



FISIKA DASAR

BERORIENTASI MERDEKA BELAJAR

DILENGKAPI
ASESMEN BERBASIS KAHOOT

Dr. Nurlina, S.Si., M.Pd.

FISIKA DASAR

BERORIENTASI MERDEKA BELAJAR

**DILENGKAPI
ASESMEN BERBASIS KAHOOT**



**Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014
Tentang Hak Cipta**

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rpa. 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

FISIKA DASAR

BERORIENTASI MERDEKA BELAJAR

**DILENGKAPI
ASESMEN BERBASIS KAHOOT**

Dr. Nurlina, S.Si., M.Pd.



**FISIKA DASAR BERORIENTASI MERDEKA
BELAJAR: DILENGKAPI ASESMEN
BERBASIS KAHOOT**

Penulis:

Dr. Nurlina, S.Si., M.Pd.

Cetakan pertama, Februari 2023

Ukuran: 15,5 x 23 cm; hlm: xii + 264

ISBN: 978-623-8104-10-9

Editor:

Riskawati

Penyunting:

Dewi Hikmah Marsida

Layout & Desain Sampul:

Lo Achmada

Penerbit:

UNISMUH PRESS

Anggota IKAPI

No.021/Anggota Luar Biasa/SSL/2019

Alamat: Jalan Sultan Alauddin No. 259

Kel. Gunung Sari Kecamatan Rappocini Kota Makassar

Provinsi Sulawesi Selatan 90221

Hak cipta dilindungi Undang-Undang.

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

PENCETAK: CV. REESLITERA GROUP

Studio Produksi: Jln. Ujung Bori, Kel. Antang Kec. Manggala
Kota Makassar – Sulawesi Selatan

Kontak/WA: 085342101139 - 082191865019

“Menerima Penerbitan dan Percetakan Buku!”

KATA PENGANTAR

Merdeka belajar menjadi salah satu pendekatan mutakhir dalam pembelajaran untuk menciptakan ruang bagi peserta didik berproses mengoptimalkan seluruh potensi yang dimiliki sehingga potensi besar mereka berkembang secara optimal dalam pembelajaran yang dilakukan secara mandiri. Pendekatan ini juga diterapkan dalam pembelajaran Fisika Dasar yang menggunakan berbagai platform pembelajaran, khususnya Kahoot. Jenis platform pembelajaran ini berbasis permainan yang dipadukan dengan teknologi sehingga memungkinkan peserta didik dapat menggunakannya secara mandiri.

Buku ini secara keseluruhan terdiri dari sepuluh bab yaitu Besaran dan Satuan, Kinematika dan Dinamika, Usaha dan Energi, Elastisitas dan Gaya Pegas, Momentum dan Tumbukan, Rotasi Benda Tegar, Optik Geometri, Arus dan Rangkaian Listrik, Getaran dan Gelombang, Kalor. Buku ini dilengkapi dengan contoh-contoh soal dan penyelesaiannya serta soal-soal latihan yang telah dimasukkan dalam Kahoot untuk pementapan pemahaman pembaca mengenai materi yang ada. Teori yang

diberikan dalam buku ini merupakan prinsip-prinsip dasar saja, namun secara keseluruhan kandungan isinya telah diupayakan sesuai dengan tuntutan Merdeka Belajar.

Penulisan buku ini didasarkan pada definisi buku yang memperoleh angka kredit dan pedoman pengajuan hibah buku dari Dikti. Harapannya adalah disamping memenuhi kebutuhan akan buku referensi, buku ajar, dan diktat, hasil karya dosen juga memiliki standar yang relatif sama dengan standar yang ditetapkan oleh Dikti, sehingga pemanfaatannya tidak hanya untuk kepentingan referensi dan pengajaran, namun juga untuk pengembangan profil dosen dan menjadi sarana referensi umum penyebarluasan ilmu ke masyarakat.

Makassar, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR SIMBOL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II BESARAN DAN SATUAN	6
A. Pengantar	6
B. Besaran	7
C. Fungsi	9
D. Differensial	10
E. Integrasi	12
F. Vektor	14
Rangkuman	23
Latihan	24
Evaluasi	25
BAB III KINEMATIKA DAN DINAMIKA	33
A. Pengantar	33
B. Jarak Dan Perpindahan	34
C. Kecepatan Dan Percepatan	35
D. G_1 B Dan G_{1bb}	39
E. Gerak Peluru	43
F. Gerak Melingkar	46
G. Hukun Newton Tentang Gerak	48
H. Macam-Macam Gaya	54
Rangkuman	58
Latihan	59
Evaluasi	60

BAB IV USAHA DAN ENERGI	69
A. Pengantar	69
B. Usaha	71
C. Energi	75
D. Hukum Kekekalan Energi	81
E. Daya	83
Rangkuman	84
Latihan	85
Evaluasi	86
BAB V ELASTISITAS DAN GAYA PEGAS	95
A. Pengantar	95
B. Tegangan Dan Regangan	97
C. Modulus Elastisitas	99
D. Hukum Hooke	101
E. Energi Potensial Pegas	103
Rangkuman	105
Latihan	106
Evaluasi	106
BAB VI MOMENTUM DAN TUMBUKAN	116
A. Pengantar	116
B. Momentum	117
C. Impuls	119
D. Jenis-Jenis Tumbukan	125
E. Pusat Massa	129
Rangkuman	134
Latihan	135
Evaluasi	136
BAB VII ROTASI BENDA TEGAR	145
A. Pengantar	145
B. Kinematika Rotasi	146

C. Dinamika Rotasi	148
Rangkuman	154
Latihan	154
Evaluasi	156
BAB VIII OPTIKA GEOMETRI	168
A. Pengantar	168
B. Pemantulan Cahaya	169
C. Pembiasan Cahaya	174
D. Kekuatan (Daya) Lensa	184
E. Susunan Lensa dengan Sumbu Utama Berimpit	185
F. Penyimpangan Pembentukan Bayangan pada Lensa	186
Rangkuman	188
Latihan	189
Evaluasi	190
BAB IX ARUS DAN RANGKAIAN LISTRIK	199
A. Pengantar	199
B. Gaya Gerak Listrik	200
C. Hukum Ohm	201
D. Rangkaian Listrik	204
E. Rangkaian Resistor	206
F. Penerapan Hukum Ohm dan Hukum I Kirchoff	211
Rangkuman	212
Latihan	212
Evaluasi	213
BAB X GETARAN DAN GELOMBANG	223
A. Pengantar	223
B. Getaran	224
C. Gelombang	229

Rangkuman	232
Latihan	233
Evaluasi	234
BAB XI KALOR	243
A. Pengantar	243
B. Kalor Sebagai Transfer Energi	244
C. Konduktivitas Kalor	245
D. Kalor Laten	247
E. Perpindahan Kalor	249
Rangkuman	253
Latihan	254
Evaluasi	255
TENTANG PENULIS	263

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
E	: Gaya yang diberikan pada suatu benda (Newton)
F_C	: Gaya sentripetal
f	: Percepatan gravitasi
F	: 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	: 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
r	: 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

BAB I

PENDAHULUAN

Dalam buku ini diuraikan tentang beberapa materi yaitu Besaran dan satuan, analisis dimensional, aljabar vektor, serta materi inti yaitu kinematika dan dinamika partikel: Hukum gerak Newton, gerak linear, gerak parabola. Usaha energi: tumbukan, impuls dan momentum, hukum kekekalan energi. Kinematika dan dinamika rotasi: hukum kekekalan momentum sudut, momen gaya dan momentum sudut, keseimbangan benda tegar, hukum gravitasi Newton, Osilasi, elastisitas, fluida, statika dan dinamika fluida, termodinamika: teori kinetik gas, sifat gas ideal, hukum termodinamika. Beberapa petunjuk penggunaan buku ini dapat dilihat pada uraian sebagai berikut.

Pertama. Kepada mahasiswa. Anda dapat berhasil dalam kuliah fisika anda dengan memanfaatkan segala yang ditawarkan dalam buku ini. Dari sejumlah fitur di dalam buku ini, anda akan mendapatkan semua yang anda perlukan untuk memahami prinsip-prinsip dari fisika.

Kedua. Pendekatan yang benar. Mulailah dengan tepat! Di bagian awal bab dicantumkan capaian yang tiap materi, sehingga mempermudah mengatur konsep-konsep yang harus diingat dengan baik. Serta pada awal bab dijelaskan dasar konsep tersebut. Sehingga lebih memudahkan memahami konsep yang dipelajari.

Ketiga. Perhatikan contoh-contoh. Perkuat pemahaman anda dengan penyelesaian masalah menggunakan sejumlah contoh yang realistis beserta jawaban-nya. Contoh-contoh ini dapat dijadikan sebagai model untuk menyelesaikan soal-soal di akhir setiap bab.

Keempat. Perhatikanlah tabel-tabel. Percepat pemahaman dan daya ingat anda menggunakan berbagai tabel yang telah disediakan.

Kelima. Gunakan fitur-fiturnya. Anda harus benar-benar memanfaatkan berbagai ulasan teoretis dalam buku ini.

Keenam. Jadwal belajar. Sangatlah penting bagi anda untuk mengatur sebuah jadwal belajar. Anda harus meluangkan waktu belajar sekitar dua jam untuk satu jam kehadiran anda di kelas. Jika anda memiliki kesulitan dengan mata kuliah ini, maka mintalah nasihat dari pengajar atau mahasiswa lainnya yang mengambil mata kuliah ini.

Pada halaman-halaman berikutnya, anda akan mengetahui bagaimana fisika tidak hanya menambah pengalaman anda dalam kuliah ini, tetapi membantu anda untuk berhasil. Karena segala yang anda perlukan untuk berhasil dalam kuliah ini ada dalam buku ini dengan memperjelas berbagai konsep dan membantu anda membangun dasar pengetahuan yang kuat. Hasil akhirnya rasa percaya diri di kelas, saat anda kuliah dan ujian.

Dosen memegang peran sangat penting bagi kemajuan suatu perguruan tinggi. Hal ini sangat disadari oleh dosen itu sendiri yang ditunjukkan dengan upaya-upaya pribadi untuk menjadikan dirinya memiliki kompetensi dan kepakaran yang sesuai dengan minat dan bidang yang ditekuninya. Selain mengajar mahasiswa, harus terus mengembangkan ilmunya melalui penelitian, dan menerapkan hasil penelitian tersebut

melalui pengabdian pada masyarakat. Berarti seorang dosen harus bertindak sebagai:

Pertama, pengajar. Dosen bukan hanya menguasai materi, namun juga dapat mengajarkannya pada orang lain dengan metode baik. Jadi dosen tidak hanya mengajawkan hal-hak keilmuan pada mahasiswa namun juga sikap-sikap yang benar dalam menempuh kehidupan yang sementara ini.

Kedua, peneliti. Dosen harus meneliti untuk mengembangkan keilmuannya. Bukan hanya untuk diri sendiri, tetapi juga merupakan bentuk tanggung jawab terhadap pengembangan ilmu pengetahuan yang dimilikinya. Sikap haus belajar dan selalu ingin tahu sangat diperlukan dosen untuk maju dan berkembang. Di PT luar negeri, sudah lazim bahwa sebagian besar penelitian terbaru muncul dari kampus, bukan industri atau tempat lain.

Ketiga, pelayan masyarakat. Dosen tidak cukup hanya tinggal di “menara gading” PT, namun juga harus mau membumi dengan masyarakat yang membutuhkan bantuan. Sebagai tanggung jawab moral dan sosial terhadap masyarakat, dosen harus mau memberikan ilmu yang ia miliki untuk kepentingan orang banyak.

Capaian pembelajaran lulusan program studi sebagaimana diuraikan berikut.

1. Bertaqwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius menunjukkan sikap bertanggung jawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri.
2. Memahami konsep teoritis fisika klasik dan modern (kuantum) secara umum.
3. Menguasai pengelolaan laboratorium untuk pembelajaran fisika.
4. Memahami konsep teoritis, prinsip, metoda dan teknik:

- pengembangan alat laboratorium fisika untuk sekolah.
5. Mampu menganalisis masalah, menemukan sumber masalah, dan menyelesaikan masalah instrumentasi fisika dalam proses pembelajaran fisika dan masalah manajemen laboratorium fisika sesuai dengan kaidah keilmuan fisika.
 6. Mampu bertanggungjawab atas pencapaian hasil kerja kelompok dan melakukan supervisi dan evaluasi terhadap penyelesaian pekerjaan yang ditugaskan kepada pekerja yang berada di bawah tanggungjawabnya.

Capaian pembelajaran lulusan yang dibebankan pada mata kuliah, sebagai berikut.

1. Selalu berdoa sebelum dan sesudah pembelajara (S1)
2. Mampu memahami surah Al-Qamar ayat 49 dan surah Al-Furqan ayat 2 tentang besaran (S1)
3. Mampu menunjukkan sikap saling menghargai dan menghormati sesama baik itu terhadap dosen maupun sesama mahasiswa sebagai wujud ketakwaan kepada Tuhan Yang Maha Esa (S1)
4. Menganalisis materi mata kuliah (PPBK 1)
5. Mampu menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif tentang hukum dan konsep Fisika (PPBK 1)
6. Menerapkan rumus-rumus dalam Fisika (PPBK 1)
7. Menganalisis pengaruh konsep Fisika terhadap berbagai peristiwa yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari (PPBK 1)
8. Mengaitkan hubungan antara konsep Fisika dengan konsep Matematika (PPBK 1)
9. Memahami tata cara dan aturan-aturan yang benar dalam praktikum (PPK 2)
10. Dapat melakukan kegiatan praktikum dengan baik. (PPK 2)

11. Mampu menggunakan alat ukur dengan tepat dan benar (PPK 4c)
12. Mampu menganalisis data hasil pengukuran (PPK 4c, KKBK 3)
13. Mampu menarik kesimpulan sesuai dengan hasil analisis data dan informasi yang diperoleh. (PPK 4c, KKBK 3)
14. Mampu memberikan saran dan kritikan berdasarkan hasil analisis data dan informasi yang diperoleh (PPK 4c, KKBK 3)
15. Mampu melakukan kerja sama yang baik bersama anggota kelompok. (KU 7 dan S9)
16. Mampu mengarahkan anggota kelompok sesuai dengan tugas masing-masing. (KU 7 dan S9)
17. Mampu mempertahankan hasil kerja kelompoknya. (KU 7 dan S9)

BAB II

BESARAN DAN SATUAN



Gambar 1.1 Pesawat (Sumber: Encarta Encyclopedia, 2006)

A. Pengantar

Pembelajaran ini diberikan untuk dijadikan bekal bagi mahasiswa untuk mempelajari mata kuliah yang lebih tinggi tingkatannya di program sarjana. Pada bab pertama ini materi yang akan dibahas dimulai dengan besaran, fungsi, differensial, integrasi, dan vektor.

Hukum-hukum fisika menyatakan bahwa hubungan antara besaran-besaran fisik, seperti panjang, waktu, gaya, energi, dan suhu. Jadi kemampuan untuk mendefinisikan besaran-besaran tersebut secara tepat dan mengukurnya secara teliti merupakan suatu syarat dalam fisika. Sebagai contoh, untuk mengukur jarak dua titik, kita membandingkan jarak tersebut dengan satuan

standar (meter) sama halnya jika kita menggunakan meteran untuk mengukurnya. Hasil pengukuran suatu jarak tertentu '30 meter', jika biasanya mengatakan jarak adalah '30' maka tidak ada artinya. Jadi penting untuk menyertakan satuan meter bersama bilangan dalam menyatakan jarak.

B. Besaran



Gambar 1.2. Termometer dapat Mengukur Suhu Seseorang (Sumber: apamaksud.com)

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 menye-

lesaikan 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	k	[M]
3	Waktu Arus	sekon ampere	g	[T]
4	ListrikSuhu	Kelvin mole	s	[I]
5	Jumlah Zat	candela	A	[θ]
6	Intensitas		K	[N]
7	Cahaya		mol 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

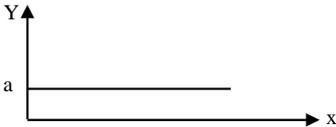
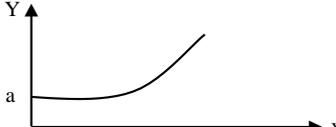
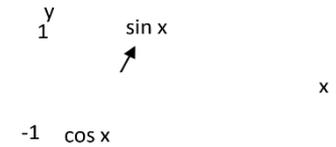
Besaran Turunan	Rumus	Dimensi	Satuan
			(SI)
Luas	Panjang x Lebar	$[L][L] = [L]^2$	m^2
Volume	Panjang x Lebar x Tinggi	$[L][L][L] = [L]^3$	m^3
Massa Jenis	Massa / Volume	$[M]/[L]^3 = [M][L]^{-3}$	kg/m^3
Kecepatan	Jarak / Waktu	$[L]/[T] = [L][T]^{-1}$	m/s
Percepatan	Kecepatan/Waktu	$[L][T]^{-1}/[T] =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

C. 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: $y = \sin x$ $y = \cos x$	

D. 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 defenisi turunan adalah:

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

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

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

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;

$$\begin{aligned} v &= \frac{dx}{dt} = \frac{d(10t - 3t^2)}{dt} = 10 - 6t \\ &= 10 - 6(1) \\ &= 4 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{dv}{dt} = \frac{d(10 - 6t)}{dt} \\ &= 0 - 6 = -6 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

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

Jawab:

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

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

E. 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 matemats, integrasi bias berarti penjumlahan, mencari luas dibawah 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

- 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.

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

$$v = 20t + C_1$$

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

$$C_1 = 30$$

v pada saat $t = 10$ detik

$$v = 20t + C_1$$

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

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

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

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

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

$$10 = 10 + 30 + C_2$$

$$C_2 = -30$$

$$\begin{aligned}
 x & \text{ pada saat } t = 10 \text{ detik} & x = 10t^2 + 30t + C_2 \\
 x & = 10(10)^2 + 30(10) + (-30) \\
 x & = 1000 + 300 - 30 \\
 x & = 1270 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

F. Vektor

1. 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.

2. 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 (1.2) di gambar vektor dengan titik pangkalnya P, titik ujungnya Q serta sesuai arah panah dan nilai vektornya sebesar panjang.



Gambar 1. 3. 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 tandapanah 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)

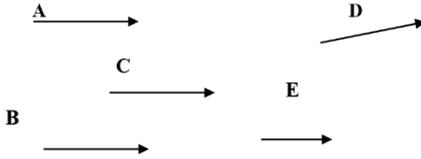
Untuk penulisan harga (nilai) dari vektor dituliskan dengan huruf biasa atau dengan memberi tanda mutlak dari vektor tersebut.

Contoh:

Vektor \vec{A} . Nilai vektor \vec{A} ditulis dengan A atau $|A|$ 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:
 - 1) Kedua vektor mempunyai nilai yang sama tetapi berlainan arah.
 - 2) Kedua vektor mempunyai nilai yang berbeda tetapi arah sama.
 - 3) Kedua vektor mempunyai nilai yang berbeda dan arah yang berbeda.

Untuk lebih jelasnya lihat gambar di bawah ini:



Gambar 1.4. Gambar Beberapa Buah Vektor

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

$\mathbf{A} = \mathbf{C}$ artinya: nilai dan arah kedua vektor sama

$\mathbf{A} = -\mathbf{B}$ artinya: nilainya sama tetapi arahnya berlawanan

$\mathbf{A} \neq \mathbf{D}$ artinya: nilainya sama tetapi arahnya berbeda

$\mathbf{D} \neq \mathbf{E}$ artinya: nilai dan arahnya berbeda

3. 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:

a. Metode Jajaran Genjang

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



Gambar 1.5. 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:

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

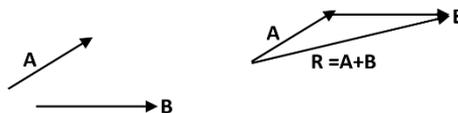
θ adalah sudut yang dibentuk oleh vektor **A** dan **B**

Catatan:

- Jika vektor **A** dan **B** searah, berarti $\theta = 0^\circ$: $R = A + B$.
- Jika vektor **A** dan **B** berlawanan arah, berarti $\theta = 180^\circ$: $R = A - B$.
- Jika vektor **A** dan **B** saling tegak lurus, berarti $\theta = 90^\circ$: $R = 0$ Untuk pengurangan (selisih) vektor = $A - B$, maka caranya sama saja, hanya vektor B digambarkan berlawanan arah dengan yang diketahui.

b. Metode Segitiga

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



Gambar 1. 6 Jumlah Vektor **A + B**, dengan Metode Segitiga

Langkah-langkah:

- 1) Gambarkan vektor **A**
- 2) Gambarkan vektor **B** dengan cara meletakkan pangkal vektor **B** padaujung vektor **A**
- 3) Tariklah garis dari pangkal vektor **A** ke ujung vektor **B**
- 4) Vektor resultan merupakan vektor yang mempunyai pangkal di vektor **A** dan mempunyai ujung di vektor **B**.

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

c. Metode Polygon

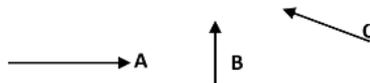
Pada metode ini, tahapannya sama dengan metode segitiga, hanya saja metode ini untuk menjumlahkan lebih dari dua vektor. Pada titik koordinat besar vektor:

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

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

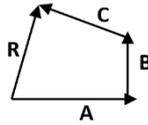
Contoh Soal

1. Jumlahkan ketiga buah vektor **A**, **B**, dan **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: $A = 3i + j$, $B = -2i$, $C = i + 2j$. Tentukan jumlah ketiga vector dan kemana arahnya? Jawab :

Dik. $A = 3i + j$,

$B = -2i$,

$C = i + 2j$

Dit. R dan θ?

Penye.

$$R = A + B + C$$

$$= (3i+j)+(-2i)+(i+2j) = 2i + 3j$$

Besar vektornya :

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

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

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

Arahnya:

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

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

4. 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 A yang hasilnya sebuah vektor baru 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:

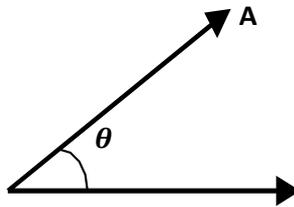
$$C = k A$$

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:

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



Gambar 1. 7 Perkalian Titik

Ket. A dan B vektor C besaran scalar

Besar C didefinisikan sebagai:

$$C = AB \cos \theta$$

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

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

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

Sifat-sifat perkalian titik:

- bersifat komutatif : $A \cdot B = B \cdot A$

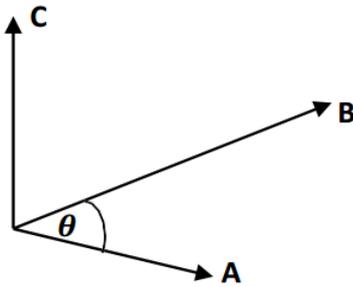
- bersifat distributif : $A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$

- jika A dan B saling tegak lurus maka : $A \cdot B = 0$

c. Perkalian silang (cross product)

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

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



Gambar 1. 8 Perkalian Silang

Ket. A, B, dan C vektor

Nilai C didefinisikan sebagai berikut:

$$C = AB \sin \theta$$

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

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

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

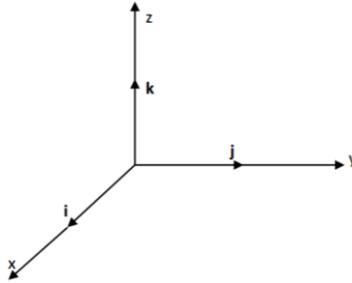
Arah vektor C dapat diperoleh dengan cara membuat putaran dari vektor A ke B melalui sudut θ .

