 - d. 75 J
 - e. 100 J
9. Sebuah motor dengan kelajuan 18 km/jam memerlukan waktu 5 sekon untuk berhenti. Jika massa motor 100 kg maka:
- 1) perlambatan motor sebesar 1 m/s^2
 - 2) usaha yang diperlukan untuk menghentikan motor adalah -1.250 joule
 - 3) gaya rem untuk menghentikan gerak motor sebesar -100 N
 - 4) motor berhenti setelah menempuh jarak 12,5 m
- Pernyataan di atas yang benar adalah. . . .
- a. 1), 2), dan 3)
 - b. 1) dan 3)
 - c. 2) dan 4)
 - d. 4) saja
 - e. semua benar
10. Mesin sebuah pesawat menimbulkan gaya dorong 1350 N pada kecepatan 250 m/s. Daya dorong mesin tersebut adalah
- a. 3750 watt
 - b. 54 watt
 - c. 1600 watt
 - d. 1100 watt
 - e. 500 watt

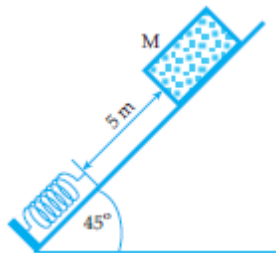
B. Jawablah dengan benar

1.



Sebuah kelereng dengan massa 40 gram dilepas di A sehingga bergerak pada lintasan AB. Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya berat kelereng dari titik A sampai titik B?

2. Mila memindahkan buku 200 gram dari permukaan tanah ke atas meja setinggi 1,25 m. Tentukan besar usaha yang diperlukan!
3. Sebuah mesin mempunyai kekuatan 1.350 hp. Jika $1 \text{ hp} = 746 \text{ watt}$ dan efisiensi mesin adalah 87%, tentukan daya keluaran mesin dalam satuan watt!
- 4.



Benda M dengan massanya 1 kg jatuh menggelincir dari atas bidang miring dengan sudut kemiringan 45° . Benda tersebut menumbuk sebuah pegas yang terletak 5 m dari letak M semula. (lihat gambar di samping). Jika pegas tertekan sejauh 50 cm, hitunglah koefisien gesekan antara balok M dan bidang miring, jika konstanta pegas $= 275 \text{ N/m}$!

5. Mila memindahkan buku 200 gram dari permukaan tanah ke atas meja setinggi 1,25 m. Tentukan besar usaha yang diperlukan!

Semua benda yang sudah dikenal telah diuji kekuatannya dan hasilnya diterbitkan dalam bentuk tabel yang digunakan untuk para insinyur. Apabila benda baru dibuat, benda itu harus diuji untuk menentukan kekuatannya dan benda yang akan digunakan untuk pekerjaan besar harus dicek untuk melihat apakah mutunya mencapai standar. Alat sederhana ini yang digunakan pada abad ke-19, mengukur tegangan sampel beton dengan menggunakan beban yang secara teratur bertambah berat untuk menekannya, sehingga menimbulkan tegangan sampel beton tadi pecah.



Sumber: Jendela IPTEK

KOMPOTENSI DASAR

1. Mendeskripsikan modulus Young
2. Mendeskripsikan Hukum Hooke

INDIKATOR

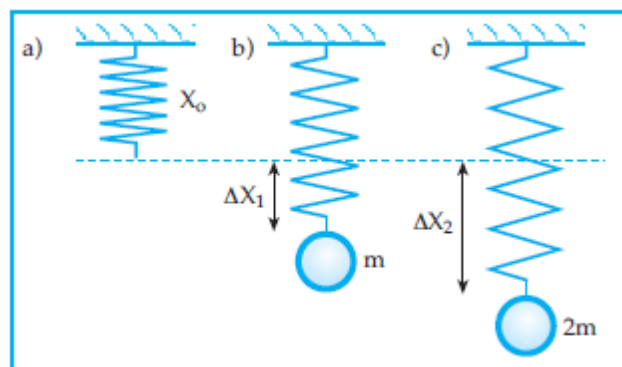
1. Menganalisis pengaruh gaya pada sifat elastisitas benda
2. Mendeskripsikan tegangan dan regangan
3. Menganalisis modulus elastisitas dan konstanta gaya
4. Mendeskripsikan Hukum Hooke

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Menjelaskan pengertian elastisitas suatu benda
2. Menjelaskan pengaruh gaya pada sifat elastisitas benda
3. Menjelaskan pengertian tegangan dan regangan
4. Menghitung besarnya tegangan dan regangan suatu benda
5. Membandingkan modulus elastisitas dan konstanta gaya
6. Menghitung modulus Young suatu benda
7. Menghitung besarnya gaya pada pegas
8. Menghitung energi potensial pegas

URAIAN MATERI



Gambar 4.1 Gaya Pegas

Keterangan:

Gambar (a): pegas dalam keadaan tergantung dengan panjang x_0

Gambar (b): pegas dalam keadaan tergantung dan pada ujung bebas digantungkan beban bermassa m , sehingga panjangnya menjadi x_1 atau bertambah panjang Δx_1 .

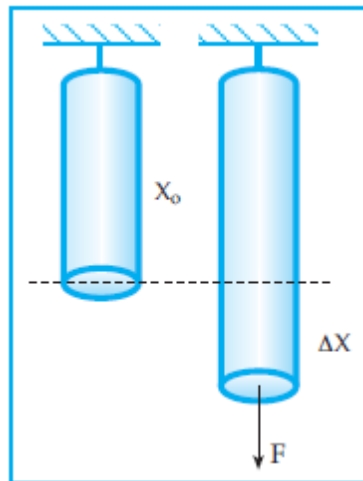
Gambar (c): pegas dalam keadaan tergantung dan pada ujung bebas digantungkan beban bermassa $2m$, sehingga panjangnya menjadi x_2 atau bertambah panjang Δx_2 .

Pertambahan panjang pegas karena adanya gaya berat beban yang bekerja pada pegas. Bagaimanakah hubungan gaya berat benda yang bekerja pada pegas dan pertambahan panjang pegas?

Elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan kepada benda itu dihilangkan. Banyak benda berubah bentuknya oleh pengaruh gaya, akan tetapi bentuk atau ukurannya akan kembali ke semula setelah gaya yang diadakan padanya dihilangkan. Benda seperti itu disebut benda yang elastik.

A. Tegangan dan Regangan

Tegangan (*strees*) gaya yang bekerja pada permukaan seluas satu satuan. Tegangan merupakan besaran skalar yang memiliki satuan N/m^2 atau Pascal (Pa). tegangan pada suatu benda menyebabkan benda itu mengalami perubahan bentuk.



Gambar 4.2 Regangan bahan elastis berbentuk silinder

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

Dimana: σ = tegangan (N/m^2)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m^2)

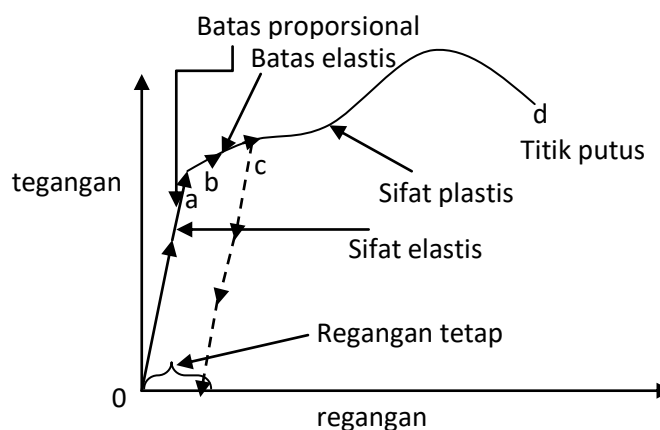
Regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjang terhadap panjang awal. Dapat ditulis secara matematis:

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

Dimana: e = regangan

ΔL = perubahan panjang (m)

L_0 = panjang awal (m)



Gambar 4.3 Tegangan-Regangan

Tekanan adalah memendeknya suatu benda yang disebabkan oleh dua gaya yang sama besar dengan arah berlawanan dan asing menuju tengah-tengah benda. Sedangkan Geser adalah bergesernya permukaan suatu benda yang disebabkan oleh dua buah gaya yang sama besar dengan berlawanan dan masing-masing bekerja pada sisi benda.

Apabila suatu jenis digambarkan pada suatu diagram, maka diperoleh kurva yang bentuknya berbeda-beda yang sesuai dengan bahan yang diuji tegangannya. Gambar 4.1 menunjukkan bentuk umum kurva tegangan dari suatu benda. Kurva itu menunjukkan pertambahan panjang suatu benda atau bahan terhadap gaya yang diberikan padanya. Sampai suatu titik yang disebut proporsional.

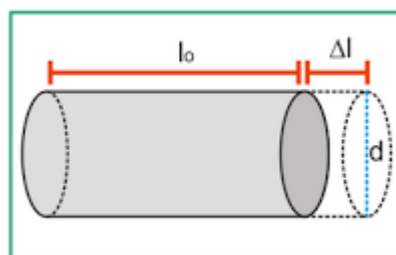
Kemudian pada suatu titik tertentu itu sampai pada batas elastik dimana benda itu akan kembali ke benda itu semula jika gaya itu dilepaskan. Jika benda

diregangkan melewati batas elastik, maka akan memasuki daerah plastis dimana benda tidak akan kembali kepanjang awalnya ketika gaya eksternal dilepaskan, tetapi tetap berubah bentuk secara permanen (seperti melengkungnya sebatang besi). Perpanjangan maksimum dicapai pada titik patah (titik pulus). Gaya maksimum yang dapat diberikan tanpa benda itu patah disebut sebagai kekuatan maksimum dari materi/benda itu.

B. Modulus Elastisitas

Tegangan yang diperlukan untuk menghasilkan suatu regangan tertentu bergantung pada sifat bahan yang menderita tegangan itu. Perbandingan tegangan terhadap regangan atau tegangan persatuan regangan disebut modulus elastik bahan yang bersangkutan. Semakin besar nilai modulus elastik, semakin besar pula tegangan yang diperlukan untuk regangan tertentu. Modulus regangan atau modulus Young adalah konstanta perbandingan tegangan tarik atau tegangan kompresi terhadap regangan tarik atau regangan kompresi.

Jika ada benda yang bersifat elastis dengan panjang tertentu kemudian ditarik dengan gaya tertentu yang mengakibatkan pertambahan panjang benda seperti diperlihatkan gambar berikut :



Gambar 4.4 Pertambahan panjang pada benda elastic

Penggambaran di atas diasumsikan luas penampangnya berbentuk lingkaran dan besarnya tegangan (T) dan regangan dari peristiwa tersebut dapat dicari dengan persamaan :

$$\gamma = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} = \frac{L_0 F}{A \Delta L}$$

Dimana ΔL (jarak pergeseran benda) tegak lurus terhadap L_0 (tinggi benda), A adalah luas permukaan yang sejajar dengan gaya F yang diberikan (tidak tegak lurus).

Tabel 4.1 Modulus Elastis

Bahan	Modulus Elastis (10^4 MPa)
Aluminium	6,9
Kuningan	10,1
Tembaga	11,0
Magnesium	4,5
Nikel	20,7
Titanium	10,7
Tungsten	40,7
Beton	1,65
Granit	5,17
Tulang	1,79
Kayu Pinus	1,10
Karet	0,0001

Contoh Soal

1. Dalam suatu percobaan untuk mengukur Modulus Young, sebuah beban 1000 N yang digantungkan pada kawat baja yang panjangnya 8 m dan penampangnya $0,025 \text{ m}^2$, ternyata meregangkan kawat itu sebesar 0,01 m melebihi panjangnya sebelum diberi beban. Berapakah tegangan, regangan, dan harga Modulus Young bahan baja kawat itu?

Penyelesaian.

Diketahui. $F = 1000 \text{ N}$
 $A = 0,025 \text{ m}^2$
 $\Delta L = 0,01 \text{ m}$
 $L_0 = 8 \text{ m}$

Ditanyakan. σ?, e?, dan γ?

$$\text{Jawab. } \sigma = \frac{F}{A} = \frac{1000 \text{ N}}{0,025 \text{ m}^2} = 40000 \text{ N/m}^2$$

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{0,01 \text{ m}}{8 \text{ m}} = 0,00125$$

$$\gamma = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{40000 \text{ N/m}^2}{0,00125} = 32 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

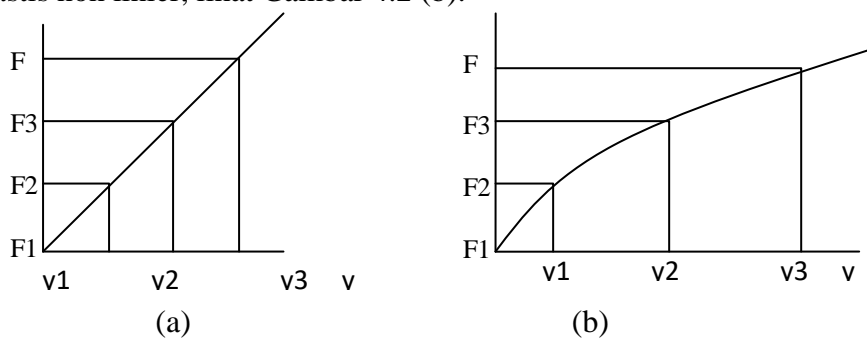
C. Hukum Hooke

Hukum Hooke adalah hukum atau ketentuan mengenai gaya dalam bidang ilmu fisika yang terjadi karena sifat elastisitas dari sebuah piri atau pegas. Besarnya gaya Hooke ini secara proporsional akan berbanding lurus dengan jarak pergerakan pegas dari posisi normalnya, atau lewat rumus matematis dapat digambarkan sebagai berikut:

$$F = kx$$

Dimana F adalah gaya (N), k adalah konstanta pegas (N/m), dan x adalah jarak pergerakan pegas dari posisi normalnya (meter).

Salah satu prinsip dasar dari analisa struktur adalah hukum Hooke yang menyatakan bahwa pada suatu struktur: hubungan tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) adalah proporsional atau hubungan beban (*load*) dan deformasi (*deformations*) adalah proporsional. Struktur yang mengikuti hukum Hooke dikatakan elastis linier dimana hubungan F dan y berupa garis lurus. Lihat Gambar 4.2 (a), sedangkan struktur yang tidak mengikuti hukum Hooke dikatakan Elastis non linier, lihat Gambar 4.2 (b).

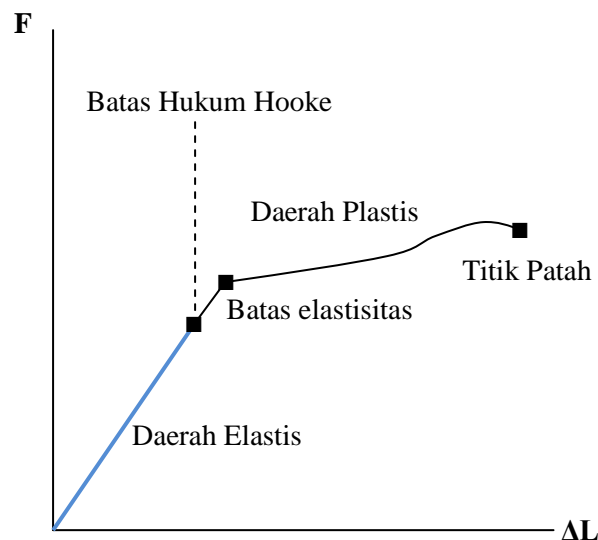


Gambar 4.5 Hukum Hooke

Benda yang dibentuk oleh materi yang berbeda akan memiliki pertambahan panjang yang berbeda walaupun diberikan gaya yang sama, misalnya tulang dan besi. Demikian juga, walaupun sebuah benda terbuat dari materi yang sama (besi, misalnya), tetapi memiliki panjang dan luas penampang yang berbeda maka benda tersebut akan mengalami pertambahan panjang yang berbedasekalipun diberikan gaya yang sama. Jika kita membandingkan batang yang terbuat dari materi yang sama tetapi memiliki panjang dan luas penampang yang berbeda, ketika diberikan gaya yang sama, besar pertambahan panjang sebanding dengan panjang benda mula-mula dan berbanding terbalik dengan luas penampang. Makin panjang suatu benda, makin besar pertambahan panjangnya, sebaliknya semakin tebal benda, semakin kecil pertambahan panjangnya. Jika hubungan ini kita rumuskan secara matematis, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$F = k \Delta L$$

Secara umum untuk semua benda padat, dari besi sampai tulang, tunduk pada Hukum Hooke, tetapi hanya untuk rentang gaya tertentu saja yang dikerjakan pada benda-benda padat itu. Bila gaya yang dikerjakan terlalu besar, maka benda akan meregang berlebihan dan akhirnya putus.



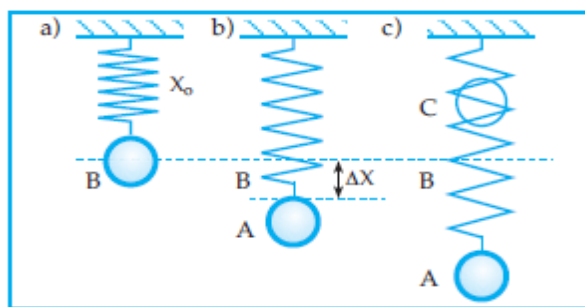
Gambar 4.5 Batas Elastistas

$$F = k \Delta L$$

$$k = \frac{F}{\Delta L}$$

Persamaan ini menyatakan hubungan antara pertambahan panjang (ΔL) dengan gaya (F) dan konstanta (k). Materi penyusun dan dimensi benda dinyatakan dalam konstanta k . Untuk materi penyusun yang sama, besar pertambahan panjang (ΔL) sebanding dengan panjang benda mula-mula (L_0) dan berbanding terbalik dengan luas penampang (A).

D. Energi Potensial Pegas



Gambar 4.6 Gerak benda karena pengaruh gaya pegas

Keterangan:

Gambar 4.6 (a) : Benda dengan massa m tergantung pada pegas dengan konstanta gaya pegas $= K$ dan setimbang di titik B

Gambar 4.6 (b) : Benda ditarik ke bawah sejauh Δx dari titik setimbang, sampai titik A

Gambar 4.6 (c) : Benda dilepaskan dan ternyata benda dapat bergerak bolak-balik melalui titik setimbangnya karena adanya pengaruh gaya pegas yang bekerja pada benda.

Energi potensial pegas merupakan salah satu jenis energi potensial yang berhubungan dengan bahan-bahan elastis. Misalnya saja sebuah pegas sederhana akan mempunyai energi potensial ketika ditekan (diregangkan). Karena ketika dilepaskan pegas itu dapat melakukan kerja pada sebuah bola. Pada sebuah pegas yang teregang, gaya F_p tidak konstan tetapi berubah-ubah sepanjang jarak x (secara

linear berubah-ubah dari nol pada posisi tidak teregang sampai kx ketika terentang sepanjang x). Jika \bar{F}_p diasumsikan sebagai gaya rata-ratanya, maka:

$$\bar{F}_p = \frac{1}{2} (0 + kx) = \frac{1}{2} kx$$

Maka usaha yang dilakukan oleh pegas adalah:

$$W = \bar{F}_p x = \frac{1}{2} kx(x) = \frac{1}{2} kx^2$$

Dimana x adalah panjang tekanan atau rentangan pegas yang diukur dari posisi normal (posisi acuan $x = 0$). Sehingga diperoleh energi potensial pegas atau disebut energi potensial elastik berbanding lurus dengan kuadrat jarak rentangnya, yaitu:

$$E_{p \text{ elastis}} = \frac{1}{2} kx^2$$

Contoh Soal

Sebuah pegas dapat diregangkan sehingga bertambah panjang 10 cm dengan energi potensial 0,5 joule. Berapakah konstanta gaya pegas tersebut?

Penyelesaian

Diketahui: $\Delta X = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$E_p = 0,5 \text{ Joule}$

Ditanya: k?

Jawab.

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

$$0,5 = \frac{1}{2} k (0,1)^2$$

$$k = 100 \text{ N/m}$$

RANGKUMAN

1. Elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan kepada benda itu dihilangkan.
2. Gaya pegas merupakan gaya yang berubah-ubah besar maupun arahnya
3. Pertambahan panjang pegas karena adanya gaya berat beban yang bekerja pada pegas.
4. Tegangan (σ) yaitu perbandingan antara gaya terhadap luas penampang di mana gaya tersebut bekerja:

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

5. Regangan (e) yaitu perbandingan antara pertambahan panjang suatu batang terhadap panjang mula-mula:

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

6. Modulus elastis merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan:

$$\gamma = \frac{\text{tegangan}}{\text{regangan}} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} = \frac{L_0 F}{A \Delta L}$$

7. Pertambahan gaya berat beban sebanding dengan pertambahan panjang pegas $F = -k \cdot \Delta x$

LATIHAN

1. Untuk menarik sebuah pegas sejauh 10 cm diperlukan gaya 10 N, bila panjang pegas adalah 40 cm, dan pegas ditekan dan ditahan agar panjang menjadi 35 cm. tentukan:
 - a. Tetapan pegas
 - b. Energy yang tersimpan dalam pegas yang ditekan
2. Sebuah pegas menggantung dalam keadaan normal panjangnya 25 cm. Bila pada ujung pegas digantungkan sebuah benda yang bermassa 80 gr, panjang pegas menjadi 30 cm. Kemudian benda itu disimpangkan sejauh 5 cm. Berapakah besar energi potensial elastik pegas?
3. Sebuah benda bermassa 225 kg digantungkan pada ujung bawah sebuah batang sepanjang 4 m dan luas penampang $0,5 \text{ cm}^2$. Karena itu batang memanjang 1 mm. Hitung Modulus Young batang tersebut.

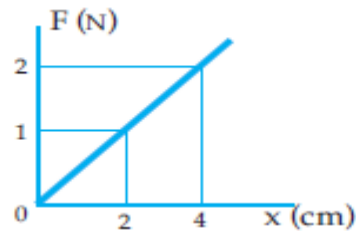
EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Bahan di bawah ini yang tidak bersifat elastis adalah
 - a. Karet
 - b. Pegas
 - c. Busa
 - d. Plastisin
 - e. Benang
2. Elastisitas didefinisikan sebagai kemampuan untuk kembali ke keadaan semula setelah pada benda diberi gaya tarik atau gaya tekan. Bila gaya tarik atau gaya tekan yang diberikan melebihi batas kemampuannya, maka.....
 - a. Benda tersebut akan retak/terdeformasi
 - b. Benda tersebut akan retak jika masih bersifat elastis
 - c. Benda tersebut akan terdeformasi bila sudah retak
 - d. Benda tersebut tetap elastis
 - e. Semua pernyataan di atas salah
3. Sebuah pegas panjang mulamulanya X_0 setelah digantungkan bahan bermassa m bertambah panjang X , jika beban yang digantungkan bermassa $2m$ akan bertambah panjang
 - a. $2X_0$
 - b. $X_0 + 2X$
 - c. $2(X_0 + X)$
 - d. $\frac{1}{2} X$
 - e. $2X$
4. Sebuah pegas setelah digantungkan beban 100 gram bertambah panjang 2 cm jika pada pegas tersebut digantungkan beban 40 gram bertambah panjang
 - a. 0,2 cm
 - b. 0,4 cm

- c. 0,8 cm
 - d. 2,5 cm
 - e. 5 cm
5. Perbandingan antara gaya yang bekerja pada bahan elastisitas dengan luas penampang bahan elastis disebut
- a. Stress
 - b. Strain
 - c. modulus young
 - d. konstanta
 - e. batas elastis
6. Jika suatu pegas ditarik dengan gaya sebesar F newton ternyata bertambah panjang x cm, maka konstanta pegas tersebut
- a. $(100 F/x) \text{ N/m}$
 - b. $(F/x) \text{ N/m}$
 - c. $(10^{-2} F/x) \text{ N/m}$
 - d. $(F/100 x) \text{ N/m}$
 - e. $(F \cdot x) \text{ N/m}$
7. Sebuah benda yang massanya 100 kg digantung pada sebuah kabel yang diameternya 4 cm, maka....
- a. Besarnya tegangan pada kabel tersebut adalah $0,8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 - b. Besarnya tegangan pada kabel tersebut adalah $1,6 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 - c. Bila kabel tersebut terbuat dari baja, modulus Young $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, maka fraksi pertambahan panjang kabel adalah $2 \times 10^{-6} \%$
 - d. Bila kabel tersebut terbuat dari baja, modulus Young $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, maka fraksi pertambahan panjang kabel adalah $3,2 \times 10^{-6} \%$
 - e. Bila kabel tersebut terbuat dari baja, modulus Young $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$, maka fraksi pertambahan panjang kabel adalah 0,002 %
8. Dua buah gelang karet A dan B, ditarik dengan gaya yang sama tetapi karet A mengalami pertambahan panjang 4X karet B, maka hubungan yang mungkin dari kedua karet tersebut adalah....
- a. Diameter karet B 4 kali diameter karet A

- b. Diameter karet A 2 kali diameter karet B
 - c. Modulus Young karet A 4 kali modulus Young karet B
 - d. Diameter karet B 2 kali diameter karet A
 - e. Modulus Young karet B 2 kali modulus Young karet A
- 9.

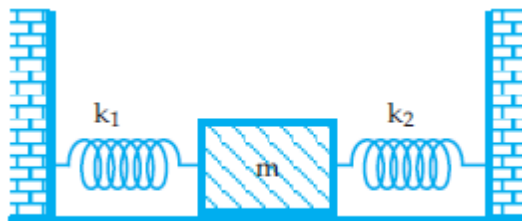


- Grafik di atas menunjukkan pertambahan panjang karet di bawah pengaruh gaya yang berbeda. Besar energi potensial karet pada saat pertambahan panjang 8 cm adalah
- a. 0,16 J
 - b. 0,25 J
 - c. 1,6 J
 - d. 0,24 J
 - e. 0,64 J
10. Suatu bahan elastis berbentuk silinder mempunyai diameter 2 mm dan panjang 5 cm. Ternyata modulus elastisitasnya 20 N/m. Konstanta elastisitas bahan tersebut adalah
- a. $4\pi 10^{-1}$ N/m
 - b. $\pi^4 10^{-1}$ N/m
 - c. $3\pi 10^{-1}$ N/m
 - d. $\pi 10^{-1}$ N/m
 - e. $2\pi 10^{-1}$ N/m

B. Jawablah dengan benar!

1. a. Jelaskan perbedaan antara regangan dan tegangan!
 b. Jelaskan hubungan antara tegangan dan regangan! Bagaimanakah perbandingan antara tegangan dan regangan!

2. Sebuah pegas mempunyai konstanta 2 N/m. Bila panjang pegas mulamula 20 cm kemudian setelah digantungi beban ternyata panjangnya menjadi 25 cm. Berapakah berat yang digantungkan?
3. Berapakah gaya yang menghasilkan pertambahan 0,3 mm pada seutas kawat baja yang panjangnya 4 m dari luas penampangnya $2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ jika modulus Young baja $2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$. Berapakah pula energi yang tersimpan dalam kawat yang tegang tersebut?
4. Sebuah pegas digantungkan pada sebuah lift. Pada ujung pegas yang bebas digantungkan sebuah beban 50 gram. Bila lift diam, maka pegas bertambah panjang 10 mm. Berapakah pertambahan panjang pegas sewaktu lift:
 - a. bergerak ke atas dengan kecepatan tetap
 - b. bergerak ke atas dengan percepatan tetap 4 m/s^2
 - c. bergerak ke bawah dengan percepatan tetap 4 m/s^2 ?
- 5.