Sifat-sifat perkalian silang (cross Product):

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

5. 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. 9 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

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

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

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

b. Perkalian silang

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

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

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

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

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

Contoh:

Tentukanlah hasil perkalian titik dan perkalian silang dari dua buahvektor 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:

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

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.

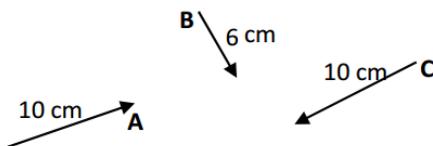
$$\begin{aligned} \mathbf{A} \cdot \mathbf{B} &= (A_x \mathbf{i} + A_y \mathbf{j} + A_z \mathbf{k}) \cdot (B_x \mathbf{i} + B_y \mathbf{j} + B_z \mathbf{k}) \\ &= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z \end{aligned}$$

5. Perkalian silang.

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

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:



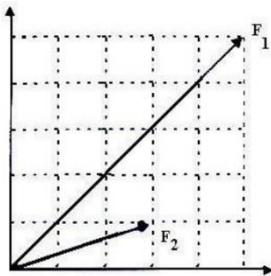
5. Diberikan tiga buah vektor: $\mathbf{A} = 3\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 2\mathbf{k}$; $\mathbf{B} = -\mathbf{i} - 4\mathbf{j} + 2\mathbf{k}$, $\mathbf{C} = 2\mathbf{i} + 2\mathbf{j} + \mathbf{k}$. Hitunglah:
 - a. $\mathbf{A} \cdot (\mathbf{A} \times \mathbf{C})$
 - b. $\mathbf{A} \cdot (\mathbf{B}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

Evaluasi

A. Pilihan jawaban yang paling tepat!

1. Diantara kelompok besaran berikut, yang termasuk kelompok besaran pokok dalam system Internasional adalah
 - A. Suhu, volume, massa jenis dan kuat arus
 - B. Kuat arus, panjang, waktu, dan massa jenis
 - C. Panjang, luas, waktu dan jumlah zat
 - D. Kuat arus, intersitas cahaya, suhu, waktu
 - E. Intensitas cahaya, kecepatan, percepatan, waktu
2. Berikut ini yang merupakan satuan besaran pokok adalah ...
 - A. Newton ,Meter, Sekon
 - B. Meter, Sekon, Watt
 - C. Kilogram, Kelvin, Meter
 - D. Newton, Kilogram, Kelvin
 - E. Kelvin, Joule, Watt
3. Sebuah pipa berbentuk silinder berongga dengan diameter dalam 1,6 mm dan diameter luar 2,1 mm. Alat yang tepat untuk mengukur diameter dalam pipa tersebut adalah...3 m/s
 - A. Mistar
 - B. Altimeter
 - C. Mikrometer
 - D. Jangka Sorong
 - E. Amperemeter
4. Hasil pengukuran panjang dan lebar suatu bidang persegi panjang masing-masing 12,73 cm dan 6,5 cm. Menurut aturan penulisan angka penting, luas bidang tersebut adalah
 - A. 82,74 cm²
 - B. 82,745 cm²
 - C. 82,75 cm²
 - D. 82,8 cm²
 - E. 83 cm²

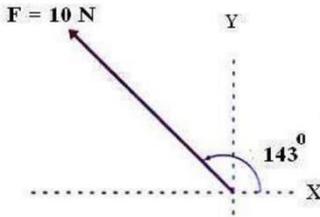
5. Dari hasil pengukuran di bawah ini yang termasuk vektor adalah ...
- Gaya, daya dan usaha
 - Gaya, berat dan massa
 - Perpindahan, laju dan kecepatan
 - Kecepatan, momentum dan berat
 - Percepatan, kecepatan dan daya
6. Dua buah vector V_1 dan V_2 masing-masing besarnya 12 satuan dan 5 satuan. Kedua vector tersebut membentuk sudut 90° . Resultan kedua gaya adalah...
- 7 satuan
 - 5 satuan
 - 7 satuan
 - 12 satuan
 - 13 satuan
7. Dua buah vector F_1 dan F_2 masing-masing besarnya 12 satuan dan 12 satuan. Kedua vector tersebut membentuk sudut 120° . Resultan kedua gaya adalah...
- 0 satuan
 - 6 satuan
 - 12 satuan
 - 15 Satuan
 - 24 satuan
8. Dua vektor gaya tampak pada gambar berikut;



Jika salah satu mewakili gaya 1 N, maka besarnya resultan kedua gaya adalah ...

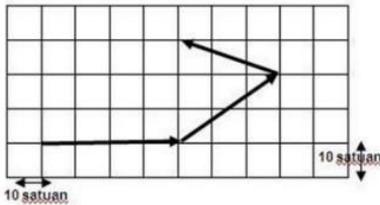
- 6 N
- 8 N
- 10 N
- 16 N
- 18 N

9. Sebuah Komponen-komponen vektor dari gambar vektor berikut adalah...



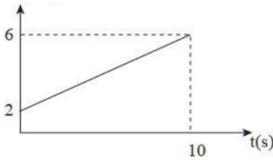
- A. $F_x = 6\text{ N}$ dan $F_y = 8\text{ N}$
B. $F_x = 8\text{ N}$ dan $F_y = 6\text{ N}$
C. $F_x = -6\text{ N}$ dan $F_y = 8\text{ N}$
D. $F_x = -8\text{ N}$ dan $F_y = 6\text{ N}$
E. $F_x = -8\text{ N}$ dan $F_y = -6\text{ N}$
10. Sebuah perahu menyeberangi sungai yang lebarnya 180 meter dan kecepatan arus airnya 4 m/s. Bila perahu di arahkan menyilang tegak lurus sungai dengan kecepatan 3 m/s, maka setelah sampai diseberang perahu telah menempuh lintasan sejauh.....
- A. 100 m
B. 240 m
C. 300 m
D. 320 m
E. 360 m
11. Vektor $F_1 = 20\text{ N}$ berimpit sumbu x positif, Vektor $F_2 = 20\text{ N}$ bersudut 120° terhadap F_1 dan $F_3 = 24\text{ N}$ bersudut 240° terhadap F_1 . Resultan ketiga gaya pada pernyataan di atas adalah:
- A. 4 N searah F_3
B. 4 N berlawanan arah dengan F_3
C. 10 N searah F_3
D. 16 N searah F_3
E. 16 N berlawanan arah dengan F_3

12. Jika sebuah vector = 12 N diuraikan menjadi dua buah vector yang saling tegak lurus dan yang sebuah dari padanya membentuk sudut 30° dengan vector itu, maka besar masing-masing adalah :
- A. 3N dan $3\sqrt{3}$ N D. 6N dan $6\sqrt{2}$ N
 B. 3N dan $3\sqrt{2}$ N E. 6N dan $6\sqrt{3}$ N
 C. 6N dan $3\sqrt{2}$ N
13. Tiga vektor perpindahan tampak pada gambar berikut.



- Jika salah satu garis kotak mewakili perpindahan 10 satuan maka Resultan perpindahan dari grafik di atas adalah ...
- A. 100 satuan D. 60 satuan
 B. 80 satuan E. 50 satuan
 C. 70 satuan
14. 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. Kecepatan dan jarak pada saat $t = 10$ detik adalah...
- A. 1000 m D. 1270 m
 B. 1150 m E. 1300 m
 C. 1200 m
15. Seseorang Kecepatan dan percepatan benda pada saat $t = 1$ detik jika posisi benda dinyatakan oleh $x = 10t - 3t^2$ adalah.....
- A. 100 m D. 44 m
 B. 34 m E. 55 m
 C. 124 m

20. Benda yang bergerak lurus berubah beraturan diwakili oleh grafik v-t di bawah.



- Tentukan percepatan rata-rata dan jarak yang ditempuh selama 10 s.
- A. 15 m
B. 27 m
C. 34 m
D. 40 m
E. 44m
21. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 27 km/jam, kemudian mobil dipercepat dengan percepatan 2 m/s². Hitunglah kecepatan mobil selama 5 detik setelah percepatan tersebut!
- A. 9 m/s
B. 12,5 m/s
C. 15 m/s
D. 17,5 m/s
E. 20 m/s
22. Seorang pemain baseball melempar bola sepanjang sumbu Y dengan kecepatan awal 12 m/s. Berapa waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai ketinggian maksimum dan berapa ketinggian maksimum yang dapat dicapai bola tersebut?
- A. 1 s & 4 m
B. 1 s & 4 m
C. 1 s & 4 m
D. 1 s & 4 m
E. 1 s & 4 m
23. Herman berlari dengan kecepatan 2 m/s. Jarak yang ditempuh Herman selama 3,5 menit adalah....?
- A. 420 m
B. 120 m
C. 320 m
D. 220 m
E. 250 m

24. Jika Andi mengendarai sepeda motor yang mempunyai kecepatan tetap 36 km/jam selama 10 sekon. Maka jarak yang ditempuh oleh Andi adalah....
- 100 m
 - 34 m
 - 124 m
 - 44 m
 - 55 m
25. Mobil bergerak dengan kecepatan tetap 108 km/jam. Berapa perpindahan mobil selama 15 detik !
- 420 m
 - 120 m
 - 320 m
 - 220 m
 - 250 m

Jawablah dengan benar!

- Jelaskan perbedaan antara besaran pokok dan besaran turunan!
- 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!
- Hitunglah besar kecepatan dan percepatan benda pada saat $t = 2$ detik jika posisi benda dinyatakan oleh $x = 5t^4 - 4t^2$!
- 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.
- Gambarkan bentuk grafik dari fungsi trigonometrik!
- Seekor semut berpindah dari suatu titik acuan. Dari titik acuan tersebut semut bergerak sejauh 50 cm dengan sudut

370 terhadap arah utara. Kemudian berpindah lagi sejauh 40 cm ke barat dan diteruskan sejauh 3m ke selatan. Tentukan perpindahan total semut tersebut.

7. Vektor gaya dan perpindahan mempunyai persamaan $F = (\hat{i} + \hat{j} + k)N$ dan $s = (3\hat{i} + 4\hat{j} + 6\hat{k})m$. Tentukan usaha yang dilakukan gaya tersebut!
8. Sebuah gaya dengan persamaan $F = (\hat{i} + 2\hat{j} - \hat{k}) N$ bekerja pada daun pintu. Dilihat dari sebuah engsel, gaya tersebut bekerja pada vektor posisi $r = (0,8\hat{i} + 0,2\hat{j})m$. Tentukan persamaan momen gaya yang ditimbulkan gaya tersebut.

BAB III

KINEMATIKA DAN DINAMIKA



Gambar 2. 1 Kincir (Sumber: Kompas, 20 Juli 2006)

A. Pengantar

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.

Besaran-besaran gerak seperti posisi, perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya dan sebagainya sering dijumpai dalam kegiatan sehari-hari. Kemudian, tanpa kita sadari bahwa kegiatan yang telah kita lakukan merupakan kegiatan. Adapun capaian

pembelajaran mata kuliah: menganalisis kinematika dan dinamika dalam kehidupan sehari-hari.



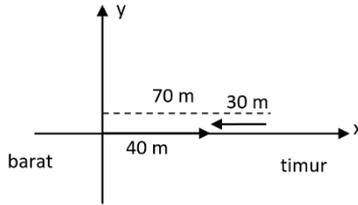
Gambar 2. 2 Besaran Dasar Kinematika
 www.tehfitsystem.com)

B. Jarak dan Perpindahan

Jarak dan perubahan adalah dua besaran dengan maksud yang sama tetapi dengan defenisi 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 2.3).



Gambar 2. 3 Jarak dan Perpindahan

C. Kecepatan dan Percepatan

1. Kecepatan Rata-Rata Dan Kecepatan Sesaat

a. 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 2.3, 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.

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

b. 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

a. Percepatan Rata-Rata

Benda yang kecepatannya berubah dikatakan mengalami percepatan. Sebuah mobil yang besar kecepatannya 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.

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

b. 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.