Pada sistem tersebut jika konstanta gaya pegas $k_1 = 50 \text{ N/m}$ dan $k_2 = 75 \text{ N/m}$ dan massa beban $m = 1 \text{ kg}$, dan jika beban digetarkan, berapakah jumlah getaran dalam waktu 1 menit?



Sumber: www.indopos.co.id

KOMPOTENSI DASAR

1. Mendeskripsikan hubungan antara konsep impuls dan momentum untuk menyelesaikan masalah tumbukan

INDIKATOR

1. Mengintegrasikan hukum kekekalan energi dan kekekalan momentum untuk berbagai peristiwa tumbukan
2. Menganalisis Hukum Kekekalan Momentum Dengan Menggunakan Hukum Newton III
3. Menganalisis jenis-jenis tumbukan
4. Menerapkan konsep titik berat benda dalam kehidupan sehari-hari

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Menentukan hubungan momentum dengan energi kinetik
2. Memformulasikan konsep impuls dan momentum, keterkaitan antar keduanya, serta aplikasinya dalam kehidupan (misalnya roket)
3. Merumuskan hukum kekekalan momentum untuk sistem tanpa gaya luar
4. Mengintegrasikan hukum kekekalan energi dan kekekalan momentum untuk berbagai peristiwa tumbukan
5. Menerapkan konsep titik berat benda dalam kehidupan sehari-hari.

URAIAN MATERI

Bila anda berada di dalam sebuah bus yang sedang bergerak cepat, kemudian direm mendadak, anda merasakan bahwa badan anda terlempar ke depan. Hal ini akibat adanya sifat kelembaman, yaitu sifat untuk mempertahankan keadaan semula yaitu dalam keadaan bergerak. Hal yang sama juga dirasakan oleh si sopir yang berusaha mengerem bus tersebut.

Apabila penumpang busnya lebih banyak, pada saat sopir bus memberhentikan/mengerem bus secara mendadak, harus memberikan gaya yang lebih besar. Dalam bab ini akan dibicarakan mengenai momentum, yang merupakan salah satu besaran yang dimiliki oleh setiap benda yang bergerak. Di dalam fisika, dikenal dua macam momentum, yaitu momentum linear (p) dan momentum angular (L). Pada bab ini hanya akan dibahas momentum linear. Selain momentum linear akan dibahas juga besaran Impuls gaya (I) dan hukum kekekalan momentum linear, serta tumbukan.

A. Momentum

Istilah momentum yang akan dipelajari pada bab ini adalah momentum linear (p), yang didefinisikan sebagai berikut: Momentum suatu benda yang

bergerak adalah hasil perkalian antara massa benda dan kecepatannya. Oleh karena itu, setiap benda yang bergerak memiliki momentum. Secara matematis, momentum linear ditulis sebagai berikut:

$$p = m v$$

p adalah momentum (besaran vektor), m massa (besaran skalar) dan v kecepatan (besaran vektor). Bila dilihat persamaan (8.1), arah dari momentum selalu searah dengan arah kecepatannya. Satuan Momentum menurut Sistem Internasional (SI).

$$\begin{aligned} p &= \text{satuan massa} \times \text{satuan kecepatan} \\ &= \text{kg} \times \text{m/s} \\ &= \text{kg} \cdot \text{m/s} \end{aligned}$$

Jadi, satuan momentum dalam SI adalah: kg.m/s

Hubungan Momentum dengan Energi Kinetik

Energi kinetik suatu benda yang bermassa m dan bergerak dengan kecepatan v adalah

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

Besarnya ini dapat dinyatakan dengan besarnya momentum linear p , dengan mengalikan persamaan energi kinetik dengan $\frac{m}{m}$

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m v^2 \cdot \frac{m}{m} = \frac{1}{2} \frac{m^2 v^2}{m} = \frac{1}{2} \frac{p^2}{m}$$

Contoh Soal

Sebuah mobil dengan massa 2000 kg, mula-mula bergerak lurus dengan kecepatan awal 20 m/s ke utara. Setelah beberapa saat, mobil tersebut direm dan setelah 10 detik kecepatannya berkurang menjadi 5 m/s. Tentukan:

- Momentum awal mobil
- Momentum mobil setelah direm. (setelah 10 detik)
- Perubahan momentumnya setelah direm

Diketahui:

$$m = 2000 \text{ kg}; \quad v = 5 \text{ m/s}; \quad v_0 = 20 \text{ m/s} \quad t = 10 \text{ s}$$

Ditanya: p_0? p_t? dan Δp?

Jawab.

a. Momentum awal mobil :

$$\begin{aligned} p_0 &= m v_0 = 2000 \text{ kg} \times 20 \text{ m/s} \\ &= 40000 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

b. Momentum akhir :

$$\begin{aligned} p_t &= m v_t = 2000 \text{ kg} \times 5 \text{ m/s} \\ &= 10000 \text{ kg m/s} \end{aligned}$$

c. Perubahan momentum bisa dinotasikan sebagai Δp :

$$\Delta p = p_t - p_0 = 10000 \text{ kg m/s} - 40000 \text{ kg m/s} = -30000 \text{ kg m/s}$$

perubahan momentum mempunyai tanda negatif, berarti arahnya berlawanan arah.

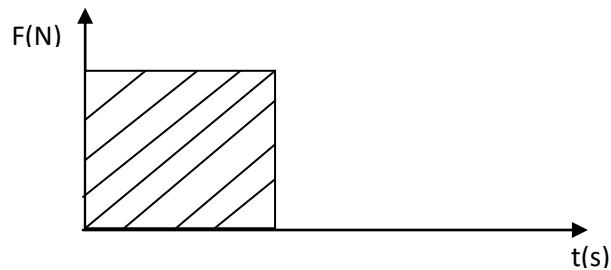
B. Impuls

Impuls didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya dan lamanya gaya tersebut bekerja. Secara matematis dapat ditulis:

$$I = F \cdot \Delta t$$

Dalam banyak situasi fisis, kita akan menggunakan aproksimasi impuls dimana kita asumsikan bahwa salah satu gaya yang bekerja pada partikel dalam waktu singkat lebih besar daripada gaya yang lainnya. Aproksimasi ini berguna untuk menganalisis situasi tumbukan yang durasinya sangat singkat. Ketika aproksimasi ini dibuat, gaya yang bekerja kita sebut *gaya impulsif*. Contohnya, ketika bola dipukul dengan tongkat, waktu tumbukan adalah sekitar 0,01 s dan gaya rata-rata yang diberikan tongkat pada bola dalam waktu tersebut adalah sebesar beberapa ribu newton. Oleh karena gaya kontak tersebut lebih besar daripada gaya gravitasi, metode aproksimasi impuls memperbolehkan kita mengabaikan keberadaan gaya gravitasi yang bekerja pada bola dan tongkat.

Besar gaya disini konstan. Bila besar gaya tidak konstan maka penulisannya akan berbeda (akan dipelajari nanti). Oleh karena itu dapat menggambarkan kurva yang menyatakan hubungan antara F dengan t . Bila pada benda bekerja gaya konstan F dari selang waktu t_1 ke t_2 maka kurva antara F dan t adalah



Gambar 5.1 Kurva yang menyatakan hubungan antara F dengan t . Luas daerah yang diarsir menyatakan besarnya Impuls

Luasan yang diarsir sebesar $F \times (t_2 - t_1)$ atau I , yang sama dengan Impuls gaya. Impuls gaya merupakan besaran vektor, oleh karena itu perhatikan arahnya.

Satuan Impuls I = satuan gaya x satuan waktu

Satuan I = newton x sekon = $N.s = kg.m/s^2 \cdot s = kg.m/s$

Contoh Soal

Sebuah bola bergerak dengan kecepatan 20 m/s kemudian dipukul dengan pemukul bola dengan gaya 2000 newton selama 0,001 sekon. Tentukan besarnya Impuls gaya pada bola.

Diketahui : $v = 20 \text{ m/s}$; $F = 2\,000 \text{ N}$; $t = 0,001 \text{ s}$

Ditanya : I ?

Jawab:

Besarnya Impuls : $I = F \cdot \Delta t = 2000 \text{ newton} \times 0,001 \text{ sekon} = 2 \text{ N.s}$

1. Impuls sama dengan Perubahan Momentum

Sebuah benda bermassa m mula-mula bergerak dengan kecepatan v_1 dan kemudian pada benda bekerja gaya sebesar F searah kecepatan awal selama Δt , dan kecepatan benda menjadi v_2 . Untuk menjabarkan hubungan antara Impuls

dengan perubahan momentum, akan kita ambil arah gerak mula-mula sebagai arah positif dengan menggunakan Hukum Newton II.

$$\begin{aligned} F &= m a \\ &= m (v_2 - v_1) \Delta t \\ F \Delta t &= m v_2 - m v_1 \end{aligned}$$

Ruas kiri merupakan impuls gaya dan ruas kanan menunjukkan perubahan momentum. Impuls gaya pada suatu benda sama dengan perubahan momentum benda tersebut. Secara matematis dituliskan sebagai:

$$F \Delta t = m v_2 - m v_1 ; \quad I = p_2 - p_1; \quad I = \Delta p$$

Contoh Soal

Seorang anak menendang seongkah batu dalam keadaan diam (massa batu 2 kg) sehingga batu tersebut memperoleh kecepatan sebesar 20 m/s. kaki anak tersebut menyentuh batu selama 0,01 sekon. Hitung besar gaya yang bekerja pada batu tersebut, akibat tendangan anak tersebut.

Diketahui : $m = 2 \text{ kg}$; $v_0 = 0$; $v_1 = 20 \text{ m/s}$; $\Delta t = 0,01 \text{ s}$

Ditanya : F?

Jawab:

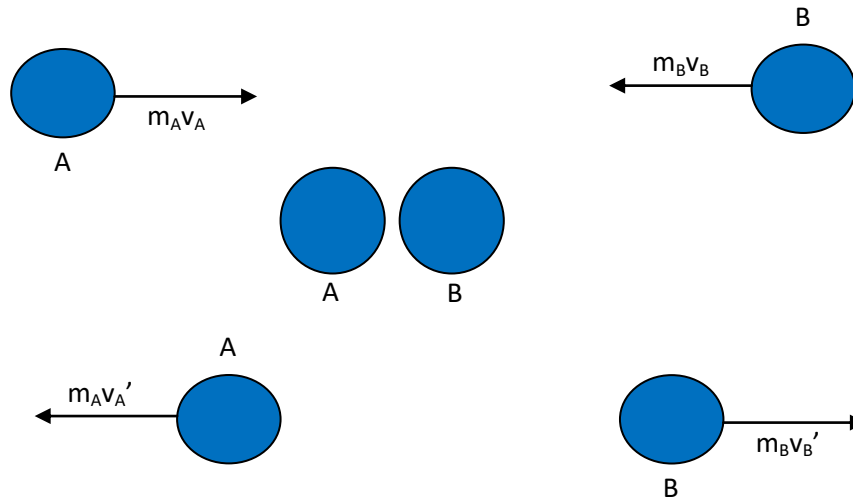
Ambil arah tendangan sebagai arah positif, oleh karena itu kecepatan batu setelah ditendang diambil positif (+). Besar impuls gaya yang bekerja pada batu sama dengan perubahan momentum

$$\begin{aligned} F \Delta t &= m v_2 - m v_1 \\ F &= \frac{m.v_2 - m.v_1}{\Delta t} = \frac{2 \text{ kg} \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 2 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s}}{0,01 \text{ s}} = 4000 \text{ kg.m/s} = 4000 \text{ N} \end{aligned}$$

Arah gaya (+), berarti arah gaya searah dengan arah tendangan anak.

2. Tumbukan dan Hukum Kekekalan Momentum

Pada sebuah tumbukan selalu melibatkan paling sedikit dua buah benda. Misal bola biliar A dan B. Sesaat sebelum tumbukan bola A, bergerak mendatar ke kanan dengan momentum $m_A v_A$, dan bola B bergerak ke kiri dengan momentum $m_B v_B$



Gambar 5.2 Tumbukan dua buah benda (1)

Momentum sebelum tumbukan adalah:

$$p = m_A v_A + m_B v_B$$

dan momentum sesudah tumbukan

$$p' = m_A v_A' + m_B v_B'$$

Sesuai dengan hukum kekekalan energi maka pada momentum juga berlaku hukum kekekalan dimana momentum benda sebelum dan sesudah tumbukan sama. Oleh karena itu dapat diambil kesimpulan bahwa pada peristiwa tumbukan, jumlah momentum benda-benda sebelum dan sesudah tumbukan tetap asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda tersebut. Pernyataan ini yang dikenal sebagai Hukum Kekekalan Momentum Linier. Secara matematis untuk dua benda yang bertumbukan dapat dituliskan

$$p_A + p_B = p_A' + p_B'$$

atau

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

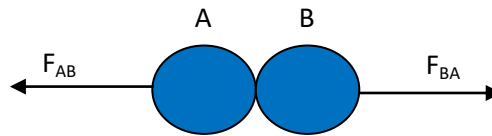
p_A, p_B = momentum benda A dan B sebelum tumbukan

p_A', p_B' = momentum benda A dan B sesudah tumbukan

Perlu diingat bahwa penjumlahan di atas adalah penjumlahan vektor

3. Menurunkan Hukum Kekekalan Momentum dengan Menggunakan Hukum Newton III

Perhatikan gambar berikut:



Gambar 5.3 Tumbukan dua buah benda (2)

Pada tumbukan dua buah benda selama benda A dan B saling kontak maka benda B mengerjakan gaya pada bola A sebesar F_{AB} . Sebagai reaksi bola A mengerjakan gaya pada bola B sebesar F_{BA} . Kedua gaya sama besar tapi berlawanan arah dan sama besar (Hukum Newton III). Secara matematis dapat ditulis

$$F_{AB} = -F_{BA}$$

Kedua gaya ini terjadi dalam waktu yang cukup singkat yaitu Δt . Bila kedua ruas dikali dengan Δt akan diperoleh

$$F_{AB} \Delta t = -F_{BA} \Delta t$$

Ruas kiri dan kanan merupakan besaran Impuls gaya.

$$I_B = -I_A$$

$$\Delta p_B = -\Delta p_A$$

$$(p_B' - p_B) = -(p_A' - p_A)$$

$$m_B v_B' + m_B v_B = m_A v_A' + m_A v_A$$

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$$

$$p_A + p_B = p_A' + p_B'$$

Jumlah momentum benda-benda sebelum dan sesudah tumbukan sama. Pernyataan ini dikenal sebagai Hukum kekekalan Momentum Linear.

Contoh Soal

Seorang penembak amatir memegang senapan dengan bebas (tidak dipegang erat-erat) yang bermassa 4 kg dan menembakkan peluru bermassa 5 gram dan keluar dari senapan dengan kecepatan 300 m/s. tentukan hentakan senapan ketika puluru ditembakkan.

Diketahui:

Pada peristiwa ini dianggap terjadi tumbukan antara peluru dan senapan dan berlaku hukum kekekalan momentum. Ambil arah gerak keluarnya peluru sebagai arah positif. Benda 1 adalah senapan dan benda 2 adalah peluru. Mula-mula kecepatan senapan dan peluru sama dengan nol, oleh karena itu:

Diketahui : $m_1 = 4 \text{ kg}$; $m_2 = 5 \text{ gr} = 0,005 \text{ kg}$

$$v_1 = 0 \text{ m/s}; v_2 = 0 \text{ m/s}; v_2' = 300 \text{ m/s}$$

Ditanya : v_1'

Jawab:
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$4 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} + 0,005 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} = 4 \text{ kg} v_1' + 0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s}$$

$$0 + 0 = 4 \text{ kg} v_1' + 0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s}$$

$$4 \text{ kg} v_1' = -0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s}$$

$$v_1' = -1,5/4 \text{ m/s}$$

$$= -0,375 \text{ m/s}$$

Tanda (–) menyatakan bahwa kecepatan hentakan senapan berlawanan arah dengan arah kecepatan peluru keluar.

4. Jenis-jenis Tumbukan

Jika ada dua benda yang bertumbukan dan tidak ada gaya luar yang bekerja pada benda-benda, maka berlaku hukum kekekalan momentum. Akan tetapi energi kinetik totalnya biasanya berubah. Hal ini akibat adanya perubahan energi kinetik menjadi bentuk kalor dan atau bunyi pada saat tumbukan. Jenis tumbukan ini disebut tumbukan tidak lenting sebagian. Bila setelah tumbukan kedua benda bergabung, disebut tumbukan tidak lenting sempurna. Ada juga tumbukan dengan energi kinetik total tetap. Tumbukan jenis ini disebut tumbukan lenting (sempurna). Jadi secara garis besar jenis-jenis tumbukan dapat diklasifikasikan ke dalam:

a. Tumbukan Lenting (Sempurna)

Pada tumbukan lenting sempurna berlaku:

- Hukum kekekalan momentum
- Hukum kekekalan Energi Kinetik

Bila kita uraikan dari kedua syarat:

- Hukum kekekalan momentum

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

$$m_1 v_1 - m_1 v_1' = m_2 v_2' - m_2 v_2$$

$$m_1(v_1 - v_1') = m_2(v_2' - v_2) \quad (*)$$

- Hukum kekekalan energi kinetik

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

$$m_1 v_1^2 - m_1 v_1'^2 = m_2 v_2'^2 - m_2 v_2^2$$

$$m_1(v_1^2 - v_1'^2) = m_2(v_2'^2 - v_2^2)$$

$$m_1(v_1 + v_1')(v_1 - v_1') = m_2(v_2' + v_2)(v_2' - v_2) \quad (**)$$

bila persamaan (**) dibagi dengan persamaan (*) diperoleh :

$$(v_1 + v_1') = (v_2' + v_2) \text{ atau } (v_2 - v_1) = -(v_2' - v_1')$$

Dengan kata lain kecepatan relatif kedua benda sebelum tumbukan sama dengan harga minus dari kecepatan relatif kedua benda setelah tumbukan.

Untuk keperluan lebih lanjut didefinisikan $e = \frac{-(v_2' - v_1')}{(v_2 - v_1)}$

berlaku jika v_1, v_1', v_2, v_2' pada satu arah sumbu yang sama.

Harga v yang dimasukkan disini harus memperhatikan arah (tanda + atau -) dan ini kemudian disebut koefisien restitusi

Untuk tumbukan lenting (sempurna) $e = 1$

Untuk tumbukan tidak lenting sebagian $0 < e < 1$

Untuk tumbukan tidak lenting sempurna $e = 0$

b. Tumbukan Tidak Lenting Sebagian

Pada jenis tumbukan ini berlaku Hukum kekekalan momentum dan tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik karena terjadi perubahan E_k . Koefisien restitusi e adalah pecahan. Hukum kekekalan momentum

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

dan $0 < e < 1$

Tidak berlaku hukum kekekalan energi, berarti ada energi kinetik yang hilang selama proses tumbukan sebesar ΔE_k .

$$\Delta E_k = \left(\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \right)$$

c. Tumbukan Tidak Lenting Sempurna

Pada jenis tumbukan ini berlaku Hukum kekekalan momentum dan tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik karena terjadi perubahan Ek. koefisien restitusi $e = 0$.

$$0 = \frac{-(v_2' - v_1')}{(v_2 - v_1)}$$

$$0 = -(v_2' - v_1')$$

$$v_1' = v_2'$$

kecepatan akhir kedua benda sama dan searah. Berarti kedua benda bergabung dan bergerak bersama-sama. Besar energi kinetik yang hilang ΔE_k .

$$\Delta E_k = \left(\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \right)$$

dimana: $v_1' = v_2'$

Contoh Soal

Dua buah benda A dan B masing-masing bermassa 2 kg dan 4 kg bergerak saling mendekat dengan kecepatan berturut-turut 4 m/s dan 3 m/s. Setelah tumbukan, massa A bergerak berlawanan dengan arah semula dengan kecepatan 5 m/s. tentukan:

- Kecepatan benda B setelah tumbukan
- Koefisien restitusinya
- Energi kinetik sistem yang hilang selama tumbukan

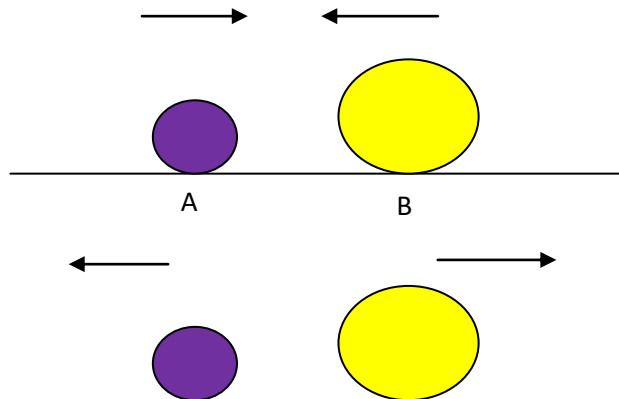
Diketahui: $m_A = 2 \text{ kg}$; $v_A' = -5 \text{ m/s}$; $m_B = 4 \text{ kg}$;

$$v_A = 4 \text{ m/s}; \quad v_B = -3 \text{ m/s}$$

Ditanya: $v_B' \dots?$, $e \dots?$, dan ΔE_k ?

Jawab:

Ambil arah kekanan sebagai arah positif



- a. Kecepatan benda B setelah tumbukan:

$$\begin{aligned}
 m_A v_A + m_B v_B &= m_A v_A' + m_B v_B' \\
 2 \text{ kg} \cdot 4 \text{ m/s} + 4 \text{ kg} \cdot (-3 \text{ m/s}) &= 2 \text{ kg} \cdot (-5 \text{ m/s}) + 4 \text{ kg} \cdot v_B' \\
 4 \text{ kg} \cdot v_B' &= 6 \text{ kg m/s} \\
 v_B' &= 1,5 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Tanda positif menyatakan bahwa arah kecepatan benda B setelah tumbukan ke kanan

- b. Koefisien restitusi e

Ambil arah ke kanan sebagai arah positif

$$e = \frac{-(v_B' - v_A')}{(v_B - v_A)}$$

pada rumus ini, harus diperhatikan tanda (+) atau (-) pada kecepatan.

$$e = \frac{-(1,5 - (-5))}{(-3 - 4)} = 0,93$$

perhatikan tanda sistem plus dan minusnya

- c. Energi kinetik yang hilang selama tumbukan

$$\begin{aligned}
 \Delta E_k &= \left(\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 \right) - \left(\frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \right) \\
 &= \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 3^2 \right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 1,5^2 \right) \\
 &= 34 - 29,5 = 4,5 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

C. PUSAT MASSA

Pusat massa adalah suatu titik pada benda (sistem) dimana seluruh massa benda terkumpul pada titik tersebut. **Pusat berat** adalah titik dimana seluruh berat benda dapat dianggap berkumpul pada satu titik. Bila benda tersebut berada dalam medan gravitasi yang sama/tetap, letak pusat massa berimpit dengan pusat gravitasi

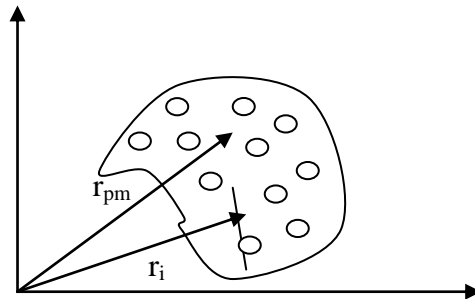
Posisi pusat massa sebuah sistem banyak partikel didefinisikan sebagai berikut:

$$r_{pm} = \frac{\sum_i m_i r_i}{M}$$

Dengan r_i adalah posisi partikel ke- i di dalam sistem, dan

$$M = \sum_i m_i$$

Lihat gambar di bawah ini. Dengan mengganti $r_i = r_{pm} + r_i$, di mana r_i adalah:



Gambar 5.4 Pusat massa

Untuk banyak partikel yang tersebar dalam ruang dan tidak harus segaris ataupun tidak harus sebidang, pusat massanya berada pada x_{pm} , y_{pm} , z_{pm} , masing-masing dinyatakan sebagai berikut:

$$x_{pm} = \frac{\sum_i m_i x_i}{M}, \quad y_{pm} = \frac{\sum_i m_i y_i}{M}, \quad z_{pm} = \frac{\sum_i m_i z_i}{M}$$

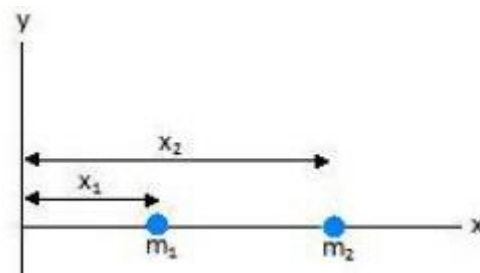
Persamaan (1) menyatakan bahwa jika titik asal kerangka acuan dipilih pada titik pusat t massa ($r_{pm} = 0$), maka system tersebut berlaku:

$$\sum_i m_i r_i = 0$$

Bila bendanya bersifat kontinyu, maka jumlahan di pers. (1) menjadi integral

$$z_{pm} = \frac{1}{M} \int r \, dm$$

Setiap benda tegar dianggap tersusun dari banyak partikel di mana jarak antara setiap partikel sama. Walaupun demikian, untuk mempermudah penurunan rumus menentukan pusat massa, dibuat penyederhanaan dengan menganggap benda tegar hanya terdiri dari dua partikel. Kedua partikel ini dapat disebut sistem benda tegar.



Gambar 5.5 Partikel benda tegar

m_1 = massa partikel 1, m_2 = massa partikel 2. Kedua partikel berada pada sumbu x. Partikel 1 berjarak x_1 dari sumbu y dan partikel 2 berjarak x_2 dari sumbu y. Pusat massa disingkat PM. Kedua partikel terletak pada sumbu x karenanya pusatmassa kedua partikel ditulis x_{PM} .

$$x_{PM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

$$x_{PM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m}$$

$m = m_1 + m_2$ = massa total kedua partikel. Pusat massa terletak di antara kedua partikel itu. Jika $m_1 + m_2 = m$ maka pusat massa tepat berada di tengah-tengah kedua partikel. Secara matematis, persamaannya dapat diubah menjadi:

$$m_1 = m_2 = m$$

$$x_{PM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m + m}$$

$$x_{PM} = \frac{m(x_1 + x_2)}{2m}$$

$$x_{PM} = \frac{1}{2}(x_1 + x_2)$$

Jika $m_1 > m_2$ maka letak pusat massa lebih dekat dengan m_1 . Sebaliknya jika $m_2 > m_1$ maka letak pusat massa lebih dekat m_2 . Persamaan di atas hanya berlaku untuk satu dimensi, di mana partikel berada pada salah satu sumbu koordinat (sumbu x). Apabila kedua partikel berada dalam sebuah bidang (2 dimensi) maka kita dapat menambahkan persamaan pusat massa untuk koordinat y.

$$y_{PM} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2}$$

$$y_{PM} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m}$$

$$m = m_1 + m_2 = \text{massa total kedua partikel}$$

Rumus di atas terbatas pada dua partikel. Jika terdapat banyak partikel maka kita bisa memperluas rumusnya. Rumus untuk koordinat x:

$$x_{PM} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$x_{PM} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}$$

$$x_{PM} = \frac{\sum m_i x_i}{m}$$

Rumus untuk koordinat y:

$$y_{PM} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots + m_n y_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$y_{PM} = \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}$$

$$y_{PM} = \frac{\sum m_i y_i}{m}$$

Rumus untuk koordinat z:

$$z_{PM} = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + \dots + m_n z_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$z_{PM} = \frac{\sum m_i z_i}{\sum m_i}$$

$$z_{PM} = \frac{\sum m_i z_i}{m}$$

Jika partikel-partikel terletak pada suatu bidang (dua dimensi) maka pusat massa benda berada di antara x_{PM} dan y_{PM} . Sebaliknya jika partikel-partikel terletak dalam suatu ruang (tiga dimensi) maka pusat massa benda berada di antara x_{PM} , y_{PM} dan z_{PM} .

Contoh Soal

Tiga buah partikel pada sistem koordinat xy sebagai berikut. Massa 1 kg di (0,0), massa 2 kg di (2,1), dan massa 3 kg di (1,5), dengan semua jarak diukur dalam meter. Dimanakah letak titik berat sistem partikel itu?

Penyelesaian.

$$x_{pm} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{(1.0) + (2.2) + (3.1)}{1 + 2 + 3} = \frac{7}{6}$$

$$y_{pm} = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{(1.0) + (2.1) + (3.5)}{1 + 2 + 3} = \frac{17}{6}$$

Jadi letak titik berat sistem adalah pada koordint $\left(\frac{7}{6}, \frac{17}{6}\right)$

Gerak Pusat Massa

Gerak pusat massa dapat diperoleh melalui definisi pusat massa di pers.(1). Kecepatan pusat massa diperoleh dari derivatif pers. (1):

$$v_{pm} = \frac{\sum_i m_i v_i}{M}$$

Dari persamaan ini, setelah dikalikan dengan M, diperoleh:

$$M v_{pm} = \sum_i m_i v_i = \sum_i p_i$$

Besaran $M v_{pm}$ yang dapat kita anggap sebagai momentum pusat massa, tidak lain adalah total momentum sistem (jumlahan seluruh momentum partikel dalam sistem).

Dengan menderivatifkan pers. (6) terhadap waktu, diperoleh

$$M a_{pm} = \sum_i \frac{dp_i}{dt} = \sum_i F_i$$

Dengan F_i adalah total gaya yang bekerja pada partikel ke-i. Persamaan di atas menunjukkan bahwa gerak pusat massa ditentukan oleh total gaya yang bekerja pada sistem. Gaya yang bekerja pada sistem dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, gaya internal yaitu gaya antar partikel di dalam sistem, dan gaya eksternal yaitu gaya yang berasal dari luar sistem. Untuk gaya internal, antara sembarang dua partikel dalam sistem, i dan j misalnya, akan ada gaya pada i oleh j dan sebaliknya (karena aksi-reaksi), tetapi

$$F_{ij} + F_{ji} = F_{ij} - F_{ij} = 0$$

Sehingga jumlah total gaya internal pada sistem akan lenyap, dan

$$Ma_{pm} = \sum_i F_{ieks} = \sum_i F_{eks}$$

Jadi gerak pusat massa sistem hanya ditentukan oleh total gaya eksternal yang bekerja pada sistem. Ketika tidak ada gaya eksternal yang bekerja pada suatu sistem, maka:

$$\frac{d}{dt} \sum_i p_i = 0$$

Atau berarti total momentum seluruh partikel dalam sistem, konstan,

$$\sum_i p_i = \text{konstan}$$

RANGKUMAN

1. Momentum adalah hasil kali massa benda (m) dengan kecepatan (v) yang dimilikinya.

$$P = mv$$

Sementara perubahan momentum (Δp) dirumuskan:

$$\Delta p = p_2 - p_1$$

$$= m v_2 - m v_1$$

$$\Delta p = m (v_2 - v_1)$$

2. Impuls adalah hasil kali gaya yang bekerja dengan selang waktu gaya tersebut bekerja.

$$I = m v_2 - m v_1$$

$$I = p_2 - p_1$$

$$I = \Delta p$$

3. Hukum kekekalan momentum:

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

4. Tumbukan:

- a. Lenting sempurna: $e = 1$
- b. Lenting sebagian: $0 < e < 1$
- c. Tidak lenting sama sekali: $e = 0$

$$e = \frac{-(v_2' - v_1')}{(v_2 - v_1)}$$

LATIHAN

1. Sebuah mobil dengan massa 2 KW sedang bergerak dengan kecepatan 72 km/jam, kemudian dipercepat dengan gaya konstan sehingga dalam waktu 5 sekon kecepatannya menjadi 80 km/jam. Tentukan:
 - a. momentum mobil sebelum dipercepat
 - b. impuls gaya selama 5 sekon tersebut!
2. Sebuah roket menembakkan bahan bakar dengan laju 14.000 kg tiap detik. Hitung percepatan roket ketika kecepatannya 2000 m/s relatif terhadap gas dan massa roket ketika itu adalah 1000 ton. Jika:
 - a. medan gravitasi diabaikan.
 - b. medan gravitasi tidak diabaikan (besarnya percepatan akibat gravitasi
 - c. ditempat itu $g = 5 \text{ m/s}^2$)
3. Sebuah benda dengan massa 0,4 kg yang mula-mula bergerak dengan kecepatan 20 m/s dihentikan oleh gaya konstan sebesar 50 N dalam waktu Δt .
 - a. Berapakah besar impuls gaya tersebut?
 - b. Berapakah besar Δt ?
4. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan 4 m/s sehingga mempunyai momentum 1 kg m/s. Hitunglah massa benda tersebut!
5. Bola A dan bola B bergerak di atas bidang datar segaris kerja. Bola A dengan massa 2 kg bergerak ke kanan dengan kecepatan 4 m/s dan bola B dengan massa 1 kg bergerak ke kiri dengan kecepatan 6 m/s. Kedua bola bertumbukan sentral. Hitunglah kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan jika tumbukan kedua bola:
 - a. tidak lenting sama sekali
 - b. lenting sebagian dengan $e = 0,8$
 - c. lenting sempurna

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Dimensi dari momentum adalah
 - a. MLT^{-1}
 - b. $ML^{-1}T$
 - c. MLT
 - d. ML^2T
 - e. MLT^2
2. Di bawah ini adalah pengertian dari impuls, *kecuali*.....
 - a. gaya sesaat
 - b. momentum akhir dikurangi momentum awal
 - c. vektor yang bersatuan $kg\ m/s^2$
 - d. besaran berdimensi $[M][L][T]^{-1}$
 - e. perubahan momentum
3. Sebuah bola bermassa 200 gram bergerak dengan kecepatan 12 m/s dipukul dengan kayu sehingga berbalik arah dengan kecepatan 18 m/s. Gaya pukulan bekerja pada bola selama 0,01 sekon. Besar gaya rata-rata F yang diterima bola sebesar
 - a. 6000 N
 - b. 3600 N
 - c. 3000 N
 - d. 900 N
 - e. 600 N
4. Sebuah benda mengalami perubahan momentum sebesar 3 kg.m/s dalam waktu 0,05 sekon. Besar gaya yang mengakibatkan perubahan tersebut adalah ... N.
 - a. 0,06
 - b. 0,6
 - c. 6
 - d. 60

- e. 600
5. Sebuah benda bermassa m bergerak dengan kecepatan tetap $= v$, maka impuls dari benda tersebut adalah
- a. nol
 - b. mv^2
 - c. mv
 - d. $\frac{1}{2}mv^2$
 - e. $2mv$
6. Seorang anak bermain mobil-mobilan bermassa 12 kg yang bergerak dengan kecepatan 5 m/s. Momentum dan energi kinetik yang dimiliki mobil-mobilan tersebut adalah.....
- a. 60 J dan 150 kg m/s
 - b. 60 kg m/s dan 150 J
 - c. 75 kg m/s dan 150 J
 - d. 100 kg m/s dan 200 J
 - e. 60 J dan 200 kg m/s
7. Sebuah impuls gaya sebesar 50 Ns bekerja pada sebuah benda selama 0,01 sekon. Besar gaya tersebut adalah
- a. 5000 N
 - b. 500 N
 - c. 50 N
 - d. 5 N
 - e. 0,5 N
8. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 10 m di atas lantai. Jika koefisien restitusi antara bola dengan lantai 0,5, maka tinggi pantulan pertama adalah....
- a. 8 m
 - b. 7,5 m
 - c. 5 m
 - d. 2,5 m
 - e. 2 m

9. Seorang anak memukul bola tenis yang massanya 100 gr dengan gaya 10 N dengan sebuah pemukul. Bola menempel pada pemukul selama 0,2 sekon. Kecepatan bola waktu lepas dari pemukul adalah . . . m/s.
- 2
 - 5
 - 10
 - 15
 - 20
10. Sebuah bola bermassa m menumbuk tegak lurus dengan kecepatan yang besarnya v . Bila bola dipantulkan dengan kecepatan yang besarnya v pula, maka besar impuls gaya yang dilakukan oleh dinding pada bola
- Nol
 - $4 mv$
 - $\frac{1}{2} mv^2$
 - $2 mv$
 - mv

B. Jawablah dengan benar!

1. Sebuah bola bermassa 100 gram dijatuhkan dari ketinggian $h_0 = 180$ cm di atas lantai. Setelah menumbuk lantai, bola memantul kembali setinggi $h_1 = 125$ cm ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
- Tentukan:
- Momentum bola sesaat sebelum menumbuk lantai
 - Momentum bola sesaat setelah menumbuk lantai
 - Gaya rata-rata pada bola, bila tumbukan berlangsung selama 0,01 sekon
2. Seorang nelayan yang bermassa 50 kg, menaiki sebuah perahu yang bergerak ke timur dengan kecepatan 2 m/s. massa perahu 250 kg. Tentukan kecepatan perahu jika
- Orang tersebut meloncat ke depan (searah gerak perahu) dengan kecepatan 4 m/s.

- b. Orang tersebut meloncat ke belakang (berlawanan dengan gerak perahu) dengan kecepatan 4 m/s.
 - c. Orang tersebut meloncat ke utara (tegak lurus gerak perahu) dengan kecepatan 4 m/s.
3. Balok dengan massa 5 kg, mula-mula diam, ditembak oleh sebutir peluru yang bermassa 50 gr, peluru tertanam didalam balok. Jika energi kinetik yang hilang selama proses tumbukan adalah 750 J. Hitunglah kecepatan peluru menumbuk balok?
 4. Tiga buah massa ditempatkan pada suatu sumbu $-y$: 2 kg di $y = 300$ cm, 6 kg di $y = 150$ cm, dan 4 kg di $y = -75$ cm. Berapakah pusat massa mereka?
 5. Empat buah massa ditempatkan di bidang xy sebagai berikut: 300 gr di (0,2 m), 500 gr di (-2 m,-3 m), 700 gr di (50 cm,30 cm), dan 900 gr di (-80 cm, 150 cm). Berapa pusat massa mereka.



Sumber: www.pogo.org.uk

Untuk memindahkan benda-benda yang berat, kita dapat menggunakan crane. Benda-benda ini digantungkan di bawah lengan crane yang panjang. Letak benda ini dapat diatur, sehingga kedua lengan crane seimbang. Setelah itu barulah crane berputar untuk menempatkan benda di tempat yang diinginkan. Tahukah kalian bahwa crane bekerja berdasarkan konsep fisika? Konsep fisika yang mendasari cara kerja crane adalah momen gaya atau torsi. Konsep ini merupakan salah satu besaran yang mendasari materi momentum sudut dan keseimbangan benda tegar.

KOMPOTENSI DASAR

Mendesripsikan kinematika rotasi dan dinamika rotasi.

INDIKATOR

1. Menganalisis hubungan antara kecepatan linear dan kecepatan sudut
2. Menganalisis hubungan antara percepatan linear dan percepatan sudut
3. Mendeskripsikan torsi dan momentum sudut
4. Menganalisis energi kinetik rotasi

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

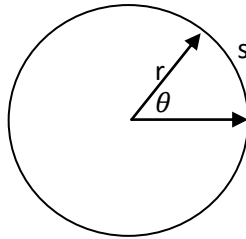
1. Menentukan hubungan antara kecepatan linear dan kecepatan sudut
2. Menentukan hubungan antara percepatan linear dan percepatan sudut
3. Merumuskan hubungan antara torsi dan momentum sudut
4. Menghitung besarnya torsi pada benda berotasi
5. Menghitung momentum sudut pada benda berotasi
6. Menghitung momen inersia pada benda berotasi
7. Merumuskan hubungan momen inersia dengan energi kinetik rotasi
8. Menghitung besarnya energi kinetik rotasi pada benda yang berotasi

URAIAN MATERI

Benda tegar adalah sistem partikel yang mana posisi relatif partikel-partikelnya, satu dengan yang lainnya di dalam sistem, (dianggap) tetap. Akibatnya ketika benda ini berotasi terhadap suatu sumbu tetap, maka jarak setiap partikel dalam sistem terhadap sumbu rotasi akan selalu tetap. Di sini kita hanya akan meninjau gerak rotasi dengan sumbu putar yang tetap orientasinya.

A. Kinematika Rotasi

Tinjau rotasi sebuah partikel dalam lintasan lingkaran dengan jejari r . Jarak yang telah ditempuh dalam selang waktu Δt adalah s terkait dengan sudut θ (dalam radian). Hubungan s dan θ diberikan oleh $s = r\theta$.



Gambar 6.1 Hubungan s dan θ

Untuk selang waktu yang sangat kecil maka besar kecepatan linier diberikan oleh:

$$\frac{ds}{dt} = r \frac{d\theta}{dt}$$

Besaran $\omega = \frac{d\theta}{dt}$ disebut sebagai kecepatan sudut, yang arahnya diberikan oleh arah putar tangan kanan, tegak lurus bidang lingkaran. Jadi hubungan antara kecepatan linier dengan kecepatan sudut diberikan oleh

$$\mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$$

Percepatan sudut α didefinisikan sebagai laju perubahan kecepatan sudut terhadap waktu,

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

Hubungan antara percepatan linier dan percepatan sudut diberikan oleh:

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

dengan arah α diberikan oleh arah perubahan ω , atau secara vektor

$$a = \alpha r$$

Karena persamaan-persamaan kinematika yang menghubungkan θ , ω dan α bentuknya sama dengan persamaan-persamaan kinematika gerak linear, maka dengan memakai analogi ini akan diperoleh kaitan sebagai berikut untuk kecepatan sudut konstan.

$$\theta_t = \theta_0 + \omega t$$

dan kaitan-kaitan berikut untuk percepatan sudut konstan

$$\theta_t = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\omega_t = \omega_0 + \alpha t$$

$$\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

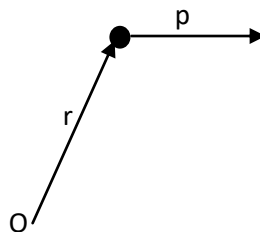
B. Dinamika Rotasi

1. Torsi dan Momentum Sudut

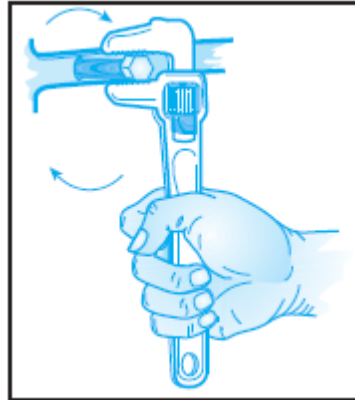
Untuk memudahkan penyelidikan dan analisa terhadap gerak rotasi, didefinisikan beberapa besaran sebagai analog konsep gaya dan momentum. Pertama didefinisikan konsep momentum sudut l . Momentum sudut suatu partikel yang memiliki momentum linear p dan berada pada posisi r dari suatu titik referensi O adalah:

$$l = r \times p$$

Perlu diperhatikan bahwa nilai bergantung pada pemilihan titik referensi O , nilainya dapat berubah bila digunakan titik referensi yang berbeda.



Gambar 6.2 Momentum Sudut



Gambar 6.3 Kunci inggris

Gambar 6.3 menggambarkan seseorang sedang mengencangkan sebuah baut pada tempatnya. Agar orang tersebut dapat dengan mudah mengencangkan baut tersebut dapat melakukan dua cara yaitu:

- a. memberi gaya yang besar
- b. memberi lengan gaya yang panjang.

Atau dengan kata lain, orang tersebut harus memberi momen gaya yang besar. Apakah yang dimaksud momen gaya? Momen gaya merupakan besaran yang dapat menyebabkan sebuah titik partikel berputar (berotasi).

Momen gaya dilambangkan dengan " τ ".

Laju perubahan momentum sudut terhadap waktu didefinisikan sebagai besaran torka (τ):

$$\tau = \frac{dl}{dt} = \frac{d}{dt}(r \cdot p) = \frac{dr}{dt} \cdot p + r \cdot \frac{dp}{dt}$$

Karena bentuk:

$$\frac{dr}{dt} \cdot p = v \cdot mv = 0$$

Maka:

$$\tau = r \cdot F = \frac{dl}{dt}$$

Atau

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

Keterangan:

F = besar gaya (N)

r = panjang lengan gaya (m)

τ = besar momen gaya (N.m)

θ = sudut antara arah lengan gaya dan arah gaya

Contoh Soal

Otot bisep memberikan gaya ke atas pada lengan bawah sebesar 700 N, dengan menganggap bahwa otot melekat 5 cm dari siku. Hitung torsi di sekitar sumbu rotasi melalui sendi siku.

Penyelesaian.

Diketahui. $F = 700 \text{ N}$

$$r = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

Ditanyakan. $\tau \dots ?$

$$\text{Jawab. } \tau = r \cdot F = 0,05 \text{ m} \cdot 700 \text{ N} = 35 \text{ N.m}$$

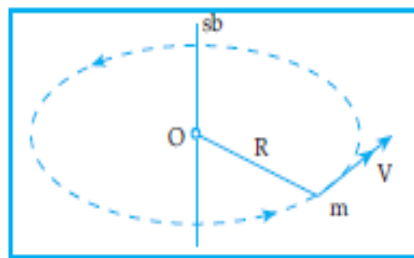
2. Momen Inersia



Gambar 6.4 Rotasi Bumi pada Porosnya

Pada gerak translasi, massa dijadikan ukuran kelembaman benda (inersia) yaitu ukuran yang menyatakan tanggapan benda terhadap perubahan pada keadaan geraknya. Jika massa benda besar, maka benda sukar dipercepat atau sukar diubah geraknya. Tetapi sebaliknya jika massa benda kecil, maka benda mudah dipercepat atau mudah diubah geraknya.

Pada gerak rotasi besaran yang analog dengan massa adalah momen inersia. Dengan demikian momen inersia merupakan ukuran kelembaman benda yang berotasi atau berputar pada sumbu putarnya.



Gambar 6.5 Gerak Rotasi Partikel

Gambar 6.5 melukiskan sebuah titik partikel dengan massa m sedang melakukan gerak rotasi pada sumbunya dengan jari-jari R . Momen inersia dari titik partikel tersebut dinyatakan sebagai hasil kali massa partikel dengan kuadrat jarak partikel ke sumbu putar (jari-jari). Dengan demikian momen inersia titik partikel dapat dinyatakan dengan:

$$I = mr^2$$




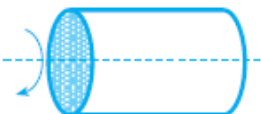

Dari persamaan di atas dapat dikatakan bahwa besar momen inersia sebuah partikel sebanding dengan massa partikel dan sebanding dengan kuadrat jarak partikel ke sumbu putarnya.

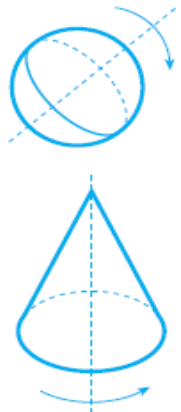
Kalian telah mengetahui bahwa massa benda pada gerak translasi menyatakan ukuran kemampuan benda dalam mempertahankan kecepatan linearnya. Sementara itu, momen inersia pada gerak rotasi untuk menyatakan ukuran kemampuan untuk mempertahankan kecepatan sudut rotasi. Berdasarkan persamaan momen inersia pada suatu benda, kita dapat mengambil kesimpulan

bahwa jika konsentrasi massa semakin jauh dari pusat rotasi (sumbu rotasi), maka momen inersianya semakin besar.

Bentuk persamaan momen inersia untuk setiap benda berbeda dengan sumbu putar tertentu. Artinya, sebuah benda akan mempunyai momen inersia berbeda, jika sumbu putarnya berbeda. Persamaan momen inersia pada berbagai bentuk benda dengan distribusi massa yang teratur dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 6.1 Momen Inersia Beberapa Benda

Gambar bangun	Nama benda	Momen inersia
	Batang homogen terhadap sumbu yang melalui pertengahan dan tegak lurus batang	$I = \frac{1}{2} m \cdot L^2$
	Batang homogen terhadap sumbu yang melalui ujung dan tegak lurus batang	$I = \frac{1}{3} m \cdot L^2$
	Bidang lengkung tabung terhadap sumbunya	$I = m \cdot R^2$
	Tabung pejal terhadap sumbunya	$I = \frac{1}{2} m \cdot R^2$
	Tabung berbentuk pipa tebal terhadap sumbunya	$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2)$

	<p>Bola pejal terhadap sumbu yang melalui pusatnya. Bola berongga dengan ketebalan kulit diabaikan</p> <p>Kerucut pejal terhadap sumbu kerucut</p>	$I = \frac{2}{5} m R^2$ $I = \frac{2}{3} m R^2$ $I = \frac{3}{10} m \cdot R^2$
-----------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

www.tehfitsystem.com

Keterangan:

m = massa benda

L = panjang benda

R_1 = jari-jari dalam

R_2 = jari-jari luar

3. Energi Kinetik Rotasi

Kita tinjau suatu sistem partikel yang berotasi terhadap suatu sumbu tetap. Jarak setiap partikel terhadap sumbu rotasi selalu tetap. Bila sistem partikel ini adalah benda tegar maka kesemua partikel akan bergerak bersama-sama dengan kecepatan sudut yang sama. Energi kinetik sistem partikel tersebut adalah:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} m (r^2 \omega^2) = \frac{1}{2} I \omega$$

Usaha yang dilakukan τ yang tetap dalam memutar benda sebanyak θ adalah:

$$W = \tau \theta$$

Sedangkan daya yang dikeluarkan pada benda adalah:

$$P = \tau \omega$$

Dari uraian di atas jelas ada hubungan antara gerak translasi dan gerak rotasi dan hubungan tersebut dapat Anda lihat pada tabel 6.2 berikut.

Tabel 6.2 Hubungan antara gerak rotasi dan translasi

No.	Gerak Rotasi	Gerak Translasi
1.	Sudut yang ditempuh θ .	Jarak yang ditempuh S
2.	Kecepatan sudut ω	Kecepatan v
3.	Percepatan α	Percepatan a
4.	Momen inersia I	Massa m
5.	Momen gaya τ	Gaya F
6.	$\omega = \omega_0 + \alpha t$	$v = v_0 + at$
7.	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$	$S = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$
8.	Momentum sudut $L = I\omega$	Momentum $P = mv$
9.	Impuls sudut $= \tau \Delta t$	Impuls $= F \Delta t$
10.	$\tau \Delta t = I \omega_t - I \omega_0$	$F \Delta t = mv_t - mv_0$
11.	Hk. II newton $\tau = I \alpha$	Hk. II newton $F = m a$
12.	Usaha $W = \tau \theta$	Usaha $W = F s$
13.	Energi kinetik rotasi $E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$	Energi kinetik $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
14.	$W = \frac{1}{2}I \omega_t^2 - \frac{1}{2}I \omega_0^2$	$W = \frac{1}{2}mv_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$
15.	Hk. III newton $\tau_{AB} = -\tau_{BA}$	Hukum III newton $F_{AB} = -F_{BA}$
16.	Hk. kekekalan momentum sudut $I_A \omega_A + I_B \omega_B = I_A \omega_A' + I_B \omega_B'$	Hk. kekekalan momentum $m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$

RANGKUMAN

1. Momen gaya:

$$\tau = r.F$$

2. Momentum sudut:

$$L = mvR$$

3. Momen inersia:

$$I = mR^2$$

4. Energi kinetik:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m(r^2\omega^2) = \frac{1}{2}I\omega$$

5. Usaha yang dilakukan τ yang tetap dalam memutar benda sebanyak θ adalah:

$$W = \tau\theta$$

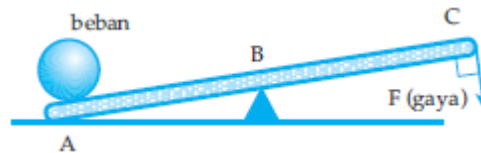
6. Daya yang dikeluarkan pada benda adalah:

$$P = \tau\omega$$

7. Syarat kesetimbangan benda tegar: $\Sigma F = 0$ dan $\Sigma \tau = 0$.
8. Macam kesetimbangan ada 3 macam, yaitu labil, stabil, dan indeferen.

LATIHAN

1. Sebutkan beberapa kejadian sehari-hari yang bekerja berdasarkan momen gaya?
2. Bilamana momen gaya bertanda positif dan bilamana momen gaya bertanda negatif?
- 3.



AB = lengan beban

BC = lengan kuasa

Gambar di atas adalah usaha mengangkat beban dengan pengungkit AC. Agar dengan mudah kita mengangkat beban maka diperlukan lengankuasa yang pendek atau yang panjang. Jelaskan!

4. Apakah yang dimaksud gerak melingkar beraturan dan tuliskan persamaan-persamaan pada GBM tersebut!
5. Apakah yang dimaksud gerak melingkar berubah beraturan dan tuliskan persamaan-persamaan pada GMBB tersebut!