D. GLB Dan 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:

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

1. Gerak dengan Kecepatan Konstan (GLB)

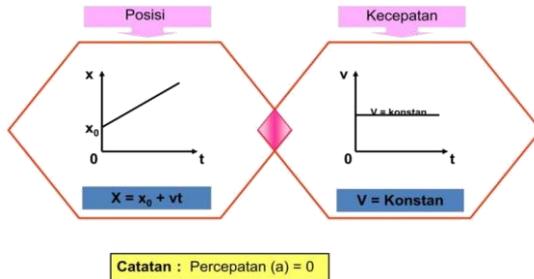
Gerak lurus beraturan adalah gerak benda yang lintasannya lurus dan kecepatannya konstan (tetap). Contoh gerak GLB adalah mobil yang bergerak pada jalan lurus dan berkecepatan tetap. Persamaan yang digunakan pada GLB adalah sebagai berikut:

$$v = x/t$$

Keterangan:

x adalah jarak atau perpindahan (m)

v adalah kelajuan atau kecepatan (m/s) t adalah waktu yang dibutuhkan (s)



Gambar 2. 4 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. $x_0 = 10 \text{ km} = 10.000 \text{ m}$

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

$$36.000 \text{ s} = 25 \text{ m/st} = 15$$

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

Dit. x ? Jarak ?

Penye. Posisi mobil setelah : 15 menit

$$x_t = x_0 + v \cdot t = 10.000 + 25 \times 900$$

$$= 32.500 \text{ m}$$

posisi mobil tersebut 32.500 m setelah 15 menit Jarak yang ditempuh setelah 15 menit

$$x = v \cdot t$$

$$= 25 \times 900 = 22.500 \text{ m}$$

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 saatakhir 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:

$$v = v_0 + a(t - 0)$$

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

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

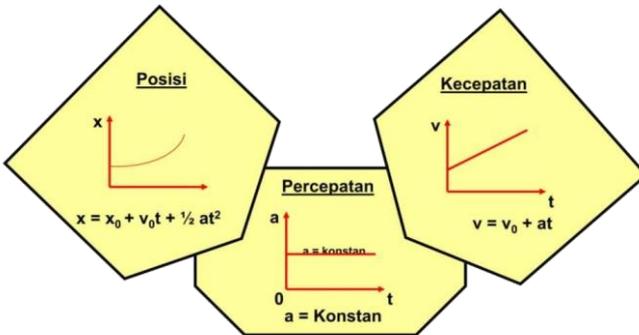
Dan diperoleh:

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

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. 5 Gerak Lurus Berubah Beraturan

Contoh Soal

Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 27 km/jam, kemudian mobil dipercepat dengan percepatan 2 m/s². 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, \dots ?

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

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

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

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

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

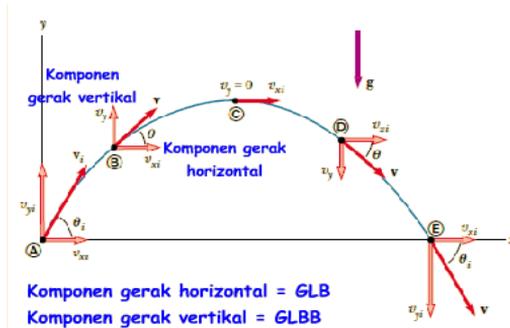
$$= 37,5 + 25 = 62,5 \text{ m}$$

E. 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. 6 Gerak Peluru (www.altime.ru)

Jika sebuah benda diarahkan ke sudut atas, seperti pada Gb. 2.6, 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.	$x = x_0 + v_{x0} t + \frac{1}{2} a_x t^2$	$y = y_0 + v_{y0} t + \frac{1}{2} a_y t^2$
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 8 yang mengasumsikan y positif ke atas, sehingga $a_y = -g$. perhatikan jika θ dipilih relatif terhadap sumbu +x, seperti pada gambar 2.6 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 (ypositif 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:

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

$$= \frac{v_x}{v_y}$$

dan arah kecepatan peluru α didapat dari : $\tan \theta$

Contoh Soal

Sebuah benda dilemparkan dengan sudut elevasi 37° dan dengan kecepatan awal 10 m/s . Hitunglah: kecepatan dan posisi benda setelah $0,5 \text{ s}$, jika diketahui percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 .

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

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

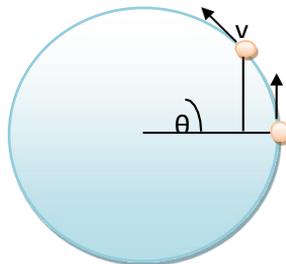
F. Gerak Melingkar

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.



Gambar 2.7 Jarum, Detik, dan Jam Melakukan Gerak Melingkar (Sumber: fisikabc.com)

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. 8 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 secaramelingkar 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 di mana $v = \omega r$

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

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)

ac = percepatan sentripetal (m/s^2)

Percepatan total: $a = \sqrt{ar^2 + ac^2}$

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 sentripetalbola?

Jawab.

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

Dit. $ac.....?$

Penye. $T = \frac{1}{2} = 0,5 s$

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

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

G. Hukun 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 .

a. 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.

b. 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 divariasikan 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 dituliskan:

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

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 kg;
 $v_0 = 0$
m/s;
20 m/s;
 $\Delta x = 200$
m

Dit. F.....?

Penye. $F = m \cdot a$

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

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

c. 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.

d. 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:

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

“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: Dimana pada $F_E = mg$.

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. $m_1 = 50 \text{ kg}$; $m_2 = 75 \text{ kg}$; $r = 0,50 \text{ m}$ Dit.

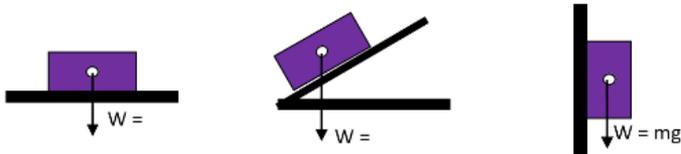
F.....?

Penye.

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

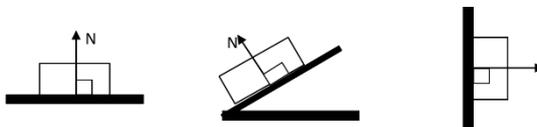
H. Macam-Macam Gaya

Pertama. 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.



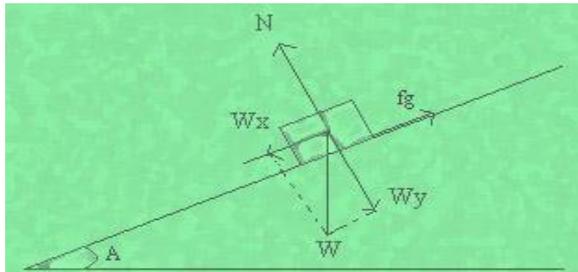
Gambar 2. 9 Arah Vektor Gaya Berat

Kedua. 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. 10 Arah Vektor Gaya Normal

Ketiga. 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. 11 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 selalutetap, dan dirumuskan dengan:

$$f_k = \mu_k N$$

Perhatikan gambar 2.10 di atas,

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

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

f_k = Gaya Gesek Kinetis

F_y = 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

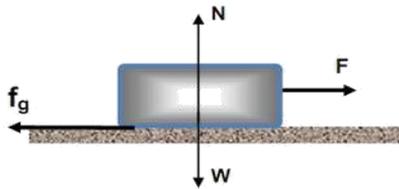


Sebuah balok bermassa 4 kg terletak diam pada bidang datar. Hitunglah:

Gaya gesekan kinetis dan statis benda jika lantai kasar dengan $\mu_s = 0,4$ dan $\mu_k = 0,2$ yang ditarik dengan gaya $F = 10$ N.

Penyelesaian:

Diagram gaya untuk kasus ini adalah sebagai berikut:



Jawab.

Dik. $m = 4$ kg; $F = 10$ 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), benda diam ($a=0$)

$$\Sigma F = 0$$

$$N - W = 0 \text{ sehingga } N = W = mg = 4 \cdot 10 = 40 \text{ N}$$

$$10 = 40 \text{ N}$$

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 $\Sigma F = 0$

Hukum Newton I:

$$\Sigma F = m a$$

Hukum Newton II:

Hukum Newton III:

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

Hukum Grafitasi 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. Balok bermassa 20 kg berada di atas bidang miring licin dengan sudut kemiringan 30° . Jika balok didorong ke atas dengan kecepatannya tetap maka besarnya gaya yang harus diberikan adalah

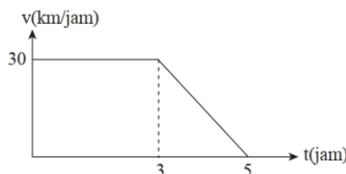
A. 100 N	D. 60 N
B. 110 N	E. 80 N
C. 50 N	
2. Balok A bermassa 4 kg diletakkan di atas balok B yang bermassa 6 kg. Kemudian balok B ditarik dengan gaya F di atas lantai mendatar licin sehingga gabungan balok itu mengalami percepatan $1,8 \text{ m/s}^2$. Jika tiba-tiba balok A terjatuh maka percepatan yang dialami oleh balok B saja, adalah

A. 6 m/s	D. 3 m/s
B. 5 m/s	E. 2 m/s
C. 4 m/s	

7. 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. Peristiwa di atas merupakan contoh gerak...
- Gerak relatif
 - Gerak semu
 - Gerak lurus
 - Gerak total
 - Gerak lurus beraturan
8. Sebuah partikel bergerak dengan persamaan lintasan $r=3t^2-t^3$. Hitung besar kecepatan partikel pada waktu $t=3$ detik.
- 3 m/s
 - 6 m/s
 - 6 m/s
 - 9 m/s
 - 9 m/s
9. Sebuah benda bergerak dengan mengikuti persamaan $x=2t^2+4t-2$. Diketahui x adalah perpindahan yang ditempuh benda (dalam meter) dan t adalah waktu tempuh (sekon). Maka kecepatan rata-rata pada saat $t = 1$ s dan $t = 2$ s adalah....
- 35 m/s
 - 30 m/s
 - 35 m/s
 - 20 m/s
 - 10 m/s
10. Benda dilempar keatas dari ketinggian awal 5 meter sehingga benda bergerak dengan kecepatan $v=60-10t$. Ketinggian benda setelah 12 detik adalah... .
- | | |
|---------|---------|
| A. 0 m | D. 11 m |
| B. 5 m | E. 6 m |
| C. 10 m | |

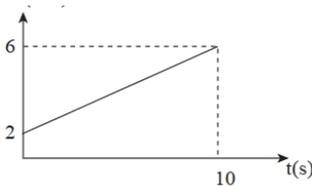
11. Rosi berada 150 meter di sebelah utara stadion. Dia bergerak dengan kecepatan konstan sebesar 12 m/s selama 1 menit ke arah utara. Maka, posisi Rosi terhadap stadion dan jarak yang ditempuh selama waktu tersebut adalah
- A. 720 m
 - B. 705 m
 - C. 810 m
 - D. 870 m
 - E. 270 m
12. Dua buah mobil yang terpisah sejauh 75 km bergerak saling mendekati pada saat yang bersamaan, masing-masing dengan kecepatan 90 km/jam dan 60 km/jam. Maka waktu mereka berpapasan adalah. . . .
- A. 0,5 jam
 - B. 1 jam
 - C. 2 jam
 - D. 4 jam
 - E. 6 jam
13. Bayangkan lintasan sebuah bumerang yang sedang dilempar dan kembali kepada si pelempar. Jika bumerang melintasi sepanjang 10 m sebelum kembali kepada si pelempar dalam waktu 10 s, berapa kelajuan rata-rata dari boomerang tersebut ?
- A. 2 m/s
 - B. 3 m/s
 - C. 4 m/s
 - D. 5 m/s
 - E. 6 m/s
14. Benda yang semula diam didorong sehingga bergerak dengan percepatan tetap 3 m/s². Berapakah besar kecepatan benda itu setelah bergerak 5 s?
- A. 11 m/s
 - B. 13 m/s
 - C. 15 m/s
 - D. m/s
 - E. 19 m/s

15. Mobil yang semula bergerak lurus dengan kecepatan 5 m/s berubah menjadi 10 m/s dalam waktu 6 s. Jika mobil itu mengalami percepatan tetap, berapakah jarak yang ditempuh dalam selang waktu 4 s itu?
- A. 12 m
 B. 20 m
 C. 27 m
 D. 30 m
 E. 34 m
16. Sebuah mobil yang melaju dengan kecepatan 72 km/jam mengalami pengereman sehingga mengalami perlambatan 2 m/s². Tentukan jarak yang ditempuh mobil sejak pengereman sampai berhenti!
- A. 40 m
 B. 60 m
 C. 80 m
 D. 100 m
 E. 110 m
17. Adam berlari di jalan lurus dengan kelajuan 4 m/s dalam waktu 5 menit, lalu berhenti selama 1 menit untuk kemudian melanjutkan larinya. Kali ini dengan kelajuan 5 m/s selama 4 menit. Berapakah kelajuan rata-rata Adam?
- A. 2 m/s
 B. 3 m/s
 C. 4 m/s
 D. 6 m/s
 E. 8 m/s
18. Mobil yang bergerak GLBB diwakili oleh grafik $v - t$ seperti pada gambar di bawah.