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Sebuah bola pejal massanya 2 kg menggelinding di atas lantai dengan kecepatan 5 m/s. Bila diameter bola 20 cm, energi kinetik bola tersebut adalah
 - a. 20 J
 - b. 40 J
 - c. 25 J
 - d. 50 J
 - e. 35 J
2. Benda bermassa 1 kg diikat dengan seutas tali yang panjangnya 0,2 m. Kemudian, benda diputar vertikal dengan kecepatan sudut tetap. Ketika benda berada dititik terendah, tali mengalami tegangan sebesar 15 N. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka kecepatan sudutnya adalah.....rad/s.
 - a. 6
 - b. 5
 - c. 4
 - d. 3
 - e. 2
3. Sebuah benda berbentuk silinder pejal berjari-jari R dan massa m diputar pada sumbunya dengan periode T. Besar energi kinetik rotasinya sama dengan
 - a. $\frac{\pi^2 m R^2}{24 T^2}$
 - b. $\frac{\pi^2 m R^2}{2 T^2}$
 - c. $\frac{\pi^2 m R^2}{T^2}$
 - d. $\pi^2 m R^2 T^2$
 - e. $\frac{\pi^2 m R^2}{R^2}$

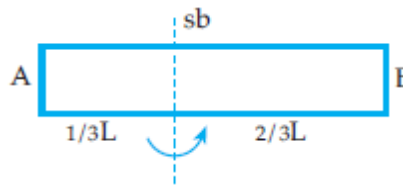
4. Percepatan sudut sebuah roda diberikan oleh persamaan $a = 20 t$. Jika kecepatan sudut awal adalah 10 rad, persamaan kecepatan sudutnya adalah
- $\omega = 10 t^2 + 10 t$
 - $\omega = 20 t^2 + 10 t$
 - $\omega = 10 t^2 + 10$
 - $\omega = 20 t^2 + 10$
 - $\omega = 20 t^2 + 10 t$
5. Sebuah benda bergerak rotasi dengan persamaan posisi sudut $\theta = \frac{1}{2}t^3 - 5t + 10$ (θ dalam radian dan t dalam s). Besarnya percepatan sudut pada detik ke-8 adalah
- 123 rad.s⁻²
 - 112 rad.s⁻²
 - 28 rad.s⁻²
 - 26 rad.s⁻²
 - 24 rad.s⁻²
6. Sebuah roda pejal dengan massa 200 gr berjari-jari 1 cm menggelinding pada lantai mendatar dengan kelajuan tetap 5 m/s. Besar momentum sudutnya adalah
- $8 \cdot 10^{-6} \text{ g m}^2/\text{s}$
 - $6 \cdot 10^{-4} \text{ kg m}^2/\text{s}$
 - $2 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2/\text{s}$
 - $12,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^2/\text{s}$
 - $4 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2/\text{s}$
7. Sebuah roda mempunyai momen inersia 15 kg m^2 . Roda tersebut berputar pada sumbunya dengan percepatan sudut 3 rad/s. Besar momen gaya yang memutar roda adalah
- 5 Nm
 - 18 Nm
 - 12 Nm
 - 9 Nm

- e. 45 Nm
8. Sebuah benda yang berada dalam kesetimbangan, tidak mungkin mempunyai
- gaya-gaya yang bekerja padanya
 - momen-momen gaya yang bekerja padanya
 - kecepatan
 - percepatan
 - massa
9. Sebuah bola pejal dengan jari-jari 10 cm dan massa 5 kg berotasi dengan sumbu sebagai porosnya. Bola mula-mula dalam keadaan diam. Kemudian bola mengalami percepatan sudut $0,2 \text{ rad/s}^2$. Besar momentum sudut bola pada detik ke 10 adalah
- $2 \times 10^{-2} \text{ kg m}^2 \text{ rad s}^{-1}$
 - $3 \times 10^{-1} \text{ kg m}^2 \text{ rad s}^{-1}$
 - $4 \times 10^{-1} \text{ kg m}^2 \text{ rad s}^{-1}$
 - $5 \times 10^{-2} \text{ kg m}^2 \text{ rad s}^{-1}$
 - $6 \times 10^{-1} \text{ kg m}^2 \text{ rad s}^{-1}$
10. Sebuah kelereng dengan berat 0,2 N dan berjari 0,5 cm bergerak pada kelajuan 1,5 m/s sambil berputar. Total energi kinetiknya adalah
- $9 \times 10^{-6} \text{ J}$
 - $8,25 \times 10^{-6} \text{ J}$
 - $6,25 \times 10^{-6} \text{ J}$
 - $5 \times 10^{-5} \text{ J}$
 - $4,5 \times 10^{-5} \text{ J}$

B. Jawablah dengan benar!

1. Sebuah partikel dengan massa 2 gram bergerak melingkar dengan jari-jari lingkaran 2 cm dan kecepatan sudut 10 rad/s. Tentukan momentum sudut partikel itu terhadap pusat lingkaran!

2.



Batang homogen AB dengan panjang 60 cm bermassa 3 kg diputar dengan sumbu putar tegak lurus batang berjarak $\frac{1}{3} L$ dari ujung A (L = panjang batang AB). Berapakah momen inersia batang AB tersebut?

3. Sebuah partikel bermassa 0,2 gr bergerak melingkar dengan kecepatan sudut tetap 10 rad/s, jika jari-jari lintasan partikel 3 cm. Berapakah momentum sudut partikel itu?
4. Pada sebuah bola pejal bermassa 3 kg dan berjari-jari 20 cm diberikan suatu gaya sehingga dari keadaan diam bola pejal tersebut berputar terhadap sumbu yang melalui pusat bola dengan percepatan sudut 5 rad/s^2 . Berapakah energy kinetik bola itu setelah berputar selama 2 detik?



Sumber: www.climate.met.psu.edu

KOMPOTENSI DASAR

1. Mendeskripsikan pemantulan dan pembiasan cahaya
2. Menganalisis penyimpangan pembentukan bayangan pada Lensa

INDIKATOR

1. Menganalisis pemantulan pada cermin
2. Menganalisis pembiasan pada lensa
3. Menganalisis kekuatan lensa
4. Menganalisis penyimpangan pembentukan bayangan pada lensa

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Menentukan sinar-sinar istimewa pada cermin datar dan cermin lengkung
2. Melukiskan pembentukan bayangan pada cermin datar dan cermin cekung
3. Menentukan indeks bias suatu medium
4. Melukiskan pembiasan pada kaca plan paralel
5. Melukiskan pembiasan pada prisma
6. Menentukan sinar-sinar istimewa pada lensa dan pembentukan bayangannya
7. Menghitung kekuatan (daya) lensa

URAIAN MATERI

Ketika kita memandang suatu benda, cahaya dan benda itu merambat langsung ke mata kita. Karena itu kita dapat melihat benda tersebut. Tetapi hanya sebagian benda yang memancarkan cahaya sendiri seperti matahari, lampu, dan nyala api. Sebagian besar benda-benda yang kita lihat tidak memancarkan cahaya sendiri seperti bulan, manusia, kertas, dan meja. Benda yang tidak memancarkan cahaya memantulkan cahaya dari sumber cahaya ke mata kita. Dengan demikian, apa yang terlihat, secara fundamental akan tergantung pada sifat cahaya. Oleh sebab itulah sifat cahaya selalu merupakan pokok bahasan yang menarik untuk dipelajari. Optika geometris adalah cabang ilmu pengetahuan tentang cahaya yang mempelajari sifat-sifat perambatan cahaya seperti pemantulan, pembiasan, serta prinsip jalannya sinar-sinar.

A. Pemantulan Cahaya

Jika sinar cahaya jatuh pada permukaan benda lalu dibalikkan kembali, kita sebut sinar itu dipantulkan. Ada dua jenis pemantulan cahaya, yaitu pemantulan baur dan pemantulan teratur.

Hukum pemantulan:

- Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal berpotongan pada satu titik dan terletak pada satu bidang datar.
- Sudut datang (i) sama dengan sudut pantul (r).

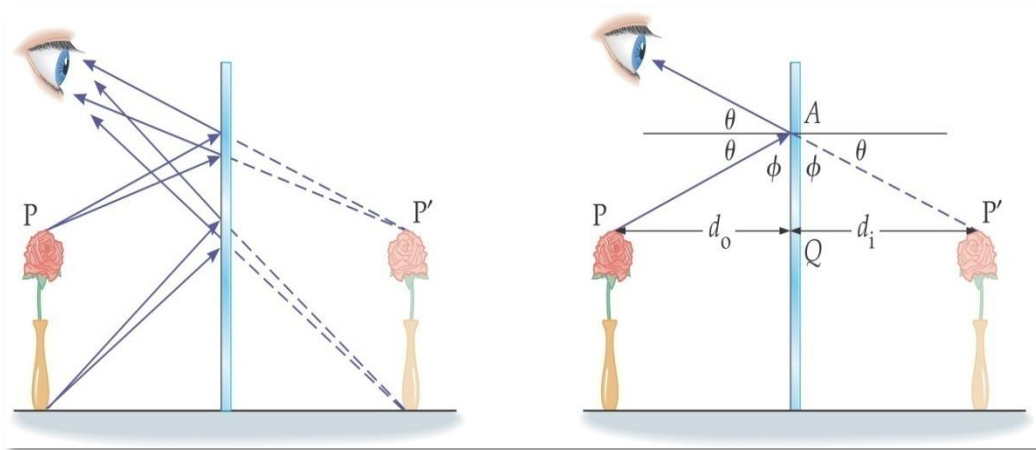
Secara sistematis dituliskan bahwa: $i = r$

1. Pemantulan pada Cermin Datar

Sifat-sifat Bayangan pada Cermin Datar

Kita mendapatkan 5 sifat yang penting dari bayangan cermin datar, yaitu:

- a) bayangan cermin sama besar dengan benda yang berada di depan cermin,
- b) bayangan cermin itu tegak, artinya posisi tegaknya sama dengan posisi tegaknya benda,
- c) jarak bayangan ke cermin sama jauhnya dengan jarak benda ke cermin,
- d) bayangan cermin tertukar sisinya, bagian kanan benda menjadi bagian kiri bayangan,
- e) bayangan cermin merupakan bayangan semu (maya), artinya tidak dapat ditangkap dengan layar.



Gambar 7.1 Pemantulan pada cermin datar

Apabila sudut apit dua buah cermin datar θ besarnya diubah-ubah, maka secara empiris jumlah bayangan yang dihasilkan memenuhi hubungan:

$$n = \frac{360^\circ}{\theta} - m$$

Dimana: n = jumlah bayangan yang dihasilkan,

θ = sudut apit kedua cermin datar

$m = 1$ jika $\frac{360^\circ}{\theta}$ genap atau $m = 0$ jika $\frac{360^\circ}{\theta}$ ganjil

2. Pemantulan Pada Cermin Lengkung

Cermin lengkung merupakan bagian dari permukaan sebuah bola yang berongga yang melewati pusat bola dan tegak lurus terhadap permukaan adalah sumbu utama cermin. Jika cahaya dipantulkan dari sisi dalam bola, maka cermin disebut cermin cekung. Sebaliknya, jika cahaya dipantulkan dari sisi luar bola, maka cermin disebut cermin cembung.

Cermin Cekung

Cermin cekung bersifat konvergen, yaitu bersifat mengumpulkan sinar. Berkas sinar sejajar sumbu utama dipantulkan mengumpul pada suatu titik yang dinamakan titik fokus (F) cermin. Jarak fokus cermin dapat dituliskan sebagai berikut:

$$f = \frac{R}{2}$$

Dimana. f = jarak fokus cermin

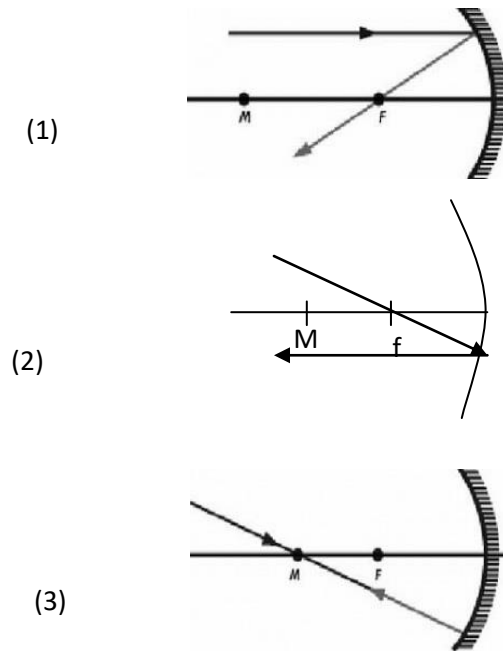
R = radius cermin

Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung

Dari semua cara yang mungkin untuk melukiskan sinar yang berasal dari sebuah benda menuju sebuah cermin, hanya ada 3 yang utama dan berguna untuk menentukan lokasi bayangan, yaitu:

- (1) sinar datang yang paralel dengan sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus,
- (2) sinar datang yang melalui titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama,

- (3) sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan cermin dipantulkan melalui titik itu juga.



Gambar 7.2 Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung

Cermin cembung

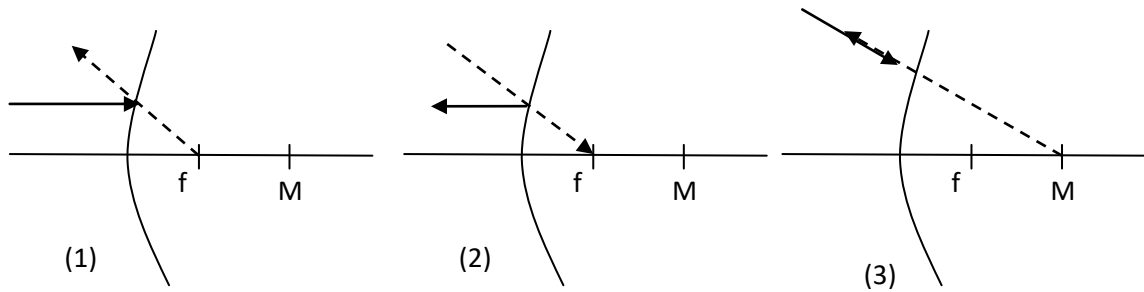
Cermin cembung adalah bagian dari sebuah bola yang memantulkan sinar dari bagian luar bola. Cermin cembung bersifat divergen, yaitu bersifat memencarkan sinar. Berkas sinar sejajar sumbu utama dipantulkan berpenjar.

Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung

Mengacu pada argumen yang sama dengan pemantulan pada cermin cekung, maka dapat dirumuskan aturan pelukisan diagram sinar untuk cermin cembung sebagai berikut:

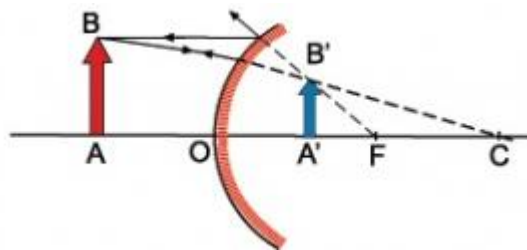
- (1) sinar datang yang paralel dengan sumbu utama dipantulkan seolah-olah berasal dari titik fokus,
- (2) sinar datang yang menuju titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama,

- (3) sinar datang yang menuju pusat kelengkungan dipantulkan melalui lintasan yang sama.



Gambar 7.3 Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung

Pembentukan bayangan pada cermin cembung:



Gambar 7.4 Pembentukan bayangan pada cermin cekung

Rumus cermin lengkung(cekung&cembung)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} \quad (\text{untuk cermin cembung fokusnya } (-))$$

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s}$$

Dimana:

f = jarak fokus cermin

s = jarak benda ke cermin

s' = jarak bayangan ke cermin

M = perbesaran bayangan

h' = tinggi bayangan

h = tinggi benda

Contoh Soal

Sebuah benda yang tingginya 20 cm diletakkan 10 cm didepan sebuah cermin cekung yang memiliki fokus 15 cm. Hitunglah:

- letak bayangan
- perbesaran bayangan
- tinggi bayangan

Dik. $h = 20$ cm; $f = 15$ cm; $s = 10$ cm

Dit. a. s'? b. M? c. h' ...?

Jawab:

a. $1/f = 1/s + 1/s'$

$$1/15 = 1/10 + 1/s'$$

$$1/s' = 1/15 - 1/10$$

$$= 2/30 - 3/30 = -1/30$$

b. $M = |s'/s| = 30/10 = 3$ (diperbesar)

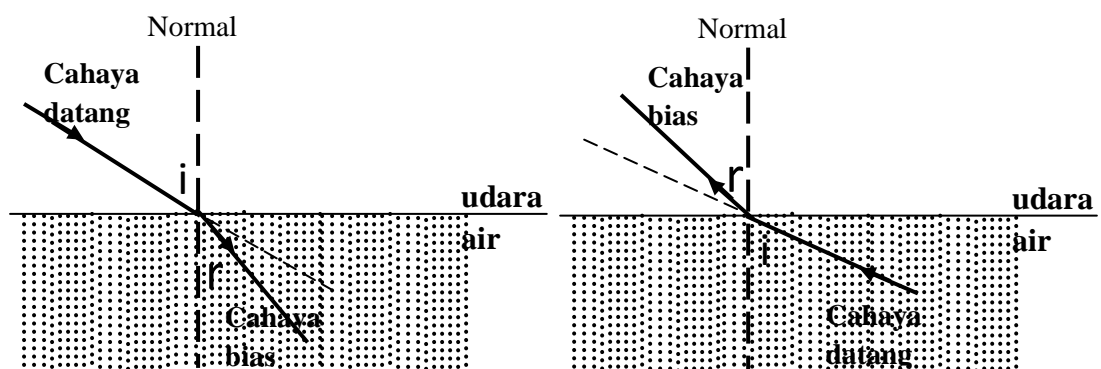
c. $M = h'/h$

$$3 = h'/20$$

$$h' = 20 \times 3 = 60 \text{ cm}$$

B. Pembiasan Cahaya

Pembiasan cahaya berarti pembelokan arah rambat cahaya saat melewati bidang batas dua medium bening yang berbeda indeks biasnya. Sebagai contoh sebatang tongkat yang sebagiannya tercelup di dalam kolam berisi air dan bening akan terlihat patah.



Gambar 7.5 Pembiasan Cahaya

1. Indeks Bias Mutlak

Indeks bias mutlak suatu medium didefinisikan sebagai perbandingan cepat rambat cahaya di ruang hampa (c) terhadap cepat rambat cahaya di medium tersebut (v). ini dapat dirumuskan sebagai:

$$n = \frac{c}{v}$$

dimana : - n = indeks bias

- c = laju cahaya dalam ruang hampa (3×10^8 m/s)

- v = laju cahaya dalam zat

Indeks bias tidak pernah lebih kecil dari 1 (artinya, $n < 1$), >. ditampilkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 7.1 Indeks Bias Beberapa Zat

Medium	$n = c/v$
Udara Hampa	1,0000
Udara (pada STP)	1,0003
Air	1,333
Es	1,31
Alkohol etil	1,36
Gliserol	1,48
Blenzena	1,50
Kaca	
Kuarsa Lebur	1,46
Kaca Korona	1,52
Api Cahaya/Kaca Flinta	1,58
Lucite/Pelxiglass	1,51
Garam Dapur (Natrium Klorida)	1,53
Berlian	2,42

Contoh Soal

Hitung laju cahaya dalam berlian.

Penyelesaian :

Diketahui : $n = 2,42$

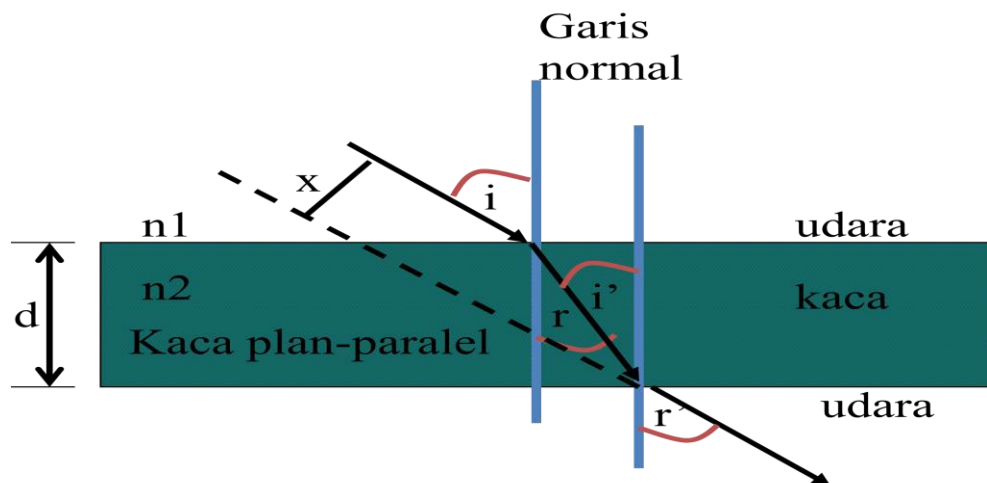
$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Ditanyakan : $v = \dots ?$

Jawab :

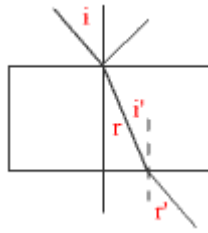
$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,42} = 1,24 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

2. Pembiasan Pada Medium Plan Paralel



Gambar 7.6 Pembiasan pada medium plan paralel

Berdasarkan dengan rumusan masalah di atas, maka kita berbicara masalah pembiasan yang terjadi pada kaca plan paralel. Jika suatu gelombang datar tiba pada bidang batas suatu medium yang kerapatannya berbeda, maka sebagian gelombang akan di refleksikan dan sebagian lagi akan diteruskan kedalam medium kedua. Karena kerapatan medium pertama dan kedua berbeda, maka arah propagasi gelombang berubah (terbias). Perhatikan gambar berikut:



Gambar 7.7 Pembiasan pada medium plan paralel

Jika kita melakukan suatu percobaan tentang pembiasan pada kaca plan paralel, dengan menggunakan besar sudut datang (i) yang berbeda-beda maka sudut biasnya (r) akan berbeda-beda pula, dan jika semakin besar sudut datang maka semakin besar pula besar sudut biasnya. Itu akan terbukti jika kita melakukan suatu percobaan.

Menurut hukum Snellius akan berlaku:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

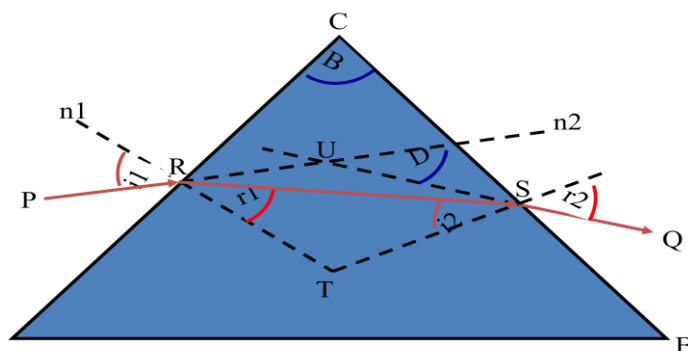
Dimana: $\sin i$ = Sudut Datang ; n_2 = Indeks Bias Medium 2

$\sin r$ = Sudut Bias; n_1 = Indeks Bias Medium 1

v_1 = laju cahaya dalam medium 1

v_2 = laju cahaya dalam medium 2

3. Pembiasan Pada Prisma



Gambar 7.8 Pembiasan pada prisma

Bahan bening yang dibatasi oleh dua bidang permukaan yang bersudut disebut prisma. Besarnya sudut antara kedua permukaan itu disebut sudut pembias (B). Apabila seberkas cahaya masuk pada salah satu permukaan prisma, cahaya akan dibiaskan dari permukaan prisma lainnya. Karena adanya dua kali pembiasan, maka pada prisma terbentuklah sudut penyimpangan yang disebut sudut deviasi. Sudut deviasi adalah sudut yang dibentuk oleh perpotongan dari perpanjangan cahaya datang dengan perpanjangan cahaya bias yang meninggalkan prisma. P, Q, R, dan S menyatakan jalannya cahaya dari udara masuk ke dalam prisma kemudian meninggalkan prisma lagi.

Berlaku:

$$D = (i_1 + r_2) - \beta$$

Sudut Deviasi Minimum

$$D_{\min} = (i_1 + r_1) - \beta$$

$$i_1 = \frac{D_{\min} + \beta}{2} \text{ dan } r_1 = \frac{\beta}{2}$$

Menurut Snellius

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin r_1} = \frac{\sin \left(\frac{D_{\min} + \beta}{2} \right)}{\sin \frac{\beta}{2}} = \frac{\sin \left(\frac{1}{2} (D_{\min} + \beta) \right)}{\sin \frac{\beta}{2}}$$

Untuk sudut D_{\min} dan β yang kecil, maka

$$n = \frac{\sin \left(\frac{1}{2} (D_{\min} + \beta) \right)}{\sin \frac{\beta}{2}} = \frac{D_{\min} + \beta}{\beta}$$

$$D_{\min} = (n - 1) \beta$$

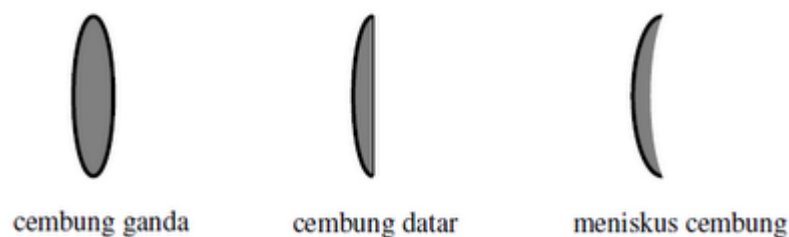
4. Pembiasan Pada Lensa

Lensa adalah benda bening yang dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat membiaskan atau meneruskan hampir semua cahaya yang melaluinya. Ada dua jenis lensa yaitu lensa cembung atau lensa positif dan lensa cekung atau lensa negatif.

Bentuk dan Sifat Lensa Cembung (Positif)

Lensa cembung adalah lensa yang bagian tengahnya lebih tebal dari bagian tepinya. Lensa cembung terdiri dari 3 macam yaitu:

- 1) Lensa bikonveks (cembung ganda) yaitu lensa kedua permukaannya cembung.
- 2) Lensa plankonveks (cembung datar) yaitu lensa yang permukaannya satu cembung dan yang lain datar.
- 3) Lensa konkaf konveks (meniskus cembung/cembung cekung) yaitu lensa yang permukaannya satu cembung yang lainnya cekung.

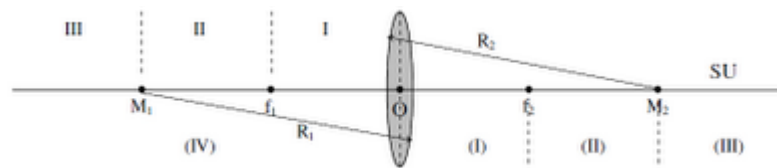


Gambar 7.9 Pembiasan cahaya pada lensa cembung

Lensa cembung bersifat konvergen atau mengumpulkan cahaya. Titik dimana cahaya mengumpul disebut titik fokus.

Pembentukan Bayangan pada Lensa Cembung

Setiap lensa mempunyai dua buah titik fokus di sebelah kiri dan kanannya, tetapi ke dua jarak fokus ke lensanya sama. Agar lebih mudah memahami pembentukan bayangan yang terjadi, maka perhatikan bagian-bagian lensa cembung di bawah ini:



Gambar 7.10 Pembentukan bayangan pada lensa cembung

SU : sumbu utama

O : titik pusat optik lensa

f_1 dan f_2 : titik api (fokus) lensa.

O - f_1 dan O - f_2 : f = jarak titik api lensa.