Berapakah jarak total yang ditempuh oleh mobil itu?

- A. 100 km
 - B. 120 km
 - C. 150 km
 - D. 165 km
 - E. 170 km
19. Budi berlari ke Timur sejauh 20 m selama 6 s lalu balik ke Barat sejauh 8 m dalam waktu 4 s. Hitung kelajuan rata-rata (v) !
- A. 1,5 m/s
 - B. 2 m/s
 - C. 2,8 m/s
 - D. 3 m/s
 - E. 3,4 m/s
20. Benda yang bergerak lurus berubah beraturan diwakili oleh grafik $v - t$ di bawah.



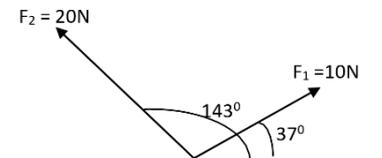
Tentukan percepatan rata-rata dan jarak yang ditempuh selama 10 s.

- A. 15 m
 - B. 27 m
 - C. 34 m
 - D. 40 m
 - E. 44 m
21. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 27 km/jam, kemudian mobil dipercepat dengan percepatan 2 m/s^2 . Hitunglah kecepatan mobil selama 5 detik setelah percepatan tersebut.
- A. 9 m/s
 - B. 12,5 m/s
 - C. 15 m/s
 - D. 17,5 m/s
 - E. 20 m/s

22. Seorang pemain baseball melempar bola sepanjang sumbu Y dengan kecepatan awal 12 m/s . Berapa waktu yang dibutuhkan bola untuk mencapai ketinggian maksimum dan berapa ketinggian maksimum yang dapat dicapai bola tersebut?
- A. 1 s & 4 m
 - B. 1 s & 4 m
 - C. 1 s & 4 m
 - D. 1 s & 4 m
 - E. 1 s & 4 m
23. Herman berlari dengan kecepatan 2 m/s . Jarak yang ditempuh Herman selama $3,5$ menit adalah....?
- A. 420 m
 - B. 120 m
 - C. 320 m
 - D. 220 m
 - E. 250 m
24. Mobil bergerak dengan kecepatan tetap 108 km/jam . Berapa perpindahan mobil selama 15 detik?
- A. 400 m
 - B. 450 m
 - C. 500 m
 - D. 510 m
 - E. 550 m
25. Jika Andi mengendarai sepeda motor yang mempunyai kecepatan tetap 36 km/jam selama 10 sekon. Maka jarak yang ditempuh oleh Andi adalah....?
- A. 100 m
 - B. 34 m
 - C. 124 m
 - D. 44 m
 - E. 55 m

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 ($m_M = 7,35 \times 10^{22}$ 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 $\frac{1}{2} g$.

BAB IV

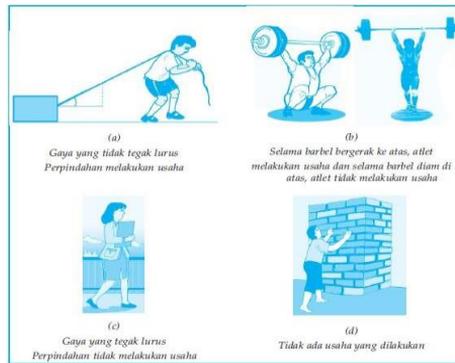
USAHA DAN ENERGI

A. Pengantar

Dalam bab ini kita akan mendalami konsep usaha dan energi, dan kita akan melihat bagaimana menggunakan hukum kekekalan energi untuk memecahkan berbagai soal. 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 menanganinya 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. 2 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.

B. Usaha

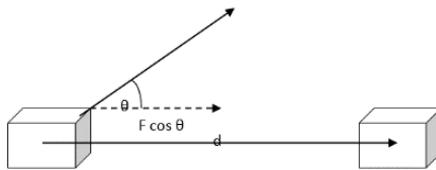
Gambar 3.3
Mendorong Benda
salah satu contoh usaha
(Sumber: quipper.com)



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. 4 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

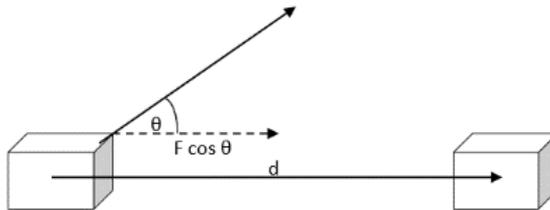
$$W = \int_a^b \vec{F}_i \cdot d\vec{s}_i$$

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

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. 5 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 ber-massa 5 kg yang terletak pada bidang datar selama 10 sekon. Jika benda mula-mula diam dan arah gaya searah dengan perpindahan benda, maka tentukan:
 - 1.8 jarak yang ditempuh benda selama 10 sekon.
 - 1.9 usaha yang dilakukan oleh gaya pada benda selama 10 sekon!

Penyelesaian:

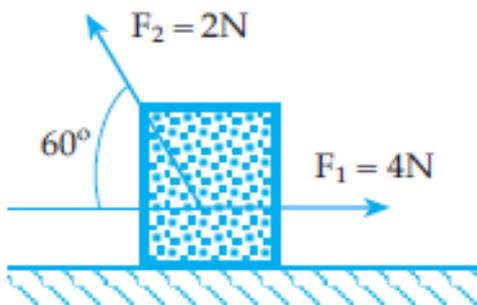
Diketahui: $F = 10 \text{ N}$; $m = 5 \text{ kg}$; $t = 10 \text{ sekon}$; $V_0 = 0$

Ditanya: a) S b) W

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } a &= \frac{F}{m} = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2 & \text{b. } W &= F \cdot s = 10 \cdot 100 = 1000 \text{ J} \\ & & S &= V_0 t + 1/2 at^2 = 100 \text{ m} \end{aligned}$$

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 $0,5 \text{ m}$, 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:

$$W = W_1 + W_2$$

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

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

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

C. 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 energimatahari.

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:

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

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

$$W_{Tot} = m \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} \right) d \text{ (Pers. sebelumnya } v_2^2 = v_1^2 + 2ad)$$

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

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 25m/s.

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

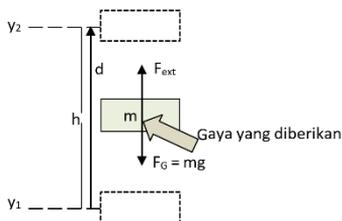
Penyelesaian; a. $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(0,145 \text{ kg})(25 \text{ m/s})^2 = 45 \text{ J}$

c. $W = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 45 \text{ J} - 0 = 45 \text{ J}$

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. 5 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 3.4), maka orang tersebut harus melakukan usaha yang sama dengan hasil kali gaya eksternal yang dibutuhkan $F_{ext} = mg$ ke atas (jika diasumsikan arah ke atas positif) dan jarak vertikal h .

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

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 energipotensial yang dimilikinya.

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

Dengan demikian usaha yang dilakukan oleh gaya eksternal untuk menggerakkan massa m dari titik 1 ke titik 2 (tanpa perepatan) 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.

D. 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 ?

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

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

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

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

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

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

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)

E. 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 = ...?

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.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

3. Energi kinetik adalah energi yang dimiliki benda bergerak.

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

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

$$E_m = E_p + E_k$$

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

$$W = \Delta E_k$$

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

$$W = \Delta E_p$$

7. Hukum Kekekalan Energi Mekanik dirumuskan sebagai berikut.

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

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° 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

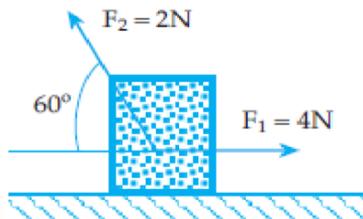
tiga sebuah gedung. Tinggi vertical tingkat ini 12 m di atas jalan raya.

- Berapa usaha yang dilakukannya?
- Berapa banyak ia telah menambah energi potensialnya?
- Jika ia naik tangga itu selama 20 sekon, berapa usahanya?

Evaluasi

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat

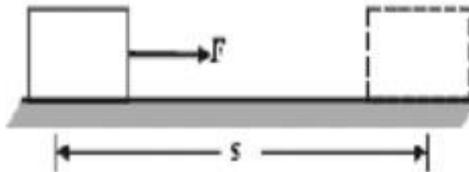
- Sebuah batu dijatuhkan yang mula-mula diam dengan ketinggian awal 530 cm. Tentukan besarnya kecepatan batu tersebut ketika telah mencapai posisi 275 cm di atas tanah.
A. 7,07 m/s
B. 6,03 m/s
C. 5,08 m/s
D. 4,03 m/s
E. 3,01 m/s
- Suatu gaya 10 N bekerja pada sebuah benda yang bermassa 5 kg yang terletak pada bidang datar selama 10 sekon. Jika benda mula-mula diam dan arah gaya searah dengan perpindahan benda, maka berapa jarak yang ditempuh benda selama 10 sekon ?
A. 10 m/s^2
B. 5 m/s^2
C. 4 m/s^2
D. 2 m/s^2
E. 1 m/s^2
- Perhatikan gambar berikut!



Gambar di atas 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?

- A. 1,5 N.m
 - B. 2 N.m
 - C. 2,6 N.m
 - D. 3,8 N.m
 - E. 4 N.m
4. 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... $g = 10 \text{ m/s}^2$
- A. 250 Joule/Sekon
 - B. 300 Joule/sekon
 - C. 360 Joule/sekon.
 - D. 420 Joule/sekon.
 - E. 450 Joule/sekon.
5. Perhatikan Gambar berikut!

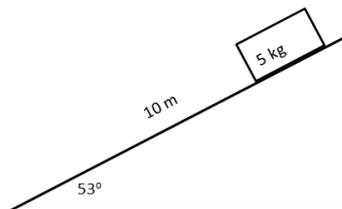


Sebuah benda yang beratnya 10 N berada pada bidang datar. Pada benda tersebut bekerja sebuah gaya mendatar sebesar 20 N sehingga benda berpindah sejauh 50 cm. berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut?