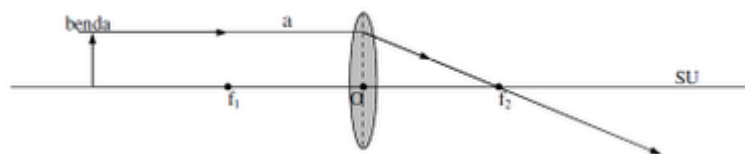
R_1 dan R_2 : jari-jari kelengkungan lensa.

I, II, III : nomor ruang untuk meletakkan benda

(I), (II), (III), (IV) : nomor ruang untuk bayangan benda

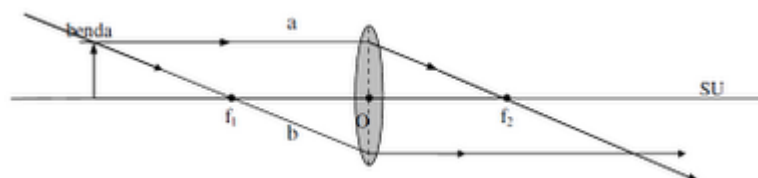
Tiga berkas cahaya/sinar istimewa pada lensa cembung

- Sinar datang sejajar sumbu utama (SU) akan dibiaskan melalui titik api (fokus/f);



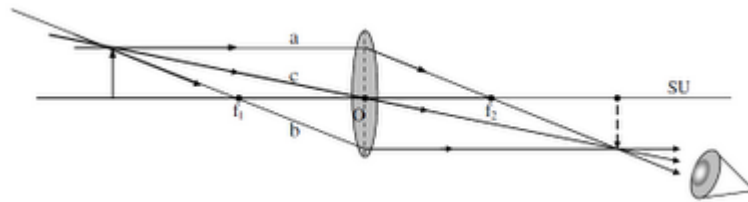
(a)

- Sinar datang melalui titik api (f) akan dibiaskan sejajar sumbu utama (SU);



(b)

- c. Sinar datang melalui titik pusat optik lensa (O) tidak dibiaskan melainkan diteruskan.



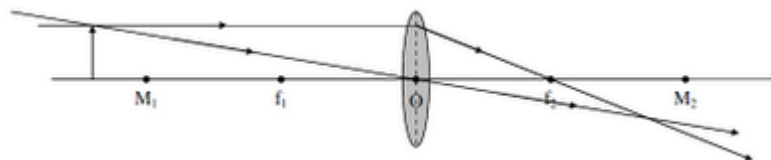
(c)

Sebenarnya, dua dari tiga berkas cahaya ini sudah cukup untuk mencari lokasi titik bayangannya, yang merupakan titik perpotongannya. Penggambaran yang ketiga dapat digunakan untuk memeriksa. Lensa cembung mempunyai sifat seperti cermin cekung. Oleh karena itu bayangan yang dibentukpun hampir sama, yaitu:

- Bayangan nyata, terjadi dari perpotongan sinar-sinar bias yang mengumpul. Bayangan nyata pada lensa cembung terjadi jika benda terletak di ruang II dan III.
- Bayangan maya, terjadi dari perpotongan perpanjangan sinar-sinar bias yang divergen (menyebar). Bayangan maya pada lensa cembung terjadi jika benda terletak di ruang I.

Pembentukan bayangan pada lensa cembung dan sifat bayangannya

Benda terletak lebih jauh dari dua jarak fokus (di ruang III)



Gambar 7.11 Penentuan sifat bayangan pada lensa cembung

Sifat bayangan yang terjadi:

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| - nyata (dibelakang lensa) | - terbalik |
| - di ruang (II) | - diperkecil (dari III ke (II)) |

Bentuk dan Sifat Lensa Cekung

Lensa cekung adalah lensa yang bagian tengahnya lebih tipis dari bagian tepinya. Lensa cekung terdiri dari 3 macam yaitu:

- 1) Lensa bikonkaf (cekung ganda) yaitu lensa kedua permukaannya cekung.
- 2) Lensa plankonkaf (cekung datar) yaitu lensa yang permukaannya satu cekung dan yang lain datar.
- 3) Lensa konveks konkaf (meniskus cekung/cekung cembung) yaitu lensa yang permukaannya satu cekung yang lainnya cembung.

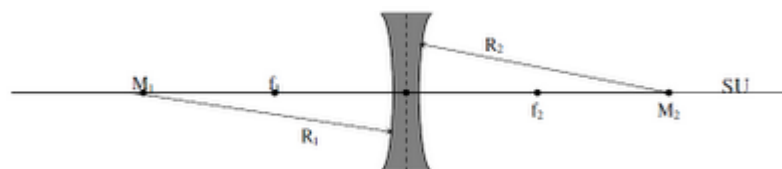


Gambar 7.12 Pembiasan pada lensa cekung

Lensa cekung bersifat divergen atau menyebarkan cahaya.

Pembentukan Bayangan pada Lensa Cekung

Lensa cekung bersifat seperti cermin cembung. Oleh karena itu, lensa cekung mempunyai titik api (fokus) yang dinyatakan dengan negatif. Agar lebih mudah memahami pembentukan bayangan yang terjadi, maka perhatikan bagian-bagian lensa cekung di bawah ini:



Gambar 7.13 Pembentukan bayangan pada lensa cekung

SU : sumbu utama O : titik pusat optik lensa

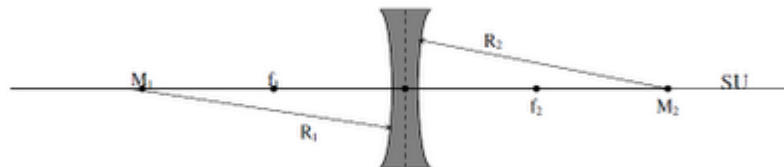
f_1 dan f_2 : titik api (fokus) lensa.

O - f_1 dan O - f_2 : f = jarak titik api lensa.

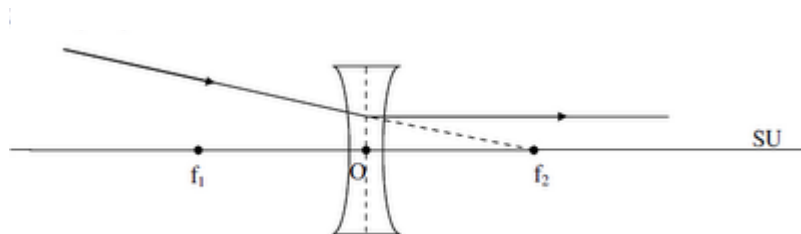
R_1 dan R_2 : jari-jari kelengkungan lensa.

Tiga berkas cahaya/sinar istimewa pada lensa cembung

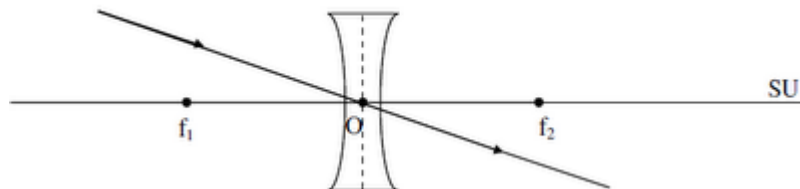
- a. Sinar datang sejajar sumbu utama (SU) akan dibiaskan seolah-olah dari titik api (f_1);



- b. Sinar datang seolah-olah menuju titik api (f_2) akan dibiaskan sejajar sumbu utama (SU)

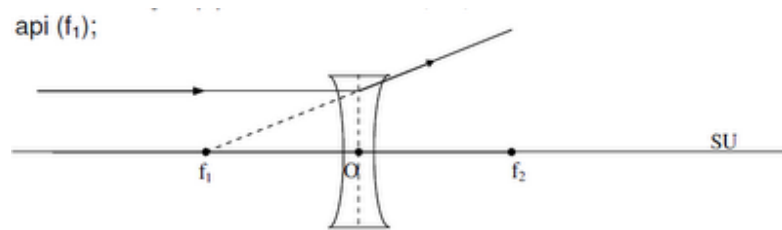


- c. Sinar datang melalui titik pusat optik lensa (O) tidak dibiaskan melainkan diteruskan.



Lensa cekung hanya dapat membentuk satu macam bayangan, yaitu bayangan maya dari benda yang terletak di depan lensa dengan sembarang penempatan.

Pembentukan bayangan pada lensa cekung dan sifat bayangannya



Gambar 7.14 Penentuan sifat bayangan pada lensa cekung

Sifat bayangan yang terjadi:

- maya (di depan lensa)
- tegak
- diperkecil

C. Kekuatan (Daya) Lensa

Kekuatan lensa atau daya lensa adalah kemampuan suatu lensa untuk memusatkan/mengumpulkan atau menyebarkan berkas sinar yang diterimanya. Besarnya daya (P) lensa berkebalikan dengan jarak titik apinya (fokus). Semakin kecil fokus semakin besar daya lensanya.

$$P = \frac{1}{f}$$

Keterangan:

P = daya lensa, satuannya dioptri

f = jarak titik api, satuannya meter (m)

Susunan Lensa dengan Sumbu Utama Berimpit

Contoh Soal

Raka seorang pelajar SMP menggunakan kacamata dari lensa yang mempunyai titik api 200 cm. Hitung daya lensa kacamata tersebut!

Penyelesaian :

Diketahui : $f = -200 \text{ cm} = -2 \text{ m}$

Ditanyakan : $P = \dots?$

Jawab :

$$p = \frac{1}{f} = \frac{1}{-2 \text{ m}} = -0,5 \text{ D}$$

Jadi, daya lensa dari kacamata itu $-0,5$ dioptri atau dengan kata lain Raka menggunakan kacamata minus setengah ($-0,5$).

D. Susunan Lensa dengan Sumbu Utama Berimpit

Alat-alat optik seperti mikroskop dan teropong terdiri dari susunan beberapa buah lensa berjarak tertentu dengan sumbu utama berimpit. Pembentukan bayangan pada susunan lensa seperti ini dapat dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

Bayangan yang dibentuk oleh lensa pertama dianggap sebagai benda untuk lensa kedua, bayangan lensa kedua dianggap sebagai benda untuk lensa ketiga, demikian seterusnya.

Jika bayangan dari lensa yang satu terletak di depan lensa berikutnya, maka bayangan ini dianggap sebagai benda nyata bagi lensa kedua tersebut dan jarak benda s bertanda positif. Akan tetapi jika bayangan dan lensa pertama tadi terletak di belakang lensa berikutnya, maka bayangan ini dianggap sebagai benda maya bagi lensa kedua tersebut dan jarak benda s sekarang bertanda negatif. Untuk dua buah lensa berlaku hubungan

$$d = s_1' + s_2$$

dengan:

d = jarak kedua lensa,

s_1' = jarak bayangan lensa pertama,

s_2 = jarak benda lensa kedua

E. Penyimpangan Pembentukan Bayangan pada Lensa

Bayangan-bayangan yang terjadi melalui lensa tunggal tidak selalu identik dengan bendanya, melainkan pada umumnya mengalami penyimpangan-penyimpangan atau kesalahan-kesalahan pembentukan bayangan. Berikut ini adalah uraian tentang bentuk-bentuk penyimpangan tersebut.

1. Aberasi Sferis

Aberasi sferis adalah penyimpangan pembentukan bayangan dari suatu benda yang terletak di sumbu utama karena bentuk lengkung dari lensa. Berkas sejajar sumbu utama lensa tidak semua dibiaskan melalui titik fokus. Hanya sinar-sinar yang paraksial (dekat dengan pusat lensa) saja yang dibiaskan melalui titik fokus. Sedangkan sinar-sinar sejajar yang semakin jauh dari sumbu utama akan dibiaskan melalui titik yang semakin dekat pada lensa.

Penyimpangan pembentukan bayangan seperti aberasi sferis ini dapat diatasi dengan memakai lensa gabungan aplanatis atau diafragma. Lensa gabungan aplanatis terdiri dari 2 buah lensa yang berlainan. Diafragma berfungsi untuk memblokir sinar-sinar tepi sehingga sinar yang melalui lensa hanya sinar-sinar paraksial. Benda titik yang tidak terletak di sumbu utama lensa akibat aberasi sferis ini akan membentuk bayangan seperti bintang berekor (komet) atau koma. Karenanya, penyimpangan ini disebut gejala koma.

2. Astigmatisme

Astigmatisme adalah kelainan pembentukan bayangan dari suatu benda titik yang jauh dari sumbu utama. Hal ini karena garis-garis horizontal dan vertikal dikumpulkan pada jarak yang berbeda.

3. Distorsi

Distorsi adalah suatu aberasi yang disebabkan oleh perbesaran bayangan yang tidak merata. Perbesaran pada bagian-bagian yang paling luar tidak sama. Benda yang berupa garis-garis sejajar akan melengkung.

4. Lengkungan Bidang Bayangan

Lengkungan bidang bayangan terjadi karena titik potong sinar-sinar sejajar sumbu utama lebih jauh dibandingkan terhadap titik potong sinar-sinar sejajar yang tidak sejajar dengan sumbu utama. Akibatnya, terjadilah perbedaan terang antara bayangan bagian pinggir dengan bagian tengah. Bidang bayangan tampak melengkung, tidak terletak pada satu bidang datar.

5. Aberasi Kromatis

Sebagaimana telah kita ketahui, cahaya matahari terdiri dari bermacam-macam warna yang disebut polikromatis. Setiap warna mempunyai panjang gelombang sendiri-sendiri sehingga panjang gelombangnya pun berbeda-beda. Inilah yang menyebabkan bahwa berkas sinar polikromatis setelah dibiaskan lensa terurai menjadi beberapa warna dan setiap warna mempunyai fokus sendiri-sendiri. Gejala inilah yang disebut aberasi kromatis. Gejala ini dapat dihilangkan dengan lensa akromatis, yaitu lensa gabungan yang terdiri dari 2 buah lensa yang jenis kacanya berlainan, misalnya krong dan flinta. Syarat lensa akromatis adalah:

$$(f_{tot})_{merah} = (f_{tot})_{ungu} = \frac{1}{(f_{tot})_{merah}} = \frac{1}{(f_{tot})_{ungu}}$$
$$\frac{1}{f_{m1}} + \frac{1}{f_{m2}} = \frac{1}{f_{u1}} + \frac{1}{f_{u2}}$$

dengan:

f_{m1} = fokus lensa I untuk cahaya merah,

f_{m2} = fokus lensa 2 untuk cahaya merah,

f_{u1} = fokus lensa 1 untuk cahaya ungu,

f_{u2} = fokus lensa 2 untuk cahaya ungu.

RANGKUMAN

1. Hukum pemantulan:

a. Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal berpotongan pada satu titik dan terletak pada satu bidang datar.

b. Sudut datang (i) sama dengan sudut pantul (r).

Secara sistematis dituliskan bahwa: $i = r$

2. Jarak fokus cermin

$$f = \frac{R}{2}$$

3. Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung

a. sinar datang yang paralel dengan sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus,

b. sinar datang yang melalui titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama,

c. sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan cermin dipantulkan melalui titik itu juga.

4. Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung

a. sinar datang yang paralel dengan sumbu utama dipantulkan seolah-olah berasal dari titik fokus,

b. sinar datang yang menuju titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama,

c. sinar datang yang menuju pusat kelengkungan dipantulkan melalui lintasan yang sama.

5. Indeks bias mutlak

$$n = \frac{c}{v}$$

6. hukum Snellius

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

7. Sudut Deviasi Minimum

$$D_{\min} = (i_1 + r_1) - \beta$$
$$i_1 = \frac{D_{\min} + \beta}{2} \text{ dan } r_1 = \frac{\beta}{2}$$

8. Daya Lensa

$$P = \frac{1}{f}$$

LATIHAN

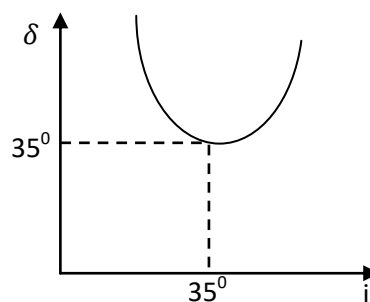
1. Sebuah benda yang tingginya 5 cm terletak 9 cm di depan lensa cembung. Jika jarak fokus lensa 6 cm, tentukanlah:
 - a. jarak bayangannya
 - b. perbesarannya
 - c. tinggi bayangannya
2. Pak Agus adalah seorang guru yang menggunakan kacamata + $\frac{3}{4}$ dioptri. Hitung titik api dari kacamata tersebut!
3. Dua buah lensa A dan B masing-masing kekuatannya 10 D dan $\frac{25}{3}$ D dipasang sejajar dengan sumbu utama berimpit. Sebuah benda dengan tinggi 2 cm berada 15 cm di depan lensa A. Sinar dari benda menuju lensa A kemudian ke lensa B. Bila jarak kedua lensa 38 cm, maka tentukanlah:
 - a. Jarak bayangan
 - b. Tinggi bayangan akhir yang terbentuk

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Cahaya merupakan gelombang transversal, hal ini dapat diketahui karena cahaya dapat.....
 - a. Dipantulkan
 - b. Diinterferensikan
 - c. Dipolarisasikan
 - d. Dibiaskan
 - e. Direfleksikan
2. Cahaya polikromatik yang mengenai prisma akan mengalami peristiwa....
 - a. Refleksi
 - b. Difraksi
 - c. Dispersi
 - d. Interferensi
 - e. Polarisasi
3. Seberkas cahaya akan mengalami polarisasi jika datang dari udara ke kaca yang indeks biasnya 1,33. Agar polarisasi tampak jelas, jika sinar datang dengan sudut datang....
 - a. 20°
 - b. 30°
 - c. 53°
 - d. 75°
 - e. 90°

4.



Grafik hubungan antara sudut deviasi (δ) dengan sudut datang (i) pada percobaan cahaya dengan prisma adalah seperti pada gambar di samping. Prisma tersebut memiliki sudut pembias sebesar

- a. 5^0
 - b. 10^0
 - c. 15^0
 - d. 35^0
 - e. 60^0
5. Jika indeks bias kaca 1,5 akan terjadi peristiwa polarisasi jika pada kaca itu didatangkan seberkas cahaya dengan sudut datang.....
- a. 15^0
 - b. 30^0
 - c. 45^0
 - d. 56^0
 - e. 90^0
6. Prisma A mempunyai sudut pembias 5^0 mengalami deviasi minimum yang sama dengan prisma B yang sudut pembiasnya 8^0 . Jika indeks bias prisma A = maka indeks bias prisma B adalah
- a. 1,2
 - b. 1,4
 - c. 1,5
 - d. 1,6
 - e. 1,8

B. Jawablah dengan benar!

1. Lukiskan ketiga sinar istimewa pada cermin cembung!
2. Sebuah prisma mempunyai sudut pembias 60^0 dan indeks biasnya 1,5. Seberkas sinar datang pada salah satu sisi pembias prisma dengan sudut datang 60^0 , tentukan:
 - a. sudut deviasi yang terjadi pada prisma,
 - b. sudut deviasi minimum yang terjadi pada prisma tersebut, dan

- c. sudut deviasi minimum yang terjadi jika prisma di dalam air yang indeks biasnya .
- 3. Sebuah benda yang tingginya 20 cm diletakkan 10 cm didepan sebuah cermin cekung yang memiliki fokus 15 cm. Hitunglah:
 - a. letak bayangan
 - b. perbesaran bayangan
 - c. tinggi bayangan
- 4. Hitung laju cahaya dalam berlian.
- 5. Raka seorang pelajar SMP menggunakan kacamata dari lensa yang mempunyai titik api 200 cm. Hitung daya lensa kacamata tersebut!



Sumber: Jendela IPTEK

KOMPOTENSI DASAR

Menganalisis percobaan listrik dinamis dalam suatu rangkaian serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari

INDIKATOR

1. Mendeskripsikan hukum ohm
2. Mendeskripsikan hambatan jenis listrik
3. Menformulasikan rangkaian hambatan seri dan paralel
4. Mendeskripsikan hukum kirchoff 1

TUJUAN PEMBELAJARAN

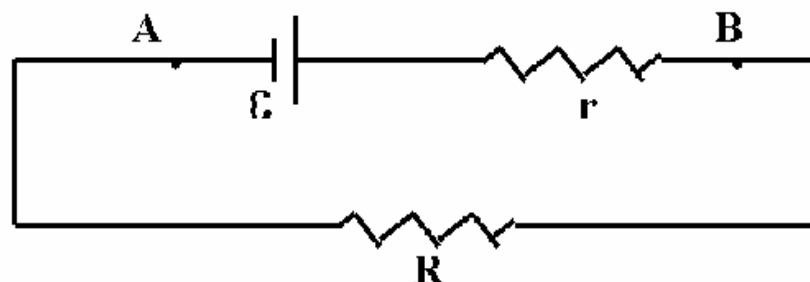
Mahasiswa dapat:

1. Menghitung hambatan listrik, kuat arus, dan beda potensial
2. Menyelidiki hubungan antara hambatan, kuat arus dan beda potensial
3. Menentukan hambatan pengganti seri dan paralel
4. Menghitung hambatan jenis listrik pada suatu bahan
5. Menggambarkan rangkaian hambatan seri dan paralel
6. Menghitung jumlah arus yang masuk dan jumlah arus yang keluar

URAIAN MATERI

A. Gaya Gerak Listrik (GGL)

Tinjau suatu rangkaian tertutup



Gambar 8.1 Rangkaian tertutup

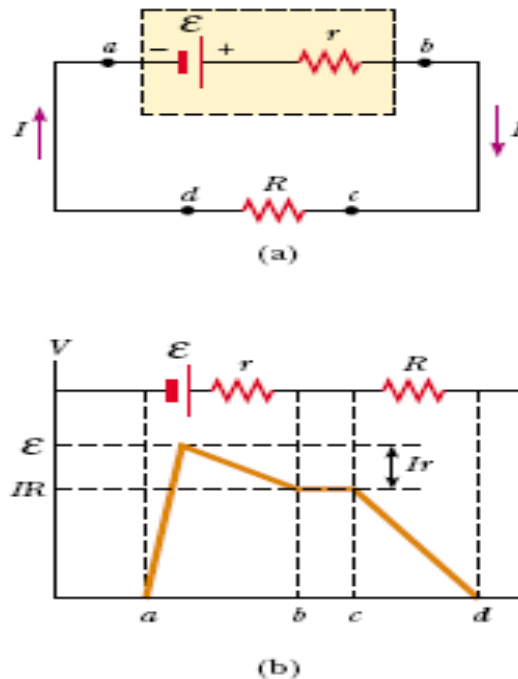
Sumber GGL mempunyai hambatan dalam r , sehingga beda potensial/tegangan antara kutub A dan B dapat dituliskan sebagai:

$$V_{AB} = \varepsilon - ir = iR$$

$$\varepsilon > V_{AB}$$

Oleh karenanya $\varepsilon = V_{AB}$ untuk muatan-muatan melingkari rangkaian.
Jika $r = 0$, ggl menjadi ggl ideal.

Bayangkan kita bergerak melewati baterai dari a ke b dan mengukur potensial listrik pada beberapa titik. Seiring kita bergerak dari terminal positif ke terminal negatif, potensial bertambah sejumlah \mathcal{E} . Tetapi begitu kita melewati hambatan dalam r , potensial berkurang sejumlah Ir , dimana I adalah arus dalam rangkaian.



Gambar 8.2 Gaya gerak listrik

$$V_{AB} = \mathcal{E} - Ir = IR$$

$$\mathcal{E} = IR + Ir$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

B. Hukum Ohm

Hambatan atau disebut juga tahanan atau resistansi adalah sesuatu yang sering dibicarakan dalam bidang fisika elektronika. Apa sebenarnya fungsi dari hambatan tersebut? Dari data pengamatan kalian menunjukkan ada hubungan yang menarik antara kuat arus dan hambatan. Jika nilai hambatan diperbesar maka kuat arus akan menurun untuk beda potensial yang tetap, sehingga bisa ditulis,

$$I \propto \frac{1}{R}$$

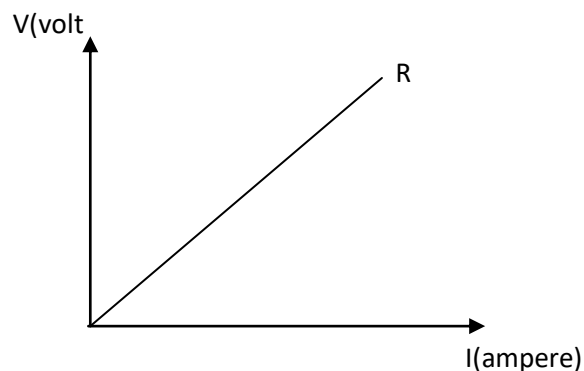
Persamaan di atas menunjukkan bahwa hambatan berbanding terbalik dengan kuat arus.

$$I \propto V$$

Penggabungan ke dua persamaan dapat ditulis,

$$I = \frac{V}{R}, \quad V = IR$$

Persamaan di atas disebut hukum Ohm, dengan R adalah hambatan yang dinyatakan dalam satuan ohm ditulis dalam simbol Ω (omega). Berdasarkan hukum Ohm, 1 ohm didefinisikan sebagai hambatan yang digunakan dalam suatu rangkaian yang dilewatikan arus sebesar 1 ampere dengan beda potensial 1 volt. Oleh karena itu, kita dapat mendefinisikan pengertian hambatan yaitu perbandingan antara beda potensial dan kuat arus.



Gambar 8.3 Grafik V terhadap I

Definisi satu ampere adalah satu coulomb muatan yang bergerak melalui sebuah titik dalam satu sekon. Arus listrik dapat terjadi apabila di dalam sebuah rangkaian terdapat beda potensial. Hubungan antara kuat arus listrik dan beda potensial listrik secara grafik dapat dilihat pada Gambar 8.1. Hubungan linier antara kuat arus dan beda potensial menunjukkan makin besar beda potensial

makin besar kuat arusnya. Hubungan kesebandingan antara beda potensial dan kuat arus perlu adanya faktor pembanding yang disebut hambatan.

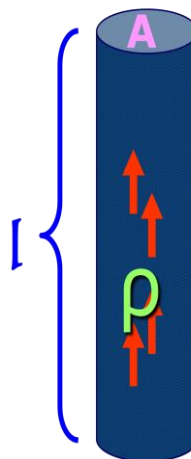
Karena beda potensial $V = IR$, maka besar daya dapat ditulis:

$$P = IV = I^2R$$

Sedangkan besar kalor dalam waktu t :

$$Q = P/t = I^2R/t$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai hambatan suatu penghantar:



Gambar 8.4 Hubungan hambatan dan panjang kawat

- Panjang kawat penghantar (l)

Semakin panjang kawat semakin besar pula nilai hambatannya.

- Luas penampang kawat penghantar (A)

Semakin besar penampang penghantar, semakin kecil nilai hambatannya.

- Hambat jenis kawat penghantar (ρ)

Semakin besar hambatan jenis penghantar, semakin besar nilai hambatannya.

Secara matematis ditulis:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

Contoh Soal

Sebuah balok Carbon siku-siku mempunyai dimensi 1,0 cm x 1,0 cm x 5,0 cm.

- Berapa hambatan yang diukur antara dua ujung yang berbentuk segiempat sama sisi?
- Berapa hambatan yang diukur diantara dua muka bertentangan yang berbentuk segiempat siku-siku? Resistivitas Carbon pada 20°C adalah $3,5 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$.

Penyelesaian.

Ditanyakan

- Luas ujung yang berbentuk segiempat sama sisi $A = 1,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm} = 10^{-4} \text{ m}^2$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{(3,5 \times 10^{-5} \Omega\text{m})(0,5 \text{ m})}{10^{-4} \text{ m}^2} = 0,18 \Omega$$

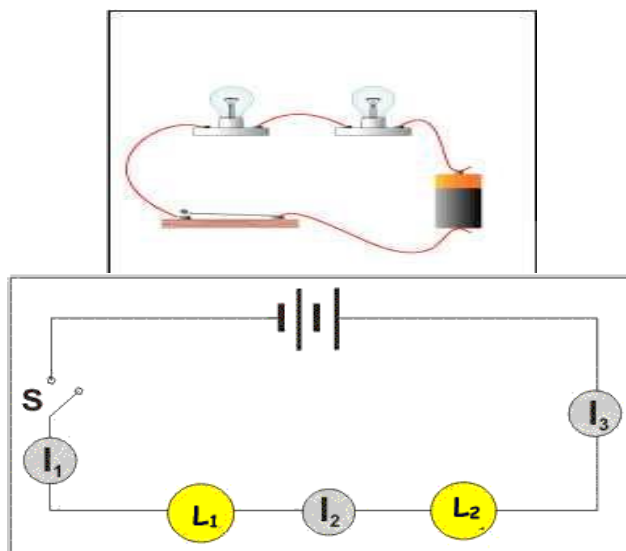
- Luas segiempat siku-siku $A = 1,0 \text{ cm} \times 5,0 \text{ cm} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{(3,5 \times 10^{-5} \Omega\text{m})(10^{-2} \text{ m})}{5 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 7 \times 10^{-5} \Omega$$

C. Rangkaian Listrik

1. Kuat arus dalam rangkaian tidak bercabang:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_{\text{total}}$$

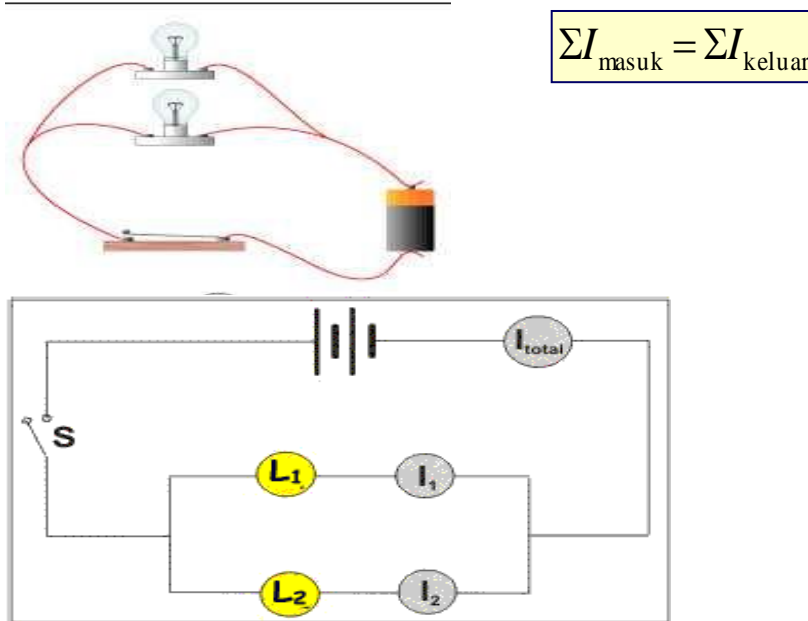


Gambar 8.5 Rangkaian listrik tidak bercabang

2. Kuat arus dalam rangkaian bercabang

Hukum I Kirchoff:

Jumlah kuat arus yang masuk pada suatu titik percabangan sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik itu.



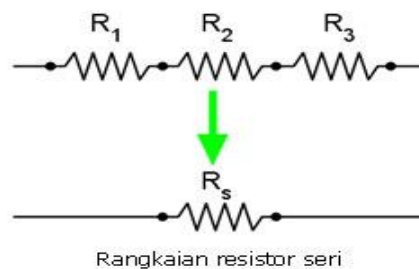
Gambar 8.6 Rangkaian listrik bercabang

Pada contoh diatas:

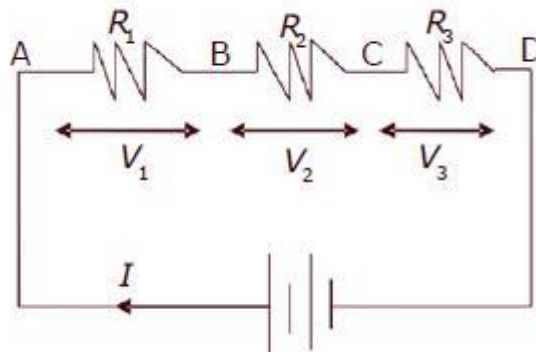
$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2$$

D. Rangkaian Resistor

1. Rangkaian Resistor Seri



Gambar 8.7 Rangkaian resistor seri



Gambar 8.8 Rangkaian resistor seri

Dari gambar di atas, kalian telah mengetahui bahwa pada rangkaian seri besarnya arus listrik yang mengalir di setiap titik besarnya sama. Apabila kuat arus yang lewat hambatan R_1 adalah I_1 , kuat arus yang lewat hambatan R_2 adalah I_2 , dan kuat arus yang lewat hambatan R_3 adalah I_3 . Sedangkan kuat arus yang keluar dari sumber I' , maka berlaku:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

Jika beda potensial di titik A dan B adalah V_1 , beda potensial di titik B dan C adalah V_2 dan beda potensial di titik C dan D adalah V_3 , maka berlaku,

$$V_1 \neq V_2 \neq V_3$$

Kedua persamaan di atas menunjukkan suatu persamaan yang berlaku untuk susunan seri. Dengan mengetahui definisi dari arus listrik adalah muatan yang bergerak per satuan waktu, sehingga arus listrik sebanding dengan muatan listrik. Oleh karena itu dapat ditulis,

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

Dengan memperhatikan persamaan tersebut, selama tidak ada penambahan atau pengurangan muatan dalam suatu rangkaian maka berlaku hukum kekekalan muatan listrik. Sehingga dapat ditulis:

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3$$

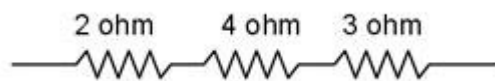
$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$R_t \times I_t = R_1 \times I_1 + R_2 \times I_2 + R_3 \times I_3$$

$$R_{total} = R_1 + R_2 + R_3$$

Contoh Soal

Hitung nilai resistor pengganti dari ketiga resistor yang dirangkai seperti di bawah ini !



Penyelesaian:

Diketahui: $R_1 = 2 \text{ ohm}$

$R_2 = 4 \text{ ohm}$

$R_3 = 3 \text{ ohm}$

Ditanyakan: $R_s = \dots\dots\dots ?$

Dijawab :

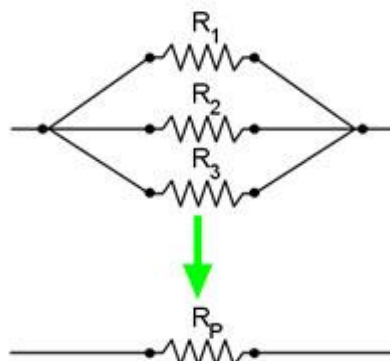
$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_s = 2 + 4 + 3$$

$$R_s = 9$$

Jadi nilai resistor pengganti adalah 9 ohm.

2. Rangkaian Resistor Paralel



Gambar 8.9 Rangkaian resistor paralel

Resistor yang disusun secara paralel selalu menghasilkan resistansi yang lebih kecil. Pada rangkaian paralel arus akan terbagi pada masing-masing resistor pada masing-masing resistor, tetapi tegangan pada ujung-ujung resistor sama besar. Pada rangkaian resistor disamping untuk R_1 , R_2 , dan R_3 disusun secara paralel, resistansi dari gabungan R_1 , R_2 , dan R_3 dapat diganti dengan satu resistor pengganti yaitu R_p . Resistor yang dirangkai secara paralel mempunyai nilai pengganti, yang besarnya dapat dirumuskan:

$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V_{total}}{R_{total}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_1}{R_3}$$

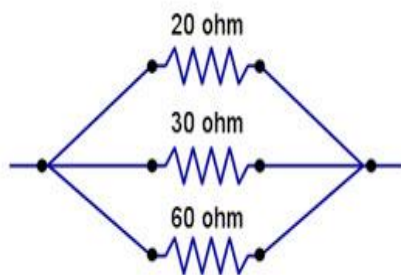
Jadi,

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

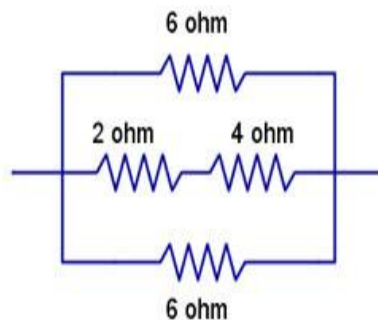
Contoh Soal

Hitung nilai resistor pengganti yang dirangkai seperti di bawah ini !

a.



b.



Penyelesaian:

a) Diketahui: $R_1 = 20 \text{ ohm}$

$$R_2 = 30 \text{ ohm}$$

$$R_3 = 60 \text{ ohm}$$

Ditanyakan: $R_p = \dots\dots\dots ?$

Dijawab:

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$$1/R_p = 1/20 + 1/30 + 1/30$$

$$1/R_p = 3/60 + 2/60 + 1/60$$

$$1/R_p = 6/60$$

$$R_p = 10 \text{ ohm}$$

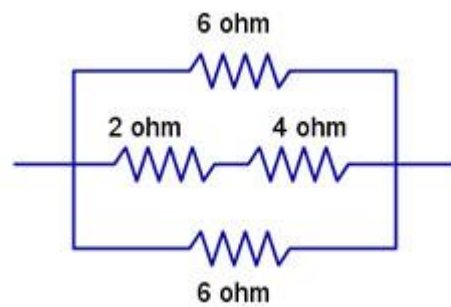
Jadi nilai resistor pengganti adalah 10 ohm.

b) Diketahui: $R_1 = 6 \text{ ohm}$

$$R_2 = 2 \text{ ohm}$$

$$R_3 = 4 \text{ ohm}$$

$$R_6 = 6 \text{ ohm}$$



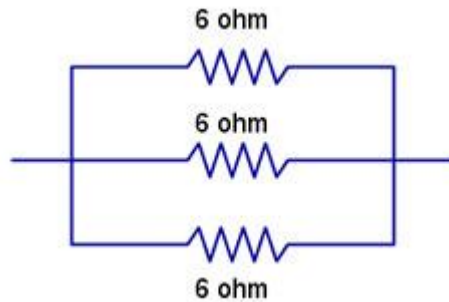
Ditanyakan: $R_p = \dots\dots\dots ?$

Dijawab: Seri antara resistor 2 ohm dan 4 ohm

$$R_s = 2 + 4$$

$$R_s = 6$$

Sehingga rangkaian dapat diganti ini :



Paralel antara 6 ohm, 6 ohm, dan 6 ohm

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$$1/R_p = 1/6 + 1/6 + 1/6$$

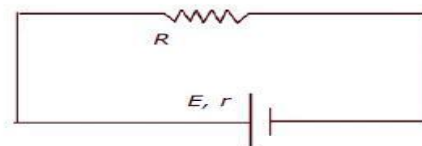
$$1/R_p = 3/6$$

$$R_p = 2 \text{ ohm}$$

Jadi nilai resistor pengganti adalah 2 ohm

E. Penerapan Hukum Ohm dan Hukum I Kirchhoff

Sumber tegangan adalah alat yang dapat menimbulkan beda potensial listrik. Sebuah sumber tegangan memiliki energi yang dapat digunakan untuk mengalirkan arus listrik disebut GGL, E . Sumber tegangan pada umumnya memiliki hambatan yang disebut hambatan dalam r . Secara umum, sebuah rangkaian listrik selalu berlaku hukum Ohm dan hukum I Kirchhoff. Misal, sebuah rangkaian listrik sederhana yang terdiri atas sebuah hambatan luar, R , sumber tegangan, E , dan hambatan dalam r , lihat pada Gambar 8.10!



Gambar 8.10 Rangkaian sederhana

Apabila hambatannya lebih dari satu, maka R ini merupakan hambatan pengganti dari beberapa hambatan tersebut. Kuat arus yang mengalir dalam rangkaian adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{E}{R + r}$$

Jika dalam suatu rangkaian terdiri atas beberapa baterai baik tersusun secara seri maupun paralel, maka Persamaan di atas dapat ditulis kembali, untuk seri,

$$I = \frac{E}{R + r_s}$$

$$I = \frac{nE}{R + nr}$$

Dengan $E_s = nE$, $r_s = nr$, dan n adalah banyaknya baterai yang digunakan untuk rangkaian seri, sedang untuk rangkaian paralel:

$$I = \frac{E_p}{R + r_p}$$

Karena $E_p = E$ dan $r_p = (r/n)$ maka persamaan di atas, dapat ditulis kembali,

$$I = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$$

RANGKUMAN

1. Arus dalam rangkaian gaya gerak listrik:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

2. Persamaan Hukum Ohm:

$$I = \frac{V}{R}$$

3. Semakin besar hambatan jenis penghantar, semakin besar nilai hambatannya.

Secara matematis ditulis:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

4. Hukum I Kirchhoff:

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

5. Arus yang mengalir pada rangkaian seri:

$$I = I_1 = I_2 = I_3$$

6. Arus yang mengalir pada rangkaian paralel:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

LATIHAN

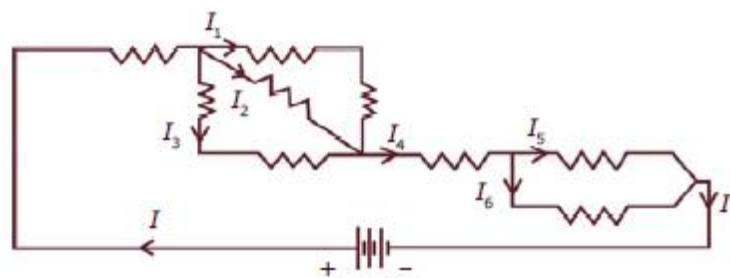
1. Apa yang terjadi pada kuat arus yang mengalir pada hambatan, jika beda potensial hambatan itu diperbesar?
2. Bagaimana pengaruh panjang kawat penghantar dan luas penampang kawat penghantar terhadap hambatan kawat penghantar tersebut?
3. Sebuah pemanas listrik dihubungkan pada beda potensial 220 V. Ternyata kuat arus yang mengalir pada kawat pemanas tersebut 5 A. Berapakah hambatan kawat pemanas itu?
4. Sepotong kawat penghantar berhambatan 60 ohm dihubungkan dengan baterai 3 V. Berapakah kuat arus yang timbul pada kawat tersebut?
5. Berapakah kuat arus yang mengalir pada sebuah penghantar, jika hambatan penghantar itu 15 ohm dan beda potensialnya 12 volt?

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Agar hambatan pada kawat penghantar bertambah besar, yang harus dilakukan adalah
 - a. memotong kawat penghantar
 - b. mengganti dengan kawat yang jenisnya sama, namun diameternya lebih besar
 - c. memberi beda potensial yang besar pada kawat tersebut
 - d. mengganti dengan kawat yang sama, namun lebih panjang
 - e. memberi beda potensial yang kecil pada kawat tersebut
2. Pernyataan berikut yang *tidak* tepat adalah
 - a. kuat arus listrik berbanding terbalik dengan waktu
 - b. muatan listrik berbanding terbalik dengan waktu
 - c. kuat arus listrik berbanding lurus dengan muatan
 - d. kuat arus berbanding terbalik dengan muatan
 - e. muatan listrik berbanding lurus dengan kuat arus dan waktu
3. Tiga puluh batu baterai, masing-masing 1,5 V, disusun paralel akan menghasilkan GGL total sebesar
 - a. 1,5 volt
 - b. 3,0 volt
 - c. 10 volt
 - d. 15 volt
 - e. 20 volt
4. Dalam sebuah penghantar yang mempunyai hambatan 400 ohm, mengalir arus listrik sebesar 250 miliampere. Besar beda potensial pada kedua ujungnya adalah
 - a. 100 V
 - b. 200 V
 - c. 400 V

- d. 800 V
- e. 100.000 V
5. Sebuah kawat penghantar memiliki hambatan 4 ohm. Apabila panjang kawat 1 meter dan luas penampang $0,35 \text{ mm}^2$, maka hambatan jenis kawat tersebut adalah . . . (dalam Ωm)
- a. $0,10 \times 10^{-6}$
- b. $0,20 \times 10^{-6}$
- c. $0,35 \times 10^{-6}$
- d. $1,40 \times 10^{-6}$
- e. $1,55 \times 10^{-6}$
6. Sebuah kawat penghantar memiliki luas penampang $0,25 \text{ mm}^2$. Apabila hambatan dan hambatan jenisnya masing-masing adalah 10 ohm dan $0,5 \times 10^{-6} \Omega\text{m}$, maka panjang kawat tersebut adalah. . .
- a. 5 mm
- b. 10 mm
- c. 5 m
- d. 10 m
- e. 10 cm
- 7.

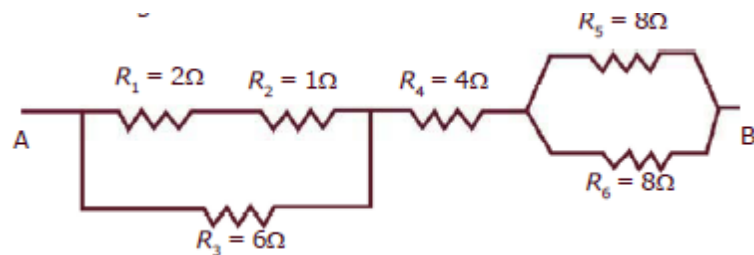


Perhatikan gambar di atas!

Jika besar arus $I = 8 \text{ A}$, $I_1 = I_2 = 2 \text{ A}$, $I_5 = 3 \text{ A}$, maka besar arus I_3 dan I_6 adalah . . .

- a. 2 A, 3 A
- b. 3 A, 2 A
- c. 5 A, 4 A
- d. 4 A, 5 A

- e. 5 A, 6 A
8. Besar arus listrik di setiap titik pada rangkaian seri adalah . . .
- Sama
 - tidak sama
 - belum tentu sama
 - berubah-ubah
 - semakin besar
- 9.



Perhatikan gambar di atas!

Maka besar hambatan pengganti rangkaian adalah . . .

- 4 Ω
 - 6 Ω
 - 8 Ω
 - 10 Ω
 - 12 Ω
10. Kuat arus yang paling besar dari kombinasi di bawah ini adalah
- tegangan 3 V dan hambatan 15 W
 - tegangan 4,5 V dan hambatan 15 W
 - tegangan 6 V dan hambatan 40 W
 - tegangan 4,5 V dan hambatan 30 W
 - tegangan 1,5 V dan hambatan 30 W

B. Jawablah dengan benar!

- Bagaimana hubungan antara hambatan, beda potensial, dan kuat arus dalam sebuah rangkaian?

2. Sebuah lampu pijar bertuliskan 120 V/150 W, artinya lampu tersebut menggunakan daya listrik sebesar 150 W bila dipasang pada beda potensial 120 V. Filamen kawat tersebut dari bahan dengan resistivitas $6 \times 10^{-5} \Omega \text{m}$ dengan luas penampang $0,1 \text{ mm}^2$. Hitunglah:
 - a. Panjang filamen
 - b. Arus yang melalui lampu jika dipasang pada tegangan 120 V
 - c. Arus dan daya pada lampu jika dipasang pada tegangan 60 V.
3. Sebuah baterai $E = 12 \text{ V}$ dengan hambatan dalam $0,025 \Omega$. Kedua ujungnya dihubungkan dengan hambatan beban sebesar 4Ω .
 - a. Hitung arus dalam rangkaian dan beda potensial antara kedua ujung baterai.
 - b. Hitung daya yang terpakai dalam hambatan beban dan pada hambatan dalam baterai serta daya yang dihasilkan baterai.
4. Sebuah lampu pijar dihubungkan dengan beda potensial 12 V. Ternyata timbul arus sebesar 0,3 A. Berapakah hambatan filamen lampu pijar itu?
5. Hitung nilai resistor pengganti dari ketiga resistor yang dirangkai seperti di bawah ini !





Sumber: www.auto.tom.com

KOMPOTENSI DASAR

Mendeskripsikan konsep getaran dan gelombang serta parameter-parameternya.

INDIKATOR

1. Mendeskripsikan konsep getaran
2. Menganalisis getaran pada bandul
3. Mendeskripsikan konsep gelombang

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Menjelaskan pengertian getaran.
2. Menjelaskan hubungan antara periode dan frekuensi suatu getaran.
3. Mengamati getaran pada bandul sederhana
4. Mengamati getaran pada bandul mekanis

5. Menghitung besarnya energi pada getaran
6. Menjelaskan pengertian gelombang.
7. Menghitung panjang gelombang.

URAIAN MATERI

A. Getaran

Getaran adalah salah satu bentuk gerak yang khusus. Kita hanya akan meninjau getaran atau osilasi yang sederhana. Untuk itu kita akan meninjau energi potensial yang dimiliki sebuah partikel bermassayang berada dalam keadaan kesetimbangan stabil di sekitar titik 0. Gaya yang terkait dengan energi potensial ini dapat dicari dari:

$$F = -kx$$

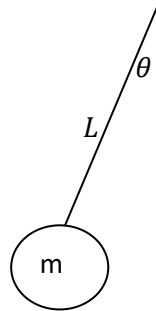
Untuk membahas gerak getaran, kita perlu mendefinisikan beberapa istilah. Jarak x massa dari titik setimbang pada setiap saat disebut simpangan. Simpangan maksimum-jarak terbesar dari titik setimbang-disebut amplitudo, A . satu siklus mengacu pada gerak bolak balik yang lengkap dari satu titik awal, kemudian kembali ke titik yang sama, katakanlah dari $x = A$ ke $x = -A$ kembali ke $x = A$. periode, T didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus lengkap. Akhirnya, frekuensi, f , adalah jumlah siklus lengkap per detik. Frekuensi biasanya dinyatakan dalam Hertz (Hz), dimana $1 \text{ Hz} = 1 \text{ siklus per detik (s}^{-1}\text{)}$. Mudah untuk dilihat, dari definisi-defenisi tersebut, bahwa frekuensi dengan periode berbanding terbalik:

$$f = \frac{1}{T} \text{ dan } T = \frac{1}{f}$$

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 9.1 Bandul

Komponen gaya yang dialami bandul bermassa m yang sejajar dengan arah geraknya adalah:

$$F = -mg \sin \theta$$

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

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

$$F = \frac{mg}{L} x$$

Dengan demikian, untuk simpangan yang kecil, gerak tersebut pada intinya merupakan harmonis sederhana, karena persamaan ini sesuai dengan Hukum Hooke, $F = -kx$, dimana konstanta gaya efektif adalah $k = mg/L$. Periode bandul sederhana dapat dicari, dimana untuk k kita ganti dengan mg/L :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{mg/L}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Dan frekuensi adalah:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

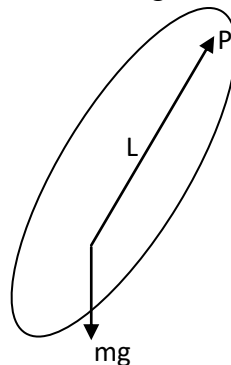
Yang merupakan persamaan getaran selaras sederhana dengan frekuensi

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

2. Bandul Mekanis

Sebuah benda digantung pada titik P dan memiliki momen inersia terhadap sumbu P sebesar I_P . Benda ini disimpangkan dari titik seimbangnya dan kemudian bergetar. Torka yang dialami benda tadi, akibat gaya gravitasi yang bekerja pada titik pusatnya dapat dituliskan sebagai:

$$\tau = I_P \alpha = -MgL \sin \theta$$



Gambar 9.2 Bandul Mekanis

Penyelesaian persamaan ini adalah suatu getaran selaras sederhana dengan frekuensi sudut

$$\omega = \sqrt{\frac{mgL}{I_P}}$$

3. Getaran Yang Dipaksakan: Resonansi

Ketika sistem yang mulai bergerak, sistem tersebut bergerak dengan frekuensi alaminya. Bagaimanapun, sistem bias memiliki gaya eksternal yang bekerja padanya yang mempunyai frekuensi sendiri, berarti kita mendapatkan getaran yang dipaksakan. Sebagai contoh, kita bias menarik massa pada pegas bolak-balik dengan frekuensi f . Massa kemudian bergetar pada frekuensi f dari gaya eksternal, bahkan jika frekuensi ini berbeda dari frekuensi alami pegas, yang sekarang akan kita beri nama f_0 dimana:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Untuk getaran yang dipaksakan, amplitude getaran ternyata bergantung pada perbedaan antara f dan f_0 , dan merupakan maksimum ketika frekuensi gaya eksternal sama dengan frekuensi alami sistem-yaitu, ketika $f = f_0$. Efek ini disebut resonansi. Frekuensi penggetar alami f_0 dari sebuah sistem disebut frekuensi resonansinya.

4. Energi Getaran

Ketika berhadapan dengan gaya yang tidak konstan, seperti di sini dengangerak harmonis sederhana, seringkali lebih memudahkan dan berguna untuk menggunakan pendekatan energi. Untuk meregang atau menekan pegas, harus melakukan kerja. Dengan demikian energi potensial sebuah sistem pegas diberikan oleh

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2$$

sedangkan energi kinetiknya diberikan oleh:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

Berarti karena energi mekanik total E dari sistem massa-pegas merupakan jumlah energi kinetik dan potensial, kita dapatkan:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 \quad *$$

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

$$E = \frac{1}{2}m0^2 + \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}kA^2 \quad **$$

Dengan demikian energi mekanik total dari osilator harmonik sederhana sebanding dengan kuadrat amplitudo. Pada titik setimbang, $x = 0$, semua energi merupakan energi kinetik:

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

Dimana v_0 menyatakan kecepatan maksimum selama gerak (yang terjadi pada $x = 0$). Pada titik-titik pertengahan, energi sebagian kinetik dan sebagian potensial. Dengan menggabungkan persamaan ** dan *, kita dapat menemukan persamaan yang berguna untuk kecepatan sebagai fungsi posisi x :

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

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 Soal

Ketika sebuah keluarga yang berjumlah empat orang dengan massa total 200 kg menaiki mobil 1200 kg, dan menabrak sebuah pembatas jalan. Berapakah periode dan frekuensi mobil setelah menabrak? Anggap peredam kejutnya jelek, sehingga mobil berosilasi ke atas ke bawah.