- A. 5 J
- B. 10 J
- C. 13 J
- D. 19 J
- E. 24 J

6. Paku bermassa 5 g terlepas dari tangan seorang tukang kayu. Ketika paku menyentuh tanah, kelajuan 30 m/s. jika gaya gesek paku terhadap tanah sebesar 45 N, hitunglah kedalaman paku yang mencakup dalam tanah!
- 0,01 m
 - 0,03 m
 - 0,05 m
 - 0,09 m
 - 0,1 m
7. Sebuah bola besi bermassa 20 kg jatuh bebas dari ketinggian 4 m di atas hamparan pasir. Sesampainya dipermukaan pasir bola besi tersebut bisa masuk sedalam 5 cm. berapakah gaya tahanan pasir terhadap bola?
- 10000 N
 - 15500 N
 - 16000 N
 - 18000 N
 - 24000 N
8. Mula-mula, sebuah benda dengan massa 2 kg berada di permukaan tanah. Kemudian, benda itu dipindahkan ke atas meja yang memiliki ketinggian 1,25m dari tanah. Berapakah perubahan energi potensial benda tersebut? ($g = 10 \text{ m/s}^2$)
- | | |
|---------|---------|
| A. 10 J | D. 25 J |
| B. 15 J | E. 27 J |
| C. 19 J | |
9. Sebuah bola bermassa 0,2 kg dilemparkan ke atas dengan kecepatan awal 10 m/s dari ketinggian 1,5 m. percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}^2$. Berapakah ketinggian bola pada saat kecepatannya 5 m/s?
- | | |
|-----------|----------|
| A. 4 m | D. 6,3 m |
| B. 5 m | E. 7 m |
| C. 5,25 m | |

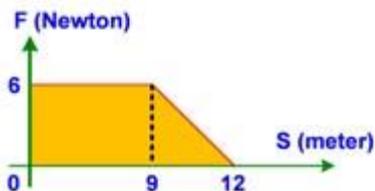
10. Sebuah balok bermassa 10 kg ditarik dengan gaya 50 N sehingga berpindah sejauh 10 m. Jika $\alpha = 60^\circ$ dan gesekan antara balok dan lantai diabaikan, berapakah usaha yang dilakukan gaya itu ?
- A. 120 J
B. 150 J
C. 180 J
D. 200 J
E. 250 J
11. Seorang anak yang massanya 40 kg berada di lantai 3 sebuah gedung pada ketinggian 15 m dari atas tanah. Berapa *energi potensial* anak jika sekarang anak tersebut berada di lantai 5 dan berada 25 m dari tanah !
- A. 5000 J
B. 7500 J
C. 8000 J
D. 9500 J
E. 10000 J
12. Sebuah benda bermassa 10 kg bergerak dengan kecepatan 20 m/s. Dengan mengabaikan gaya gesek yang ada pada benda. Berapa perubahan energi kinetik jika kecepatan benda menjadi 30 m/s !
- A. 2000 J
B. 2300 J
C. 2500 J
D. 3000 J
E. 3200 J
13. Sebuah benda massa 5 kg berada di bagian atas bidang miring yang licin.



Jika kecepatan awal benda adalah 2 m/s. Tentukan usaha yang terjadi saat benda mencapai dasar bidang miring. Gunakan gravitasi bumi $g = 10 \text{ m/s}^2$ dan $\sin 53^\circ = 4/5$!

- A. 250 J
- B. 300 J
- C. 350 J
- D. 400 J
- E. 450 J

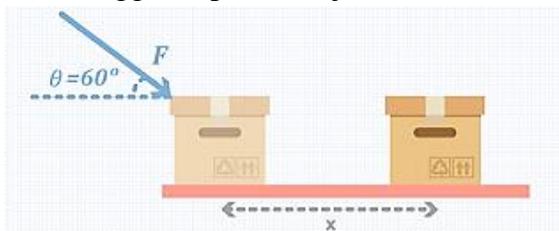
14. Perhatikan grafik gaya (F) terhadap perpindahan (S) berikut ini!



Tentukan besarnya usaha hingga detik ke 12!

- A. 20 J
- B. 37 J
- C. 43 J
- D. 50 J
- E. 63 J

15. Benda bermassa 500 gr didorong oleh gaya 16 N dengan sudut 60° sehingga berpindah sejauh 2,5 m.



Usaha yang dilakukan oleh gaya 16 N adalah . . .

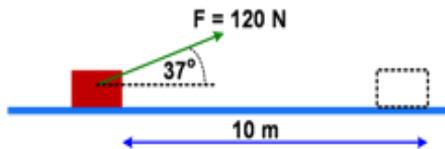
- | | |
|---------|---------|
| A. 16 J | D. 40 J |
| B. 20 J | E. 48 J |
| C. 32 J | |

19. Kelereng bermassa 20 g bergerak dengan kecepatan 3,6 km/jam. Besar energi kinetik yang dimiliki oleh kelereng tersebut adalah.....
- A. 1×10^{-2} J
 - B. 2×10^{-1} J
 - C. 2×10^0 J
 - D. 1×10^1 J
 - E. 10^2 J
20. Pernyataan yang benar mengenai hukum kekekalan energi adalah . . .
- A. Hukum kekekalan energi terjadi pada sistem non konservatif
 - B. Hukum kekekalan energi menunjukkan bahwa energi kinetik sistem kekal
 - C. Hukum kekekalan energi menunjukkan bahwa energi potensial sistem kekal
 - D. Hukum kekekalan energi menunjukkan bahwa energi mekanik sistem kekal
 - E. Hukum kekekalan energi menunjukkan bahwa perubahan energi internal sistem sama dengan energi kinetiknya
21. Kelapa bermassa 200 g berada pada ketinggian 10 m di atas tanah. Energi yang dimiliki kelapa tersebut adalah . . .
- A. 10 J
 - B. 15 J
 - C. 20 J
 - D. 25 J
 - E. 30 J
22. Kelapa bermassa 200 g berada pada ketinggian 10 m di atas tanah. Jika kemudian kelapa jatuh, maka kecepatan kelapa saat tepat akan menyentuh permukaan tanah adalah . . .
- A. 10
 - B. $10\sqrt{2}$
 - C. 20
 - D. $20\sqrt{2}$
 - E. 25

23. Balok bermassa 2 kg didorong dengan gaya 2 N sehingga berpindah sejauh 2 m. Usaha yang telah dilakukan untuk memindahkan balok sebesar . . .

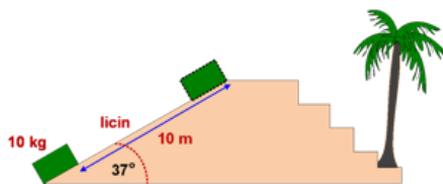
- A. 2 J
- B. 4 J
- C. 6 J
- D. 8 J
- E. 10 J

24. Sebuah balok ditarik gaya $F = 120\text{ N}$ yang membentuk sudut 37° terhadap arah horizontal seperti pada gambar. Jika balok bergeser sejauh 10 m, tentukan usaha yang dilakukan pada balok!



- A. 600 J
- B. 760 J
- C. 800 J
- D. 960 J
- E. 1000 J

25. Benda 10 kg hendak digeser melalui permukaan bidang miring yang licin seperti gambar berikut!

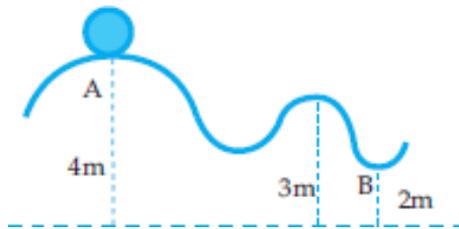


Tentukan usaha yang diperlukan untuk memindahkan benda tersebut.

- A. 200 J
- B. 300 J
- C. 400 J
- D. 500 J
- E. 600 J

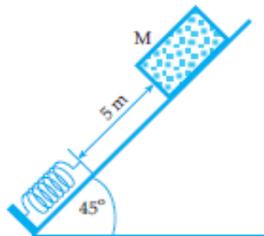
B. Jawablah dengan Benar

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 hp = 746 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 = 275N/m !
5. Mila memindahkan buku 200 gram dari permukaan tanah ke atas meja setinggi 1,25 m. Tentukan besar usaha yang diperlukan!

BAB V

ELASTISITAS DAN GAYA PEGAS

A. Pengantar

Dalam bab ini kita akan membahas materi mengenai elastisitas dan gaya pegas yang meliputi tegangan dan regangan, modulus elastisitas, hukum hooke, dan energi potensial pegas. Dalam kehidupan sehari jika sebuah pegas diregangkan akan tampak bahwa panjang pegas bertambah. Namun begitu dilepaskan, pegas kembali ke panjang semula. Sebaliknya, jika pegas ditekan dari dua ujungnya maka panjang pegas berkurang. Namun, begitu tekaan hilang, pegas akan kembali ke panjang semula.

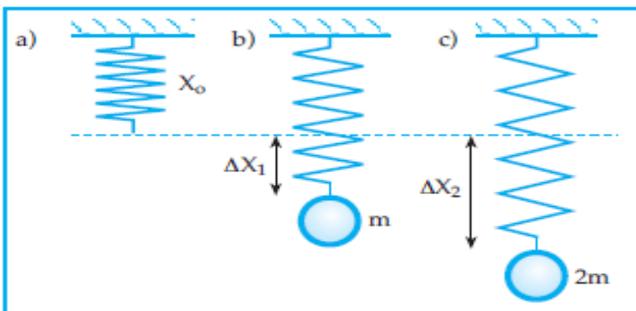
Jika pegas ditarik cukup jauh, bisa jadi setelah tarikan dilepaskan, panjang akhir pegas akan lebih besar daripada panjang sebelumnya. Begitu pula jika pegas ditekan cukup jauh, bisa jadi panjang akhir pegas lebih kecil daripada panjang semula. Kondisi ini biasa disebut dengan istilah rusak, dan dalam dunia fisika dikatakan bahwa pegas telah melampaui batas elastisitasnya.

Capaian pembelajaran ini meliputi; menganalisis elastisitas dan gaya pegas.

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 sampai beton tadi pecah.



Gambar 4. 1 Timbangan (Sumber: Jendela IPTEK)



Gambar 4. 2 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 .

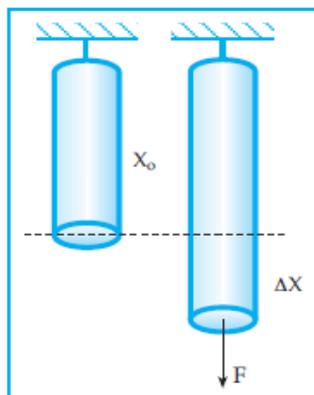
Gambar (c) : pegas dalam keadaan tergantung dan pada ujung bebas digantungkan beban bermassa $2m$, sehingga panjangnya menjadi x_2 atau bertambah panjang Δx_2 .

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 diadukan padanya dihilangkan. Benda seperti itu disebut benda yang elastik.

B. 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. 3 Regangan Bahan Elastis Berbentuk Silinder

Dimana:

σ = tegangan (N/m^2)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m^2)

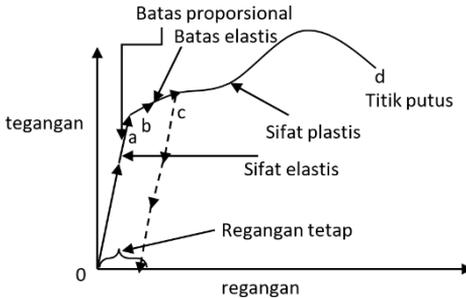
Regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan perubahan panjang terhadap panjang awal. Dapat ditulis secara matematis:

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

Dimana: e = regangan

ΔL = perubahan panjang (m)

L_0 = panjang awal (m)



Gambar 4. 4 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.

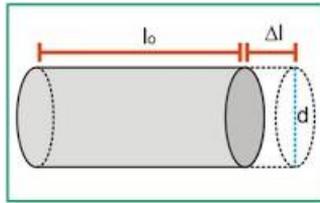
Apabila suatu jenis digambarkan pada suatu diagram, maka diperoleh kurva yang bentuknya berbeda-beda yang sesuai dengan bahan yang diuji tegangannya. Gambar 4.4 menunjukkan bentuk umum kurva tegangan dari suatu benda. Kurva itu menunjukkan pertambahan panjang suatu benda atau bahan terhadap gaya yang diberikan padanya. Sampai suatu titik yang disebut proporsional.

Kemudian pada suatu titik tertentu itu sampai pada batas elastik dimana benda itu akan kembali ke bentuk semula jika gaya itu dilepaskan. Jika benda diregangkan melewati batas elastik, maka akan memasuki daerah plastis dimana benda tidak akan kembali ke panjang 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.

C. 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. 5 Pertambahan Panjang pada Benda Elastik

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

$$\gamma = \frac{\text{tegangannya}}{\text{regangannya}} = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} = \frac{L_0 F}{A \Delta L}$$

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

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 mere-

gangkan 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?

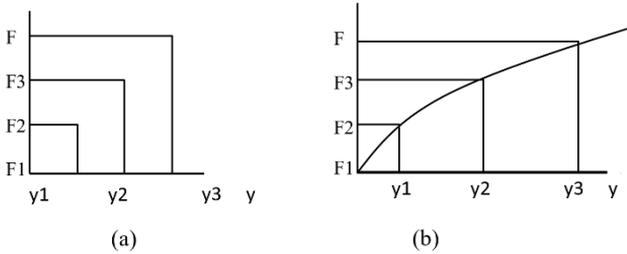
Jawab. $\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1000 \text{ N}}{0,025 \text{ m}^2} = 40000 \text{ N/m}^2$
 $e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{0,01 \text{ m}}{8 \text{ m}} = 0,00125$
 $\gamma = \frac{\text{teganggan}}{\text{regangan}} = \frac{40000 \text{ N/m}^2}{0,00125} = 32 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

D. 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 4.6 (a), sedangkan struktur yang tidak mengikuti hukum Hooke dikatakan Elastis non linier, lihat Gambar 4.6 (b)

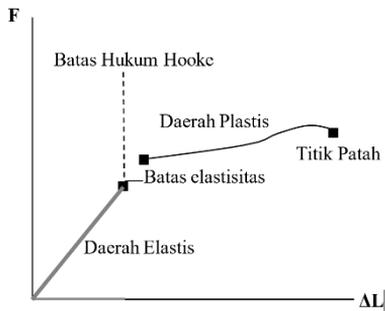


Gambar 4. 6 Hukum Hooke

Benda yang dibentuk oleh materi yang berbeda akan memiliki pertambahan panjang yang berbeda walaupun diberikan gayayang 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 berbeda sekalipun diberikan gaya yang sama. Jika kita membandingkan batang yang terbuat darimateri yang sama tetapi memiliki panjang dan luas penampang yang berbeda, ketikadiberikan gaya yang sama, besar pertambahan panjang sebanding dengan panjang benda mula-mula dan berbanding terbalik dengan luas penampang. Makin panjang suatu benda, makin besar 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.



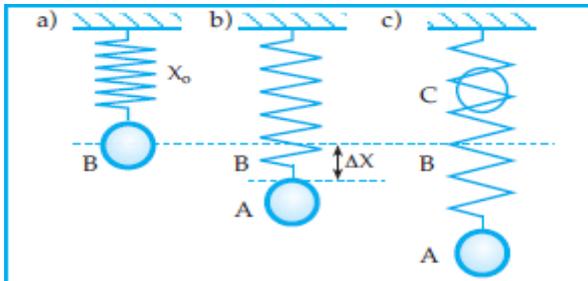
Gambar 4. 7 Batas Elastistas

$$F = k \Delta L$$

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

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

E. Energi Potensial Pegas



Gambar 4. 8 Gerak Benda karena Pengaruh Gaya Pegas

Keterangan:

Gambar 4.8 (a) : Benda dengan massa m tergantung pada pegas dengan konstanta gaya pegas $= K$ dan setimbang di titik B.

Gambar 4.8 (b) : Benda ditarik ke bawah sejauh Δx dari titik setimbang, sampai titik A.

Gambar 4.8 (c) : Benda dilepaskan dan ternyata benda dapat bergerak bolak-balik melalui titik setimbangnya karena adanya pengaruh gaya pegas yang bekerja pada benda.

Energi 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 E_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.

$$E_p = \frac{1}{2} k (\Delta x)^2$$
$$0,5 = 0,5 k 0,01$$
$$k = 100 \text{ N/m}$$

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. Suatu kawat baja memiliki diameter 2 mm dan panjang 4 m. kawat tersebut digunakan untuk menggantung benda yang bermassa 5,0 kg. Modulus Young kawat adalah $200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$. Hitunglah :
 - a. Pertambahan panjang kawat
 - b. Konstanta pegas untuk kawat
2. Untuk meregangkan sebuah pegas sebesar 4 cm diperlukan usaha 0,16 J. Hitunglah gaya yang diperlukan untuk meregangkan pegas tersebut sepanjang 2 cm!
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.
4. Sepotong kawat logam homogen dengan panjang 140 cm dan luas penampangnya 2 mm^2 ketika ditarik dengan gaya sebesar 100 N bertambah panjang 1 mm. Modulus elastik bahan kawat logam tersebut.

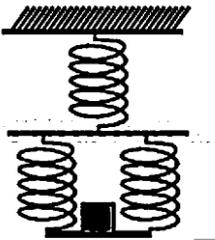
Evaluasi

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

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

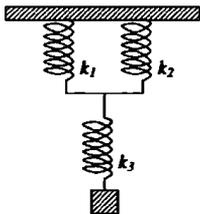
sebelum diberi beban. Berapakah tegangan, regangan, dan harga Modulus Young bahan baja kawat itu?

- A. 40000 N/m^2 , $0,00125$ dan $32 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 - B. 40000 N/m^2 , $0,00120$ dan $34 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 - C. 40000 N/m^2 , $0,0013$ dan $38 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 - D. 40000 N/m^2 , $0,00145$ dan $32 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
 - E. 40000 N/m^2 , $0,0012$ dan $32 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
2. Batang serba sama (homogen) panjang L , ketika ditarik dengan gaya F bertambah panjang sebesar ΔL . Agar pertambahan panjang menjadi $4 \Delta L$ maka besar gaya tariknya adalah ...
- A. $1/4 F$
 - B. $1/2 F$
 - C. $2 F$
 - D. $4 F$
 - E. $16 F$
3. Tiga pegas identik dengan konstanta pegas masing-masing 200 N/m , disusun seperti gambar. Ketika diberi beban 100 gram (percepatan gravitasi $g = 10 \text{ m/s}$) maka pertambahan panjang susunan pegas adalah...

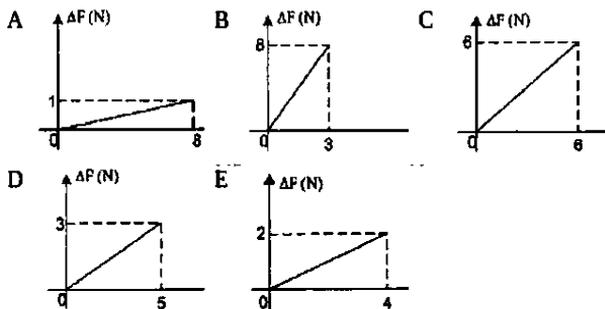


- A. $x = 0,50 \text{ cm}$
- B. $x = 0,75 \text{ cm}$
- C. $x = 0,85 \text{ cm}$
- D. $x = 1,00 \text{ cm}$
- E. $x = 1,50 \text{ cm}$

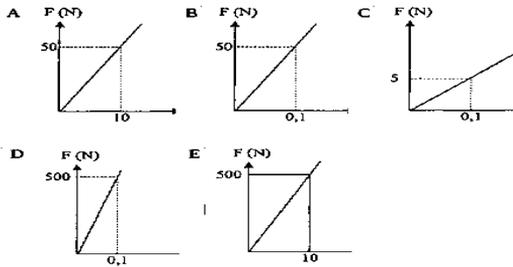
4. Tiga buah pegas dirangkai seperti gambar berikut ini. Jika konstanta pegas $k_1 = k_2 = 3 \text{ Nm}^{-1}$ dan $k_3 = 6 \text{ Nm}^{-1}$, konstanta susunan pegas besarnya.....



- A. 1 Nm^{-1}
 B. 3 Nm^{-1}
 C. $7,5 \text{ Nm}^{-1}$
 D. 12 Nm^{-1}
 E. 15 Nm^{-1}
5. Grafik di bawah menunjukkan hubungan antara perubahan beban (ΔF) dengan pertambahan panjang (ΔX), grafik yang menunjukkan nilai konstanta elastisitas terkecil...

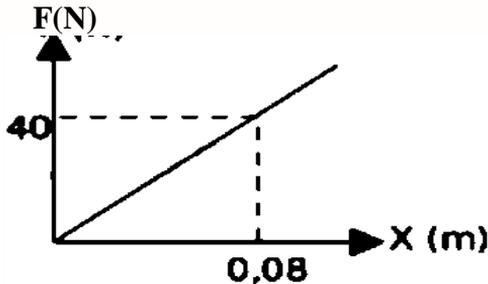


- A. B
 B. C
 C. A
 D. E
6. Perhatikan grafik hubungan antara gaya (F) terhadap pertambahan panjang (ΔX) berikut! Manakah yang mempunyai konstanta elastisitas terbesar ?



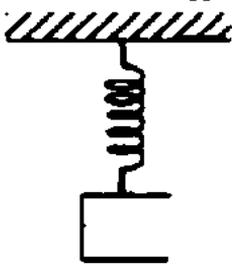
- A. A
- B. B
- C. C
- D. D
- E. E

7. Grafik (F-x) menunjukkan hubungan antara gaya dan pertambahan panjang pegas. Besar energi potensial pegas berdasarkan grafik di atas adalah ...

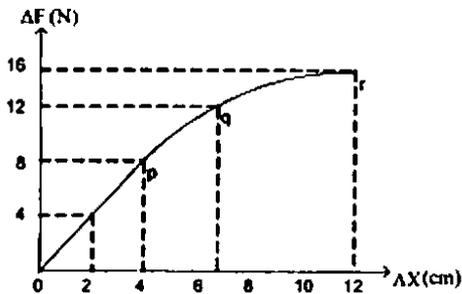


- A. 20 joule
 - B. 16 joule
 - C. 3,2 joule
 - D. 1,6 joule
 - E. 1,2 joule
8. Untuk meregangkan sebuah pegas sejauh 5 cm diperlukan gaya sebesar 20 N. Energi potensial pegas ketika meregang sejauh 10 cm adalah...
- A. 2 Joule
 - B. 4 Joule
 - C. 20 Joule
 - D. 50 Joule
 - E. 100 Joule

9. Sebuah pegas diberi beban 2 kg seperti gambar berikut. Jika pegas mengalami pertambahan panjang 5 cm dan percepatan gravitasi bumi 10 m.s^{-2} , maka energi potensial elastis pegas tersebut adalah...



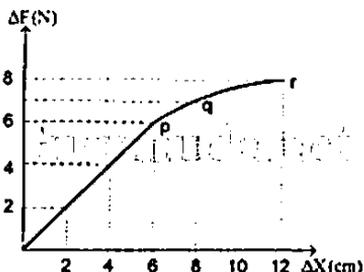
- A. 4,0 J
 B. 3,0 J
 C. 2,5 J
 D. 1,0 J
 E. 0,5 J
10. Sebuah pegas dapat diregangkan sehingga bertambah panjang 10 cm dengan energi potensial 0,5 joule. Berapakah konstanta gaya pegas tersebut?
- A. 90 N/m
 B. 100 N/m
 C. 130 N/m
 D. 150 N/m
 E. 160 N/m
11. Perhatikan grafik hubungan gaya ΔF dengan pertambahan panjang Δx pada suatu pegas di bawah!



Berdasarkan grafik, maka pegas tetap akan bersifat elastis pada gaya tarik sebesar....

- A. 0 sampai 4 N
- B. 0 sampai 8 N
- C. 0 sampai 12 N
- D. 8 N sampai 12 N
- E. 8 N sampai 16 N

12. Grafik berikut merupakan hubungan antara pertambahan panjang Δx dengan gaya ΔF suatu karet yang ditarik dengan gaya. Berdasarkan grafik, karet akan berubah bersifat plastis saat pada karet bekerja gaya....