Penyelesaian.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 6,28\sqrt{\frac{1400\text{ kg}}{6,5 \cdot 10^4\text{ N/m}}} = 0,92\text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,92\text{ s}} = 1,09\text{ Hz}$$

B. Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat. Jadi di setiap titik yang dilalui gelombang terjadi getaran, dan getaran tersebut berubah fasenya sehingga tampak sebagai getaran yang merambat. Terkait dengan arah getar dan arah rambatnya, gelombang dibagi menjadi dua kelompok, gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal arah rambatnya tegak lurus dengan arah getarannya, sedangkan gelombang longitudinal arah rambatnya searah dengan arah getarannya. Ini adalah persamaan sinusoidal dengan jarak dari satu fase ke fase berikutnya diberikan oleh:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

atau berarti

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

Bilangan k ini menunjukkan jumlah gelombang atau bilangan gelombang per 2π satuan panjang. Dan λ adalah panjang gelombang. Ini adalah persamaan getaran sinusoidal di suatu titik. Periode getarnya diberikan oleh:

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

atau berarti

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

Dengan f adalah frekuensi gelombang.

Untuk suatu fase tertentu dari gelombang, pola gelombang tersebut akan tetap selama nilai $kx - \omega t$ tetap. Sehingga dengan berjalannya waktu, nilai kx juga harus bertambah. Ini berarti pola gelombang akan merambat ke kanan dengan kecepatan yang diberikan oleh

$$v = \frac{\omega}{k}$$

Sebuah puncak gelombang menempuh jarak satu panjang gelombang, λ , dalam satu periode, T . Dengan demikian kecepatan gelombang sama dengan:

$$v = \lambda f$$

Kecepatan gelombang bergantung pada sifat medium dimana ia merambat. Kecepatan gelombang pada tali yang terentang, misalnya, bergantung pada tegangan tali F_T , dan pada massa tali per satuan panjang m/L . Untuk gelombang dengan amplitudo kecil, hubungan tersebut adalah:

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m/L}}$$

Contoh Soal

Gelombang yang panjang gelombangnya 0,30 m merambat sepanjang kawat yang panjangnya 300 m dengan massa total 15 kg. Jika kawat mengalami tegangan 1000 N, berapa kecepatan dan frekuensi gelombang ini?

Penyelesaian.

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m/L}} = \sqrt{\frac{1000 \text{ N}}{15 \text{ kg}/300 \text{ m}}} = 140 \text{ m/s}$$

Maka frekuensi adalah:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{140 \text{ m/s}}{0,30 \text{ m}} = 470 \text{ Hz}$$

RANGKUMAN

1. Gaya yang terkait dengan energi potensial ini dapat dicari dari:

$$F = -kx$$

2. Frekuensi dengan periode berbanding terbalik:

$$f = \frac{1}{T} \text{ dan } T = \frac{1}{f}$$

3. Periode bandul sederhana:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{mg/L}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

4. Frekuensi bandul sederhana:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

5. Gelombang adalah getaran yang merambat.
6. Jarak dari satu fase ke fase berikutnya diberikan oleh:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k}$$

7. Kecepatan untuk gelombang dengan amplitudo kecil:

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{m/L}}$$

LATIHAN

1. Sebuah ayunan A menimbulkan frekuensi 4 kali frekuensi yang ditimbulkan oleh ayunan B. Jika panjang tali ayunan B adalah 1 meter, berapa panjang tali pada ayunan A?
2. Sebuah bandul sederhana dengan panjang tali l dan massa beban m kg digunakan untuk mengukur gravitasi bumi. Ketika bandul dibawa ke suatu planet, ternyata berat beban 4 kali beratnya ketika di bumi. Jika frekuensi bandul di bumi 50 Hz, hitunglah frekuensi bandul ketika digunakan di planet tersebut!
3. Suatu benda melakukan gerak harmonik sederhana dengan amplitudo 10 cm. Jika gerak dimulai dari titik kesetimbangan, hitunglah:
 - a. percepatan saat $E_k = E_p$ pertama kali. Pada saat itu geraknya ke bawah dan simpangan berada di atas titik kesetimbangan.
 - b. kecepatan saat $E_k = E_p$ pertama kali. Pada saat itu geraknya ke atas dan simpangan berada di bawah titik kesetimbangan.Diketahui bahwa waktu untuk mencapai keadaan di atas adalah $1/16$ sekon.
4. Suatu benda melakukan gerak harmonik sederhana. Pada saat simpangannya 10 cm di atas titik kesetimbangan, percepatannya $1.000 \pi^2 \text{ cm/s}^2$ dengan arah percepatan menuju titik kesetimbangan dan arah geraknya ke bawah. Hitunglah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan itu jika saat itu kelajuannya $\pi \text{ cm/s}$!
5. Benda yang bermassa 100 gram bergetar harmonik vertikal dengan amplitudo 5 cm dan frekuensi 10 Hz. Pada suatu ketika fasenya . Jika percepatannya $100\pi^2 \text{ cm/s}^2$ dengan gerak dimulai dari titik kesetimbangan, tentukanlah:
 - a. simpangan saat itu,
 - b. gaya yang bekerja pada saat itu
 - c. energi potensial pada saat itu,
 - d. kelajuan pada saat itu,
 - e. energi kinetik pada saat itu.

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Pada gerak harmonik sederhana selalu terdapat perbandingan yang tetap antara simpangan dengan . . .
 - a. Kecepatan
 - b. Periode
 - c. Percepatan
 - d. Massa
 - e. Frekuensi
2. Dua buah titik melakukan gerak harmonik sederhana pada suatu garis lurus. Kedua titik tersebut berasal dari titik kesetimbangan dengan arah yang sama. Jika periode masing-masing $1/10$ s dan $1/12$ s maka beda fase kedua titik setelah bergerak selama $1/3$ s adalah. . .
 - a. $1/7$
 - b. $1/6$
 - c. $1/3$
 - d. $1/2$
 - e. $2/3$
3. Sebuah gerak harmonik sederhana mempunyai persamaan $y = 0,8 \sin(10\pi t)$. Jika y dalam cm dan t dalam sekon maka amplitudo dan frekuensi getaran harmonik adalah . . .
 - a. 8 cm dan 2 Hz
 - b. 4 cm dan 2 Hz
 - c. 1 cm dan 4 Hz
 - d. 0,8 cm dan 5 Hz
 - e. 0,4 cm dan 10 Hz
4. Apabila E_k menyatakan energi kinetik, E_p menyatakan energi potensial, dan E_m menyatakan energi mekanik suatu getaran harmonik maka pada saat simpangan getaran maksimum . . .
 - a. $E_k = E_m$ dan $E_p = 0$

- b. $E_k = 0$ dan percepatannya nol
 - c. $E_k = E_p = E_m$
 - d. $E_k = E_p$
 - e. $E_k = 0, E_p = E_m$
5. Seutas tali bergetar menurut persamaan $y = 10 \sin 628 t$ dengan t adalah waktu. Frekuensi getaran tali adalah . . .
- a. 10 Hz
 - b. 50 Hz
 - c. 100 Hz
 - d. 200 Hz
 - e. 400 Hz
6. Sebuah benda yang massanya 0,005 kg bergerak harmonik sederhana dengan periode 0,04 sekon dan amplitudonya 0,01 m. Percepatan maksimum benda sama dengan . . .
- a. 123 m/s^2
 - b. 247 m/s^2
 - c. 494 m/s^2
 - d. 988 m/s^2
 - e. 1.976 m/s^2
7. Sebuah titik bergetar harmonik dengan waktu getar 1,20 sekon dan amplitudo 3,6 cm. Pada saat $t = 0$ sekon, titik itu melewati titik keseimbangannya ke arah atas. Besar simpangan pada saat $t = 0,1$ sekon dan $t = 1,8$ sekon adalah . . .
- a. 1,8 cm dan 0 cm
 - b. 0 cm dan 1,8 cm
 - c. 1 cm dan 0,5 cm
 - d. 0,5 cm dan 1 cm
 - e. 1,5 cm dan 1 cm

B. Jawablah dengan benar!

1. Sebuah pegas meregang 0,150 m ketika massa 0,300 kg digantungkan padanya. Kemudian diregangkan 0,100 m dari titik setimbang ini, dan dilepaskan. Tentukan:
 - a. Konstanta pegas
 - b. Amplitude osilasi
 - c. Kecepatan maksimum
 - d. Percepatan maksimum
2. Untuk osilator harmonis sederhana dari soal nomor 1, tentukan:
 - a. Energi total
 - b. Energi kinetik dan potensial pada setengah amplitudo ($x = A/2$)



Perhatikan gambar di atas. Seseorang sedang memasak air dengan menggunakan kompor listrik. Kompor listrik itu mengubah energi listrik menjadi panas. Energi panas inilah yang dinamakan kalor. Apakah yang akan terjadi jika air itu terus dipanaskan? Bagaimanakah jika yang dipanaskan mulai dari air yang masih pada (es)? Bagaimanakah pengaruh kalor pada zat itu (air dari padat hingga berikutnya)? Bagaimanakah hubungan energi listriknya dengan kalor yang dihasilkan? Dan satu lagi pertanyaan yang dapat timbul: Bagaimana kalor itu bisa menembus wadahnya sehingga airnya juga menjadi panas?

KOMPOTENSI DASAR

Mendeskripsikan kalor dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

INDIKATOR

1. Menganalisis kalor sebagai transfer energi
2. Mendeskripsikan kuantitas kalor

3. Mendeskripsikan kalor laten
4. Menganalisis perpindahan kalor

TUJUAN PEMBELAJARAN

Mahasiswa dapat:

1. Menjelaskan pengertian kalori
2. Menghitung besarnya kuantitas kalor
3. Menjelaskan apa yang dimaksud kalor laten
4. Menghitung besarnya kalor laten
5. Menentukan macam-macam perpindahan kalor
6. Menjelaskan macam-macam perpindahan kalor
7. Menghitung besarnya kecepatan radiasi untuk masing-masing perpindahan kalor



URAIAN MATERI

Ketika satu ketel air dingin diletakkan di atas kompor, temperaatur air akan naik. Kita katakana bahwa kalor mengalir dari kompor ke air yang dingin. Ketika dua benda yang temperaturnya berbeda diletakkan saling bersentuhan, kalor akan mengalir seketika dari yang panas ke yang dingin. Aliran kalor yang seketika ini selalu dalam arah yang cenderung menyamakan temperatur. Jika kedua benda tersebut disentuhkan cukup lama sehingga temperatur keduanya sama, keduanya dikatakan dalam keadaan setimbang termal, dan tidak ada lagi kalor yang mengalir diantaranya. Sebagai contoh, ketika termometer demam dimasukkan pertama kali ke mulut pasien, kalor mengalir dari mulut pasien tersebut ke termometer: ketika pembacaan temperatur berhenti naik, termometer setimbang dengan mulut orang tersebut, dan temperaturnya sama.

A. Kalor Sebagai Transfer Energi

Secara umum kita membicarakan ‘aliran’ kalor-kalor mengalir dari kompor ke ketel kopi, dari matahari ke bumi, dari mulut seseorang ke termometer demam. Kalor mengalir dengan sendirinya dari temperatur yang lebih tinggi ke benda lain yang temperaturnya lebih rendah. Pertama kita lihat suatu satuan yang umum untuk kalor, yang masih digunakan sekarang disebut kalori. Satuan ini disebut kalori (kal) dan didefinisikan sebagai ‘*kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1 gram air sebesar 1 derajat celcius*’.

Secara kuantitatif, kerja 4,186 joule (J) ternyata ekuivalen dengan 1 kalori (kal) kalor. Nilai ini dikenal sebagai ‘tara kalor mekanik’:

$$\begin{aligned}4,186 \text{ J} &= 1 \text{ kal} \\4,186 \times 10^3 \text{ J} &= 1 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Ketika kalor mengalir dari benda panas ke benda yang dingin, energilah yang ditransfer dari yang panas ke yang dingin. Dengan demikian, kalor merupakan energi yang ditransfer dari suatu benda ke benda yang lainnya karena adanya perbedaan temperatur.

B. Kuantitas Kalor

Jika kalor diberikan pada suatu benda, temperaturnya naik. Tetapi seberapa besar temperature naik?. Pada abad kedelapan belas, orang-orang yang melakukan percobaan telah melihat bahwa besar kalor Q yang dibutuhkan untuk merubah temperatur zat tertentu sebanding dengan massa m zat tersebut dan dengan perubahan temperatur ΔT . Dapat ditulis secara matematis:

$$Q = mc \Delta T$$

Dimana c adalah besaran karakteristik dari zat tersebut, yang disebut kalor jenis.

Tabel 10.1 Kalor Jenis (pada tekanan konstan 1 atm dan 20⁰C kecuali dinyatakan lain

Zat	Kalor Jenis (c)	
	kcal/kg. ⁰ C	J/kg. ⁰ C
Aluminium	0,22	900
Tembaga	0,093	390
Kaca	0,20	840
Besi atau Baja	0,11	450
Timah Hitam	0,031	130
Marmer	0,21	860
Perak	0,056	230
Kayu	0,4	1700
Alkohol (Ethyl)	0,58	2400
Air Raksa	0,033	140
Air		
- Es (-5 ⁰ C)	0,50	2100
- Cair (15 ⁰ C)	1,00	4186
- Uap (110 ⁰ C)	0,48	2010
Tubuh Manusia (rata-rata)	0,83	3470
Protein	0,4	1700

Contoh Soal

(a) Berapa kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur tong kosong 20 kg yang terbuat dari besi dari 10⁰C sampai 90⁰C?

(b) Bagaimana jika tong tersebut diisi 20 kg air?

Penyelesaian.

Diketahui. Dari tabel di atas c besi = 450 J/kg ⁰C; $\Delta T = 90^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 80^{\circ}\text{C}$

Jawab. a. $Q = mc \Delta T = (20 \text{ kg})(450 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C})(80^{\circ}\text{C}) = 7,2 \times 10^5 \text{ J}$

$$b \text{ c air} = 4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

$$Q = mc \Delta T = (20 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg } ^\circ\text{C})(80^\circ\text{C}) = 6,7 \times 10^6 \text{ J}$$

C. Kalor Laten

Ketika suatu materi berubah fase dari padat ke cair, atau dari cair ke gas, sejumlah tertentu energi terlibat pada perubahan fase ini. Kalor yang dibutuhkan untuk merubah zat dari padat menjadi cair disebut kalor lebur; dinyatakan dengan L_F . Dan kalor yang dibutuhkan untuk merubah suatu zat dari fase cair ke uap disebut kalor penguapan; dinyatakan dengan L_V . Nilai-nilai untuk kalor lebur dan penguapan disebut juga **kalor laten**.

Tabel 10.2 Kalor Laten (1 atm)

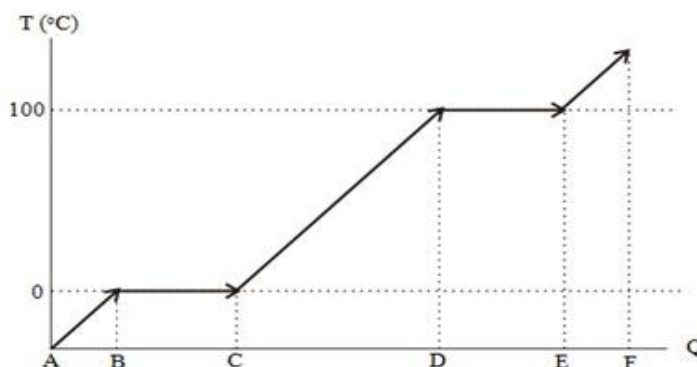
Zat	Titik Lebur ($^\circ\text{C}$)	Kalor Lebur		Titik Didih ($^\circ\text{C}$)	Kalor Penguapan	
		Kkal/ kg	J/kg		Kkal/ kg	J/kg
Oksigen	-218,8	3,3	$0,14 \times 10^5$	-183	51	$2,1 \times 10^5$
Nitrogen	-210,0	6,1	$0,26 \times 10^5$	-195,8	48	$2,00 \times 10^5$
Ethyl Alkohol	-114	25	$1,04 \times 10^5$	78	204	$8,5 \times 10^5$
Ammonia	-77,8	8,0	$0,33 \times 10^5$	-33,4	33	$1,37 \times 10^5$
Air	0	79,7	$3,33 \times 10^5$	100	539	$22,6 \times 10^5$
Timah Hitam	327	5,9	$0,25 \times 10^5$	1750	208	$8,7 \times 10^5$
Perak	961	21	$0,88 \times 10^5$	2193	558	23×10^5
Besi	1808	69,1	$2,89 \times 10^5$	3023	1520	$63,4 \times 10^5$
Tungsten	3410	44	$1,84 \times 10^5$	5900	1150	48×10^5

Kalor penguapan dan lebur juga mengacu pada jumlah kalor yang dilepaskan oleh zat ketika berubah dari gas ke cair, atau dari cair ke padat. Tentu

saja kalor yang terlibat dalam perubahan fase tidak hanya bergantung pada kalor laten, tetapi juga pada massa total zat tersebut.

$$Q = mL$$

Dimana L adalah kalor laten proses dari zat tertentu, m adalah massa zat, dan Q adalah kalor yang dibutuhkan atau dikeluarkan selama perubahan fase.



Gambar 10.1 Hubungan kalor dengan perubahan suhu dan perubahan wujud air

AB = Tambahan kalor menaikkan suhu es sampai 0 °C

BC = Tambahan kalor mencairkan es menjadi air

CD = Tambahan kalor menaikkan suhu air dari 0 °C sampai 100 °C

DE = Tambahan kalor menguapkan air

EF = Tambahan kalor menaikkan suhu uap

Grafik di atas menunjukkan proses perubahan suhu dan perubahan wujud air selama air menyerap kalor (pada tekanan udara 1 atmosfer). Jika air melepaskan kalormaka proses yang terjadi adalah kebalikan dari proses di atas (tanda panah di balik). Penambahan kalor dari B – C tidak menyebabkan perubahan suhu air tetapi hanya meleburkan es menjadi air. Demikian juga penambahan kalor dari D – E tidak menyebabkan perubahan suhu air tetapi hanya mengubah air menjadi uap. Air hanya salah satu contoh saja. Pada dasarnya semua benda akan mengalami proses perubahan wujud dan perubahan suhu seperti yang dialami oleh air, jika benda tersebut menyerap kalor. Perbedaannya terletak pada titik beku dan titik didih. Setiap benda mempunyai titik beku dan titik didih yang berbeda. Jika benda melepaskan kalor maka proses yang terjadi adalah kebalikan dari proses di atas.

Contoh Soal

Berapa banyak energi yang harus dikeluarkan lemari es dari 1,5 kg air pada suhu 20°C untuk membuat es pada -12°C ?

Penyelesaian.

Diketahui. Kalor harus keluar untuk memperkecil air dari 20°C sampai 0°C , untuk mengubahnya menjadi es, dan kemudian untuk menurunkan es dari 0°C menjadi -12°C .

Jawab.

$$\begin{aligned} Q &= mc_{\text{air}}(20^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) + mL_F + mc_{\text{es}}(0^{\circ}\text{C} - (-12^{\circ}\text{C})) \\ &= (1,5 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C})(20^{\circ}\text{C}) + (1,5 \text{ kg})(3,33 \times 10^5 \text{ J/kg}) + \\ &\quad (1,5 \text{ kg})(2100 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C})(12^{\circ}\text{C}) \\ &= 6,6 \times 10^5 \text{ J} = 660 \text{ kJ} \end{aligned}$$

D. Perpindahan Kalor

1. Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap. Konduksi kalor hanya terjadi jika ada perbedaan temperatur. Dan memang pada percobaan bahwa kecepatan aliran kalor sebanding dengan perbedaan temperatur antara ujung-ujungnya. Kecepatan aliran kalor juga bergantung pada ukuran dan bentuk benda. Secara matematis dapat dituliskan:

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{l}$$

Dimana A adalah luas penampang lintang benda, l adalah jarak antara kedua ujung, yang mempunyai temperatur $T_1 - T_2$, dan k konstanta pembanding yang disebut konduktivitas termal.

Tabel 10.3 Konduktivitas Termal

Zat	Konduktivitas Termal (k)	
	Kkal/s.m. ⁰ C	J/ s.m. ⁰ C
Perak	10×10^{-2}	420
Tembaga	$9,2 \times 10^{-2}$	380
Aluminium	$5,0 \times 10^{-2}$	200
Baja	$1,1 \times 10^{-2}$	40
Es	5×10^{-4}	2
Gelas (biasa)	$2,0 \times 10^{-4}$	0,84
Batu Bata dan Beton	$2,0 \times 10^{-4}$	0,84
Air	$1,4 \times 10^{-4}$	0,56
Jaringan Tubuh	$0,5 \times 10^{-4}$	0,2
Manusia	$0,2-0,4 \times 10^{-4}$	0,08-0,16
Kayu	$0,12 \times 10^{-4}$	0,048
Isolator	$0,1 \times 10^{-4}$	0,042
Gabus dan Serat Kaca	$0,1 \times 10^{-4}$	0,040
Wol	$0,06 \times 10^{-4}$	0,025
Bulu Angsa	$0,06 \times 10^{-4}$	0,024
Busa Polyurethane	$0,055 \times 10^{-4}$	0,023
Udara		

Contoh Soal

Sumber kehilangan kalor yang utama dari sebuah rumah adalah melalui jendela. Hitung kecepatan aliran kalor melalui jendela kaca dengan luas 2,0 m x 1,5 m dan tebal 3,2 mm, jika temperatur pada permukaan dalam dan luar adalah 15⁰C dan 14⁰C.

Penyelesaian.

Diketahui. $A = 2,0 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 3,0 \text{ m}^2$; $l = 3,2 \times 10^{-3} \text{ m}$

Jawab.
$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{l} = \frac{\left(\frac{0,84 \text{ J}}{\text{s}} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}\right)(3,0 \text{ m}^2)(15^\circ\text{C} - 14^\circ\text{C})}{3,2 \times 10^{-3}} = 790 \text{ J/s}$$

2. Konveksi

Walaupun zat cair dan gas umumnya bukan merupakan penghantar kalor yang sangat baik, namun dapat mentransfer kalor cukup cepat dengan konveksi. Konveksi yaitu perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas).

Macam-macam Konveksi:

- a. Konveksi bebas/konveksi alamiah (free convection/natural convection)

Perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.

Contoh: plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar

- b. Konveksi paksaan (forced convection)

Perpindahan panas alirangas atau cairan yang disebabkan adanya tenaga dari luar

Contoh: plat panas dihembus udara dengan kipas/blower

3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara. Kecepatan sebuah benda meradiasikan energi telah ditemukan sebanding dengan pangkat empat temperatur Kelvin, T . Kecepatan radiasi juga sebanding dengan luas A dari benda yang memancarkannya, sehingga dapat dituliskan:

$$Q = e\sigma AT^4$$

Persamaan ini disebut persamaan ‘Stefan-Boltzmann’, dan σ konstanta universal yang disebut konstanta ‘Stefan-Boltzmann’ yang memiliki nilai:

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

Faktor e disebut emisivitas, merupakan bilangan antara 0 dan 1 yang merupakan karakteristik materi. Dilihat dari daya emisinya, benda terbagi ke dalam 3 macam:

- a. Benda putih sempurna (absolutely white)

→ menyerap sinar, tanpa mengemisikan kembali.

$$\text{Emisivitas } (\epsilon) = 0$$

- b. Benda abu-abu (gray body)

$$0 < \epsilon < 1$$

- c. Benda hitam (blackbody)

→ menyerap 100%, mengemisikan 100%.

$$\text{Emisivitas } (\epsilon) = 1$$

Benda apapun tidak hanya memancarkan energi dengan radiasi, tetapi juga menyerap energi yang diradiasikan oleh benda lain. Jika sebuah benda dengan emisivitas e dan luas A berada pada temperatur T_1 , benda ini meradiasikan energi dengan kecepatan $e\sigma AT_1^4$. Jika benda tersebut dikelilingi oleh lingkungan dengan temperatur T_2 dan emisivitas tinggi $e = 1$ kecepatan radiasi energi oleh sekitarnya sebanding dengan T_2^4 dan kecepatan energi yang diserap oleh benda sebanding dengan T_2^4 . Kecepatan total aliran kalor radiasi dari benda dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = e\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$$

Dimana A adalah luas permukaan benda, T_1 adalah temperaturnya, dan e emisivitasnya (pada temperatur T_1), dan T_2 adalah temperatur sekelilingnya.

Contoh Soal

Seorang atlet duduk tanpa pakaian di kamar ganti yang dindingnya gelap pada temperatur 15°C . perkirakan kecepatan kehilangan kalor dengan

radiasi dengan menganggap temperatur kulit sebesar 34°C dan $e = 0,70$.
Anggap permukaan tubuh yang tidak bersentuhan dengan kursi sebesar $1,5\text{ m}^2$.

Dik. $T_1 = 34^{\circ}\text{C} + 273\text{ K} = 307\text{ K}$

$$T_2 = 15^{\circ}\text{C} + 273\text{ K} = 288\text{ K}$$

$$e = 0,70$$

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$A = 1,5\text{ m}^2$$

Dit. $Q \dots ?$

$$Q = e\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$$

$$= (0,70)(5,67 \times 10^{-8}\text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(1,5\text{ m}^2)((307\text{ K})^4 - (288\text{ K})^4)$$

$$= 120\text{ W}$$

RANGKUMAN

1. Secara kuantitatif, kerja 4,186 joule (J) ternyata ekuivalen dengan 1 kalori (kal) kalor. Nilai ini dikenal sebagai ‘tara kalor mekanik’:

$$4,186 \text{ J} = 1 \text{ kal}$$

$$4,186 \times 10^3 \text{ J} = 1 \text{ kkal}$$

2. Besarnya kalor:

$$Q = mc \Delta T$$

3. Kalor laten:

$$Q = mL$$

4. Konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap.

5. Besarnya kalor pada proses konduksi:

$$Q = kA \frac{T_1 - T_2}{l}$$

6. Konveksi yaitu perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas).

7. Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara.

8. Besarnya kalor pada proses radiasi:

$$Q = e\sigma AT^4$$

9. Kecepatan total aliran kalor radiasi dari benda dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = e\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$$

LATIHAN

1. Berapakah kapasitas kalor dari 5 kg suatu zat yang mempunyai kalor jenis $2 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$?
2. Sebuah kalori meter dengan kapasitas $80 \text{ J}^{\circ}\text{C}$ mula-mula diisi dengan 200 gram air dengan suhu 100°C . Kemudian ke dalam kalorimeter dimasukkan lagi sebuah logam yang bermassa 100 gram dengan suhu 40°C . Setelah tercapai kesetimbangan termal diperoleh suhu akhir campuran 60°C . Berapakah kalor jenis logam tersebut? (kalor jenis air = $1 \text{ kal/gr}^{\circ}\text{C}$).
3. Batang logam bermassa 2 kg memiliki suhu 25°C . Untuk menaikkan suhunya menjadi 75°C dibutuhkan kalor sebesar 5.104 kal. Jika suhunya dinaikkan menjadi 125°C maka berapakah kalor yang dibutuhkan?
4. Suatu benda hitam pada suhu 27°C memancarkan energi $R \text{ J/s}$. Benda hitam tersebut dipanasi hingga suhunya menjadi 327°C . Berapakah energi yang dipancarkan sekarang?
5. Sebuah benda hitam pada saat dipanaskan sampai suhu 27°C memancarkan energi 10 joule. Berapakah energi yang dipancarkan oleh benda hitam tersebut jika dipanaskan sampai 127°C ?

EVALUASI

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Kalor jenis sebuah benda
 - a. sebanding dengan massanya
 - b. sebanding dengan perubahan suhu
 - c. tergantung dari jenis benda
 - d. tergantung dari banyaknya kalor yang diserap
 - e. semua salah
2. Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu benda bergantung pada
 - a. massa benda, suhu awal, suhu akhir
 - b. massa benda dan jenis benda
 - c. jenis benda dan kenaikan suhu
 - d. massa benda, jenis benda dan kenaikan suhu
 - e. kenaikan suhu dan lama pemanasan
3. Zat padat A dan B bermassa sama berada pada titik leburnya. Untuk meleburkan zat A membutuhkan kalor 2500 joule sedangkan untuk meleburkan zat B membutuhkan 4500 joule. Perbandingan kalor lebur zat A dan B adalah
 - a. 5 : 9
 - b. 2 : 1
 - c. 1 : 2
 - d. 9 : 5
 - e. 1 : 1
4. Suatu jenis gas menempati volum 100 m^3 pada temperatur 0°C dan tekanan 1 atm. Bila temperatur menjadi 50°C sedangkan tekanan menjadi 2 atm maka volum gas akan menjadi....
 - a. $118,3 \text{ cm}^3$
 - b. $84,5 \text{ cm}^3$
 - c. $59,2 \text{ cm}^3$
 - d. $45,5 \text{ cm}^3$

- e. $38,4 \text{ cm}^3$
5. 50 gram es pada suhu 0°C dimasukkan ke dalam 200 gram air yang bersuhu 20°C . Jika kalor lebur es = 80 kal/g dan kalor jenis air $1 \text{ kal/g}^\circ\text{C}$, suhu akhir campuran adalah
- a. 0°C
b. $1,8^\circ\text{C}$
c. 2°C
d. $3,3^\circ\text{C}$
e. 5°C
6. Berapa kalori yang dibutuhkan untuk mengubah 10 gr es bersuhu -20°C menjadi uap bersuhu 120°C jika panas jenis air dan es $1 \text{ kal/gr}^\circ\text{C}$, panas jenis uap $5 \text{ kal/gr}^\circ\text{C}$, kalor lebur es 80 kal/gr dan kalor didih 600 kal/gr ?
- a. 9000 kal
b. 8000 kal
c. 8500 kal
d. 80 kkal
e. 85 kkal
7. 320 gram campuran es dan air pada suhu 0°C berada dalam bejana yang kapasitas kalornya dapat diabaikan. Kemudian dimasukkan 79 gram uap air yang bersuhu 100°C kedalam bejana tersebut sehingga diperoleh suhu akhir menjadi 79°C . Jika kalor lebur es $79,0 \text{ kal/gram}$ dan kalor penguapan air 540 kal/gram , maka banyaknya air mula-mula adalah (gram)....
- a. 4
b. 10
c. 35
d. 65
e. 79

(SPMB, 2002)

8. Dua batang logam A dan B yang mempunyai ukuran sama disambung satu sama lain pada salah satu ujungnya. Jika suhu ujung bebas logam A dan

ujung bebas logam B berturut-turut adalah 210°C dan 30°C serta koefisien konduksi kalor logam A = 2 kali koefisien konduksi kalor logam B, maka suhu pada sambungan tersebut adalah

- a. 160°C
 - b. 150°C
 - c. 120°C
 - d. 100°C
 - e. 80°C
9. Energi yang diradiasikan per detik oleh benda hitam pada suhu T_1 besarnya 16 kali energi yang diradiasikan pada detik pada suhu T_0 ; maka $T_1 = \dots$
- a. $2 T_0$
 - b. $2,5 T_0$
 - c. $3 T_0$
 - d. $4 T_0$
 - e. $5 T_0$
10. Dalam botol termos terdapat 230 gram kopi pada suhu 90°C . Ditambahkan susu sebanyak 20 gram bersuhu 5°C . Berapakah suhu campuran? (misalkan tidak ada kalor pencampuran maupun kalor yang terserap botol termos dan kalor jenis kopi = susu = air = $1,00 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$)
- a. 5°C
 - b. 20°C
 - c. 47°C
 - d. 83°C
 - e. 90°C

(UMPTN, 1989)

B. Jawablah dengan benar!

1. Tentukan kadar kalori dari Mullaney's fudge brownies 100 g dari pengukuran berikut ini. Sampel brownies 10 g dibiarkan kering sebelum dimasukkan ke dalam bom. Bom aluminium mempunyai massa 0,615 kg dan ditempatkan 2,00 kg air yang berada dalam calorimeter aluminium dengan massa 0,524 kg. temperatur awal campuran tersebut adalah $15,0^{\circ}\text{C}$ dan temperaturnya setelah pemicuan adalah $36,0^{\circ}\text{C}$.
2. Kalor jenis air raksa adalah $0,033 \text{ kkal/kg}^{\circ}\text{C}$. Ketika 1,0 kg air raksa padat pada titik leburnya sebesar -39°C diletakkan pada calorimeter aluminium 0,50 kg yang diisi dengan 1,2 kg air pada 20°C , temperatur akhir campuran didapatkan sebesar $16,5^{\circ}\text{C}$. Berapa kalor lebur dari air raksa dalam $\text{kkal/kg}^{\circ}\text{C}$?

DAFTAR PUSTAKA

Alan Isaacs. 1994. *Kamus Lengkap Fisika*. Penerjemah Danusantoso. Jakarta: Erlangga.

Bueche, F. J.,. 1989. *Fisika, Edisi Kedelapan*. Jakarta: Erlangga.

Burnie, David. 2000. *Jendela Iptek Cahaya, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI*. Jakarta: PT Balai Pustaka.

Giancoli, D. C.,. 2001. *Fisika Jilid 1, Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.

Halliday, D. Resnick, R. 1999. *Fisika Jilid 1 terjemahan Pantur Silaban*. Jakarta: Erlangga.

Ismail Besari. 2005. *Kamus Fisika*. Bandung: Pionir Jaya.

Kompas, 20 Juli 2006.

Lafferty, Peter. 1997. *Jendela Iptek Gaya & Gerak, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI*. Jakarta: PT Balai Pustaka.

Mary and John Gribbin. 2004. *Jendela Iptek Ruang & Waktu, terjemahan Pusat Penerjemahan FSUI*. Jakarta: PT Balai Pustaka.

Peter Soedjojo. 2004. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Andi Offset.

Sears, F. W., Zemansky, M. W.,. 1994. *Fisika Untuk Universitas 2 (Mekanika-Panas-Bunyi)*. Bandung: Binacipta.

Sumber: Encarta Encyclopedia, 2006

Sumber: Jendela IPTEK

Suroso A.Y, Anna Permanasari, Kardiawarman. 2003. *Ensiklopedi Sains dan Kehidupan*. Jakarta: CV Tarity Samudra Berlian.

Sutrisno. 1997. *Fisika Dasar-Mekanika*. Bandung: Penerbit ITB.

Steve Setford. 1996. *Buku Saku Fakta Sains, terjemahan Harini*. Jakarta: Erlangga.

Tipler, Paul A. 2001. *Fisika untuk Sains dan Teknik Jilid 2, Terjemahan Bambang Soegijono*. Jakarta: Erlangga.

Online:

<http://gurumuda.net/kalor-laten.htm>

<http://mediabelajaronline.blogspot.com/2010/10/elastisitas-dan-modulus-young.html>

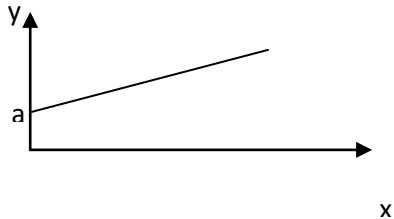
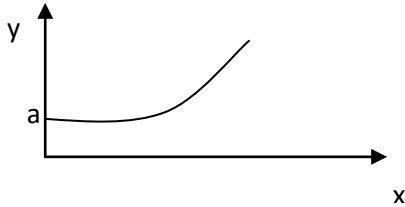
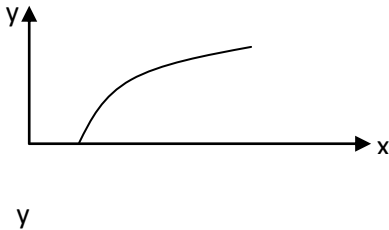
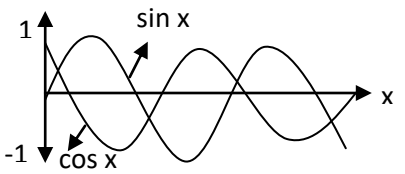
<http://macam-macamrumusfisika.blogspot.com/p/usaha-dan-energi.html>

<http://pembelajaranfisikauny.blogspot.com/2012/12/impuls1.html>

<http://fisikastudycenter.com/tabel-tabel/191-tabel-tabel#ixzz2ypl1sXT4>

Apendiks 1

Beberapa Fungsi dan Bentuk Grafiknya

Fungsi	Bentuk Grafiknya
<p>Linear:</p> $y = a + bx$	
<p>Eksponensial:</p> $y = a e^x$	
<p>Logaritme:</p> $y = \ln x$	
<p>Trigonometrik:</p> $y = \sin x$ $y = \cos x$	

Apendiks 2

Beberapa Rumus Diferensial

No.	$f(x)$	$F(x) = df(x)/dx$
1.	C (konstan)	0
2.	X^n	nx^{n-1} , n adalah konstan
3.	a f(x)	a f'(x), a adalah konstan
4.	$f(x) + g(x)$	$f'(x) + g'(x)$
5.	$f(x).g(x)$	$f'(x).g(x) + f(x).g'(x)$
6.	$f(g(x))$	$(df/dg)(dg/dx)$
7.	$\sin x ; \sin f(x)$	$\cos x ; f'(x) \cos f(x)$
8.	$\cos x ; \cos f(x)$	$-\sin x ; -f'(x) \sin f(x)$
9.	$\ln x ; \ln f(x)$	$1/x ; 1/f(x) f'(x)$
10.	$e^x ; e^{f(x)}$	$e^x ; f'(x)e^{f(x)}$, n adalah konstan

Apendiks 3

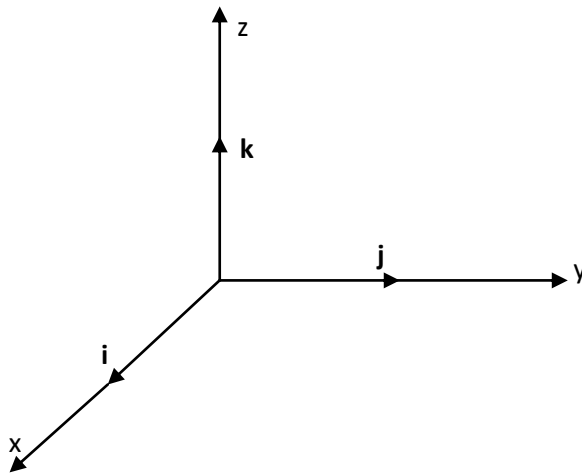
Beberapa Integral Tidak Tentu (a,b,C = konstan)

No.	$\int f(x)dx$	$= F(x) + C$
1.	$\int x^n dx$	$(1/n+1)x^{n+1} + C, n \neq -1$
2.	$\int 1/x dx$	$\ln (x) + C$
3.	$\int \cos x dx$	$\sin x + C$
4.	$\int \cos (ax) dx$	$(1/a) \sin (ax) + C$
5.	$\int \sin x dx$	$-\cos x + C$
6.	$\int \sin (ax)dx$	$-(1/a) \cos (ax) + C$
7.	$\int e^x dx$	$e^x + C$
8.	$\int a e^{bx} dx$	$(a/b) e^{bx} + C$
9.	$\int a f(x) + f(x) dx$	$a \int f(x) dx$
10.	$\int [g(x) + f(x)] dx$	$\int g(x) dx + \int f(x) dx$
11.	$\int u(x) dv(x)$	$Uv - \int v dx$

No.	Jenis	Kesamaan
1.	$\int_a^a f(x)dx$	0
2.	$\int_a^b f(x)dx$	$-\int_b^a f(x)dx$
3.	$\int_a^b f(x)dx + \int_b^c f(x)dx$	$\int_a^c f(x)dx$

Apendiks 4

Koordinat Cartesian untuk Vektor Satuan



Penulisan suatu vektor **A** dalam koordinat kartesian berdasarkan komponen-komponennya adalah:

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

Dimana A_x , A_y dan A_z adalah komponen A arah sumbu X, Y dan Z

Contoh perkalian titik dan perkalian silang dua buah vektor A dan B .

1. Perkalian titik.

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k})$$

$$= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

$$\text{Dengan } \mathbf{i} \cdot \mathbf{i} = \mathbf{j} \cdot \mathbf{j} = \mathbf{k} \cdot \mathbf{k} = 1$$

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

2. Perkalian silang.

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

$$= (A_y B_z - A_z B_y) \mathbf{i} + (A_z B_x - A_x B_z) \mathbf{j} + (A_x B_y - A_y B_x) \mathbf{k}$$

$$\mathbf{i} \times \mathbf{i} = \mathbf{j} \times \mathbf{j} = \mathbf{k} \times \mathbf{k} = 0$$

$$\mathbf{i} \times \mathbf{j} = -\mathbf{j} \times \mathbf{i} = \mathbf{k}$$

$$\mathbf{j} \times \mathbf{k} = -\mathbf{k} \times \mathbf{j} = \mathbf{i}$$

$$\mathbf{k} \times \mathbf{i} = -\mathbf{i} \times \mathbf{k} = \mathbf{j}$$

Apendiks 5

**Persamaan-Persamaan Gerak Kinematika untuk Gerak Peluru (y positif
arah ke atas; $a_x = 0, a_y = -g = -9,80 \text{ m/s}^2$)**

No.	Gerak (Horizontal) ($a_x = 0, v_y = \text{konstan}$)	Gerak (Vertikal) ($v_y = -g = \text{konstan}$)
1.	$v_x = v_{x0}$	$v_y = v_{y0} - gt$
2.	$x = x_0 + v_{x0}t$	$y = y_0 + v_{y0}t - \frac{1}{2}gt^2$
3.		$v_y^2 = v_{y0}^2 - 2gy$

Apendiks 6

Hubungan Antara Gerak Rotasi dengan Gerak Translasi

No.	Gerak Rotasi	Gerak Translasi
1.	Sudut yang ditempuh θ .	Jarak yang ditempuh S
2.	Kecepatan sudut ω	Kecepatan v
3.	Percepatan α	Percepatan a
4.	Momen inersia I	Massa m
5.	Momen gaya τ	Gaya F
6.	$\omega = \omega_0 + \alpha t$	$v = v_0 + at$
7.	$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$	$S = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$
8.	Momentum sudut $L = I\omega$	Momentum $P = mv$
9.	Impuls sudut $= \tau \Delta t$	Impuls $= F \Delta t$
10.	$\tau \Delta t = I \omega_t - I \omega_0$	$F \Delta t = mv_t - mv_0$
11.	Hk. II newton $\tau = I \alpha$	Hk. II newton $F = m a$
12.	Usaha $W = \tau \theta$	Usaha $W = F s$
13.	Energi kinetik rotasi $E_k = \frac{1}{2}I\omega^2$	Energi kinetik $E_k = \frac{1}{2}mv^2$
14.	$W = \frac{1}{2}I \omega_t^2 - \frac{1}{2} I \omega_0^2$	$W = \frac{1}{2}v_t^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$
15.	Hk. III newton $\tau_{AB} = -\tau_{BA}$	Hukum III newton $F_{AB} = -F_{BA}$
16.	Hk. kekekalan momentum sudut $I_A \omega_A + I_B \omega_B = I_A \omega_A' + I_B \omega_B'$	Hk. kekekalan momentum $m_A v_A + m_B v_B = m_A v_A' + m_B v_B'$

GLOSSARY

Aberasi Sferis

Aberasi sferis adalah penyimpangan pembentukan bayangan dari suatu benda yang terletak di sumbu utama karena bentuk lengkung dari lensa.

Astigmatisme

Astigmatisme adalah kelainan pembentukan bayangan dan suatu benda titik yang jauh dari sumbu utama. Hal ini karena garis-garis horizontal dan vertikal dikumpulkan pada jarak yang berbeda.

Besaran Skalar

Besaran yang cukup dinyatakan oleh besarnya saja (besarnya dinyatakan oleh bilangan dan satuan). **Contoh** besaran skalar : waktu, suhu, volume, laju, energi, usaha dll.

Besaran Pokok

Besaran pokok adalah besaran yang berdiri sendiri dan tidak diturunkan dari besaran lain.

Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang diperoleh dari besaran-besaran pokok.

Besaran Vektor

Besaran yang dicirikan oleh besar dan arah. **Contoh:** besaran vektor didalam fisika adalah: kecepatan, percepatan, gaya, perpindahan, dan momentum. Untuk menyatakan arah vektor diperlukan sistem koordinat.

Daya

Daya didefinisikan sebagai kecepatan melakukan usaha atau kecepatan perubahan energi

Diferensiasi

Diferensiasi atau sering diterjemahkan sebagai “turunan” suatu fungsi didefinisikan sebagai “laju perubahan suatu peubah/variabel terhadap peubah lain” atau laju perubahan fungsi terhadap peubah bebasnya”.

Distorsi

Distorsi adalah suatu aberasi yang disebabkan oleh perbesaran bayangan yang tidak merata. Perbesaran pada bagian-bagian yang paling luar tidak sama. Benda yang berupa garis-garis sejajar akan melengkung.

Energi

Dalam fisika, energi sering diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan usaha. Jika suatu benda melakukan usaha, maka benda tersebut akan kehilangan energi yang sama dengan usaha yang dilakukannya.

Gaya Berat

Gaya berat (W) adalah gaya gravitasi bumi yang bekerja pada suatu benda. Gaya berat selalu tegak lurus kebawah dimana pun posisi benda diletakkan, apakah dibidang horizontal, vertikal ataupun bidang miring.

Gaya Gesek

Gaya gesek yaitu gaya sentuh yang muncul jika permukaan dua zat padat bersentuhan secara fisik, dimana arah gaya gesekan sejajar dengan permukaan bidang dan selalu berlawanan dengan arah gerak relatif antara kedua benda tersebut.

Gaya Normal

Gaya normal (N) adalah gaya yang bekerja pada bidang sentuh antara dua permukaan yang bersentuhan, dan arahnya selalu tegak lurus bidang sentuh.

GLB

Gerak lurus beraturan adalah gerak benda yang lintasannya lurus dan kecepatannya konstan (tetap). Contoh gerak GLB adalah mobil yang bergerak pada jalan lurus dan berkecepatan tetap.

GLBB

Gerak lurus berubah beraturan Adalah gerak lintasanya lurus dengan percepatan tetap dan kecepatan yang berubah secara teratur. Contoh GLBB adalah gerak buah jatuh dari pohonnya, gerak benda dilempar ke atas.

Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat. Jadi di setiap titik yang dilalui gelombang terjadi getaran, dan getaran tersebut berubah fasenya sehingga tampak sebagai getaran yang merambat.

Gerak Melingkar Beraturan

Gerak melingkar beraturan adalah suatu gerak dimana besar kecepatan dan percepatannya konstan tetapi arahnya berubah-ubah setiap saat. Dimana arah kecepatan disuatu titik sama dengan arah garis singgung lingkaran dititik itu dan arah percepatannya selalu mengarah ke pusat lingkaran.

Gerak Peluru

Gerak peluru adalah gerak yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Pada gerak peluru, gesekan diabaikan, dan gaya yang bekerja hanya gaya berat/percepatan gravitasi.

Getaran

Getaran adalah salah satu bentuk gerak yang khusus. Kita hanya akan meninjau getaran atau osilasi yang sederhana.

Hukum Hooke

Hukum Hooke adalah hukum atau ketentuan mengenai gaya dalam bidang ilmu fisika yang terjadi karena sifat elastisitas dari sebuah pegas. Besarnya gaya Hooke ini secara proporsional akan berbanding lurus dengan jarak pergerakan pegas dari posisi normalnya.

Impuls

Impuls didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya dan lamanya gaya tersebut bekerja.

Indeks Bias Mutlak

Indeks bias mutlak suatu medium didefinisikan sebagai perbandingan cepat rambat cahaya di ruang hampa (c) terhadap cepat rambat cahaya di medium tersebut (v).

Integrasi

Secara fisis, diferensiasi memiliki arti memperkecil atau menurunkan dimensi atau orde Kebergantungan beserta turunan (perubah tidak bebas) terhadap besaran dasar (perubah bebas). Sebaliknya, integrasi memperbesar tau menaikkan orde kebergantungan besaran turunan terhadap besaran dasar. Secara operasi matematis, integrasi bias berarti penjumlahan, mencari luas di bawah kurva, atau mencari fungsi turunan yang diberikan.

Jarak

Jarak adalah besaran skalar yang menyatakan bagaimana jauhnya sebuah benda telah bergerak

Kekuatan (Daya) Lensa

Kekuatan lensa atau daya lensa adalah kemampuan suatu lensa untuk memusatkan/mengumpulkan atau menyebarkan berkas sinar yang diterimanya.

Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar panas tetap.

Konveksi

Konveksi yaitu perpindahan panas yang terjadi antara permukaan padat dengan fluida yang mengalir di sekitarnya, dengan menggunakan media penghantar berupa fluida (cairan/gas).

Pemantulan Cahaya

Jika sinar cahaya jatuh pada permukaan benda lalu dibalikkan kembali, kita sebut sinar itu dipantulkan.

Pembiasan Cahaya

Pembiasan cahaya berarti pembelokan arah rambat cahaya saat melewati bidang batas dua medium bening yang berbeda indeks biasnya. Sebagai contoh sebatang tongkat yang sebagiannya tercelup di dalam kolam berisi air dan bening akan terlihat patah.

Perpindahan

Perpindahan adalah besaran vektor yang menyatakan seberapa jauh benda telah berpindah posisi dari posisi awalnya.

Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektro-magnetik, tanpa memerlukan media perantara.

Regangan

Regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjang terhadap panjang awal.

Tegangan

Tegangan (*strees*) gaya yang bekerja pada permukaan seluas satu satuan. Tegangan merupakan besaran skalar yang memiliki satuan N/m^2 atau Pascal (Pa).

Konstanta Fisika

kecepatan cahaya hampa udara (c)	$2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
permeabilitas ruang hampa (μ_0)	$4\pi \times 10^{-7} = 12,566370614... \times 10^{-7} \text{ Hm}^{-1}$
permitivitas ruang hampa (ϵ_0)	$1/(\mu_0 c^2) = 8,854187817... \times 10^{-12} \text{ Fm}^{-1}$
konstanta gravitasi (G)	$6,67259 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
konstanta Planck (h)	$6,6260755 \times 10^{-34} \text{ Js}$
konstanta Avogadro (N_A)	$6,0221367 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
konstanta Boltzmann (k)	$1,380658 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$
konstanta Stefan–Boltzmann (σ)	$5,67051 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

Konversi Satuan

1 angstrom	$= 100,0 \times 10^{-12} \text{ m}$
1 are	$= 100,0 \text{ m}^2$
1 astronomical unit	$= 149,5979 \times 10^9 \text{ m}$
1 atmosphere	$= 101,3250 \times 10^3 \text{ Pa}$
1 atomic mass unit	$= 1,660540 \times 10^{-27} \text{ kg}$
1 bar	$= 100,0 \times 10^3 \text{ Pa}$
1 barrel (UK)	$= 163,6592 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
1 barrel (US dry)	$= 115,6271 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
1 barrel (US oil)	$= 158,9873 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
1 barrel (US liquid)	$= 119,2405 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
1 British thermal unit	$= 1,055056 \times 10^3 \text{ J}$
1 calorie	$= 4,1868 \text{ J}$
1 curie	$= 37,0 \times 10^9 \text{ Bq}$
1 degree (angle)	$= 17,45329 \times 10^{-3} \text{ rad}$
1 dyne	$= 10,0 \times 10^{-6} \text{ N}$
1 electron volt	$= 160,2177 \times 10^{-21} \text{ J}$
1 erg	$= 100,0 \times 10^{-9} \text{ J}$

1 faraday = $96,4853 \times 10^3 \text{ C}$
 1 fermi = $1,0 \times 10^{-15} \text{ m}$
 1 foot = $304,8 \times 10^{-3} \text{ m}$
 1 furlong = $201,168 \text{ m}$
 1 gallon (UK) = $4,54609 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 1 gallon (US liquid) = $3,785412 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 1 gauss = $100,0 \times 10^{-6} \text{ T}$
 1 gram = $1,0 \times 10^{-3} \text{ kg}$
 1 gray = $1,0 \text{ Jkg}^{-1}$
 1 hectare = $10,0 \times 10^3 \text{ m}^2$
 1 horsepower (electric) = 746 W
 1 horsepower (UK) = $745,6999 \text{ W}$
 1 hour = $3,6 \times 10^3 \text{ s}$
 1 hour (siderial) = $3,590170 \times 10^3 \text{ s}$
 1 inch = $25,4 \times 10^{-3} \text{ m}$
 1 kilocalorie = $4,1868 \times 10^3 \text{ J}$
 1 kilowatt hour = $3,6 \times 10^6 \text{ J}$
 1 knot (international) = $514,4444 \times 10^{-3} \text{ ms}^{-1}$
 1 light year = $9,46073 \times 10^{15} \text{ m}$
 1 litre = $1,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
 1 lumen (at 555 nm) = $1,470588 \times 10^{-3} \text{ W}$
 1 maxwell = $10,0 \times 10^{-9} \text{ Wb}$
 1 mile (international) = $1,609344 \times 10^3 \text{ m}$
 1 mile (nautical, int.) = $1,852 \times 10^3 \text{ m}$
 1 mile (nautical, UK) = $1,853184 \times 10^3 \text{ m}$
 1 millibar = $100,0 \text{ Pa}$
 1 parsec = $30,85678 \times 10^{15} \text{ m}$
 1 pound (avoirdupois) = $453,5924 \times 10^{-3} \text{ kg}$
 1 psi = $6,894757 \times 10^3 \text{ Pa}$
 1 rad = $10,0 \times 10^{-3} \text{ Gy}$
 1 rutherford = $1,0 \times 10^6 \text{ Bq}$

$$1 \text{ rydberg} = 2,179874 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$1 \text{ slug} = 14,59390 \text{ kg}$$

$$1 \text{ statampere} = 333,5641 \times 10^{-12} \text{ A}$$

$$1 \text{ statcoulomb} = 333,5641 \times 10^{-12} \text{ C}$$

$$1 \text{ statfarad} = 1,112650 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$1 \text{ stathenry} = 898,7552 \times 10^9 \text{ H}$$

$$1 \text{ statohm} = 898,7552 \times 10^9 \Omega$$

$$1 \text{ statvolt} = 299,7925 \text{ V}$$

$$1 \text{ torr} = 133,3224 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ yard} = 914,4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