- A. 0 sampai 2 N
- B. 0 sampai 4 N
- C. 2 N sampai 6 N
- D. 4 N sampai 8 N
- E. 6 N sampai 8 N

13. Pegas dengan luas penampang 1 m^2 dikenai gaya sebesar 5 N. Besar tegangan yang dialami pegas tersebut adalah . . .

- A. $0,2 \text{ N/m}^2$
- B. $0,5 \text{ N/m}^2$
- C. 1 N/m^2
- D. 2 N/m^2
- E. 5 N/m^2

14. Sebuah pegas memanjang 5 cm saat diberi gaya 10 N. Jika diberi gaya sebesar 12 N, maka pegas akan mengalami pertambahan panjang pegas . . .

- A. 2 cm
- B. 4 cm
- C. 5 cm
- D. 6 cm
- E. 8 cm

Perhatikan pernyataan di bawah ini untuk menjawab soal nomor 15-17!

Pegas dengan luas penampang $2,5 \text{ cm}^2$ awalnya memiliki panjang 14 cm . Setelah diberi beban bermassa 250 g ($0,25 \text{ kg}$), panjang pegas menjadi 16 cm .

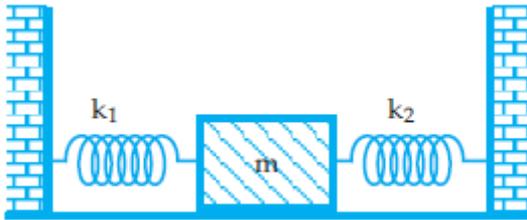
15. Tegangan yang dimiliki pegas adalah . . .
- A. 1 N/m^2
 - B. 10 N/m^2
 - C. 100 N/m^2
 - D. 1000 N/m^2
 - E. 10000 N/m^2
16. Regangan pegas adalah . . .
- A. $1/7$
 - B. $1/5$
 - C. $1/2$
 - D. 5
 - E. 7
17. Modulus young pada pegas adalah . . .
- A. $1 \times 10^4 \text{ Pa}$
 - B. $3 \times 10^4 \text{ Pa}$
 - C. $5 \times 10^4 \text{ Pa}$
 - D. $7 \times 10^4 \text{ Pa}$
 - E. $9 \times 10^4 \text{ Pa}$
18. Ketapel dengan luas penampang $0,1 \text{ m}^2$ memiliki panjang awal sebesar 50 cm . Jika modulus elastisitas pegas 40 N/m^2 , maka besarnya gaya yang dibutuhkan agar pegas bertambah panjang sebesar 5 cm adalah . . .
- A. $0,2 \text{ N}$
 - B. $0,4 \text{ N}$
 - C. $2,0 \text{ N}$
 - D. $4,0 \text{ N}$
 - E. 10 N
19. Tali nilon berdiameter $0,7 \text{ cm}$ dan panjang 1 m memiliki modulus elastisitas $(7/22) \times 10^9 \text{ N/m}^2$. Jika ditarik dengan gaya sebesar 49 N , maka nilon akan bertambah panjang sebesar. ...
- A. $0,1 \text{ Cm}$
 - B. $0,4 \text{ Cm}$
 - C. $1,0 \text{ Cm}$
 - D. $2,0 \text{ Cm}$
 - E. $4,0 \text{ Cm}$

24. Sebuah potongan memiliki konstanta pegas sebesar 200 N/m dan panjang pegasnya 50 cm, dipotong menjadi 2 bagian yang sama. Jika potongan pegas tersebut ditarik dengan gaya 40 N, maka Perubahan panjang pegas yang terjadi jika disusun secara paralel adalah ...
- 5 cm
 - 7 cm
 - 9 cm
 - 10 cm
 - 12 cm
25. Suatu usaha dilakukan sebesar 0.16J untuk meregangkan sebuah pegas sebesar 4 cm. Maka gaya yang dibutuhkan untuk meregangkan pegas sebesar 8 cm adalah....
- 10 N
 - 14 N
 - 16 N
 - 19 N
 - 23 N

B. Jawablah dengan benar!

- Jelaskan perbedaan antara regangan dan tegangan!
 - Jelaskan hubungan antara tegangan dan regangan! Bagaimanakah perbandingan antara tegangan dan regangan!
- 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?
- 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:
- bergerak ke atas dengan kecepatan tetap
 - bergerak ke atas dengan percepatan tetap 4 m/s^2
 - 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?

BAB VI

MOMENTUM DAN TUMBUKAN



Gambar 5. 1 Balapan Mobil (Sumber: www.indopos.co.id)

A. Pengantar

Dalam bab ini kita akan memperkenalkan sebuah besaran baru yang penting ‘momentum’ yang merupakan hasil kali massa partikel dengan kecepatannya. Momentum penting karena momentum total suatu sistem partikel tetap konstan jika gaya eksternal yang bekerja pada sistem berjumlah nol. Seperti energi, momentum adalah besaran yang tersimpan dalam sistem yang terisolasi. Selain itu kekekalan momentum sangat bermanfaat dalam analisis tumbukan antara bola-bola biliar, mobil, dan partikel subatomik dalam suatu reaksi nuklir. Dan bagaimana momentum yang berguna dalam analisis gerakan pesawat jet, roket, dan tolakan senapan.

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. Capaian pembelajaran ini yaitu memahami konsep momentum dan tumbukan.

B. 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 arahnya. 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

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

Besarnya ini dapat dinyatakan dengan besarnya momentum linear p , dengan mengalikan persamaan energi kinetik dengan m/m

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

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:

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

Ditanya: p_0? p_t? dan Δp?

Jawab.

- 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 :

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_t - p_o = 10000 \text{ kg m/s} - 40000 \text{ kg m/s} = -30000 \\ &\text{kg m/s} \end{aligned}$$

perubahan momentum mempunyai tanda negatif, berarti arahnya berlawanan arah.

C. Impuls

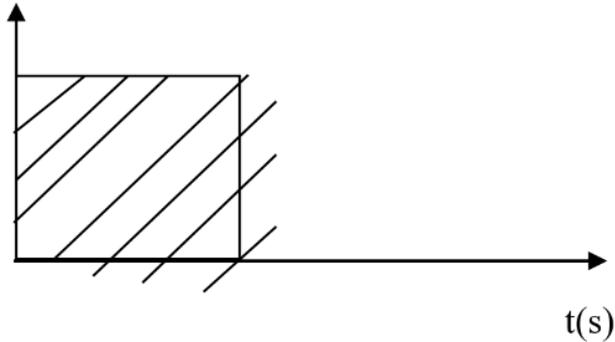
Impuls didefinisikan sebagai hasil kali antara gaya dan lamanya gayatersebut bekerja. Secara matematis dapat ditulis:

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

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

F(N)



Gambar 5. 3 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/ s². 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 : $v = 20$ m/s; $F = 2\,000$ N; $t = 0,001$ s

Ditanya : I ?

Jawab:

Besarnya Impuls : $I = F \cdot \Delta t = 2000$ Newton x 0,001 Sekon = 2 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.

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

$$F \Delta t = m v_2 - m v_1$$

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:

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

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 : $F \dots ?$

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.

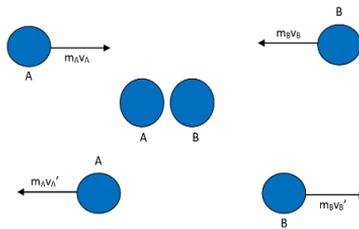
$$F \Delta t = m v_2 - m v_1$$

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

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 kekiri dengan momentum $m_B v_B$.



Gambar 5. 4 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

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

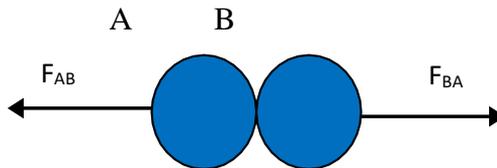
p_A, p_B = momentum benda A dan B sebelum tumbukan

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. 5 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 . Bilakedua ruas dikali dengan Δt akan diperoleh

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

Ruas kiri dan kanan merupakan besaran Impuls gaya.

$$\begin{aligned} I_B &= - I_A \\ \Delta p_B &= - \Delta p_A \\ (p_B' - p_B) &= - (p_A' - p_A) \\ m_B v_B' + m_B v_B &= m_A v_A' + m_A v_A \\ m_A v_A + m_B v_B &= m_A v_A' + m_B v_B' \\ p_A + p_B &= p_A' + p_B \end{aligned}$$

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 peluru ditembakkan.

Diketahui:

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

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

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

$$\text{Ditanya : } v_1' \text{?}$$

Jawab:

$$\begin{aligned}
m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1' + m_2 v_2' \\
4 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} + 0,005 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} &= 4 \text{ kg} v_1' + 0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s} \\
0 + 0 &= 4 \text{ kg} v_1 + 0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s} \\
4 \text{ kg} v_1' &= -0,005 \text{ kg} \cdot 300 \text{ m/s} \\
v_1' &= -1,5/4 \text{ m/s} = -0,375 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

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

D. 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:

1. Tumbukan Lenting (Sempurna)

Pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik. Bila kita uraikan dari kedua syarat:

- Hukum kekekalan momentum

$$\begin{aligned}
m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1' + m_2 v_2' \\
m_1 v_1 - m_1 v_1' &= m_2 v_2' - m_2 v_2 \\
m_1 (v_1 - v_1') &= m_2 (v_2' - v_2) \quad (*)
\end{aligned}$$

- Hukum kekekalan energi kinetik

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

$$\begin{aligned}
m_1 v_1^2 - m_1 v_1'^2 &= m_2 v_2'^2 - m_2 v_2^2 \\
m_1 (v_1^2 - v_1'^2) &= m_2 (v_2'^2 - v_2^2) \\
m_1 (v_1 + v_1')(v_1 - v_1') &= m_2 (v_2' + v_2)(v_2' - v_2) \quad (**)
\end{aligned}$$

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 kec epatan 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 -) e ini yang kemudian disebut koefisien restitusi

Untuk tumbukan lenting (sempurna) $e = 1$
 Untuk tumbukan tidak lenting sebagian $0 < e < 1$
 Untuk tumbukan tidak lenting sempurna $e = 0$

2. 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.

$$\begin{aligned}
m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1' + m_2 v_2' \\
\text{dan } 0 < e < 1
\end{aligned}$$

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

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

3. 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 $e = 0$.

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

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

$$v_1' = v_2'$$

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

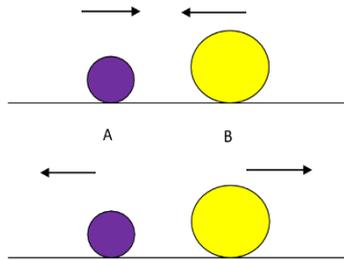
Dua buah benda A dan B masing-masing bermassa 2 kg dan 4 kg bergerak saling mendekat dengan kecepatan berturut-turut 4 m/s dan 3 m/s. Setelah tumbukan, massa A bergerak berlawanan dengan arah semula dengan kecepatan 5 m/s. tentukan:

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

Diketahui: $m_A = 2 \text{ kg}; v_A = 4 \text{ m/s}; v_A' = -5 \text{ m/s}; m_B = 4 \text{ kg};$
 $v_B = 3 \text{ m/s}; v_B' = -3 \text{ m/s}$

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

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

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 plus dan minusnya

$$\begin{aligned} \Delta E_k &= \left(\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2\right) - \left(\frac{1}{2}m_1v_1'^2 + \frac{1}{2}m_2v_2'^2\right) \\ &= \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 4^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 3^2\right) - \left(\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 5^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 1,5^2\right) \\ &= 34 - 29,5 = 4,5 \text{ joule} \end{aligned}$$

E. 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:

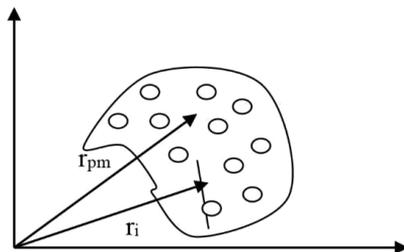
$$r_{pm} = \frac{\sum_i m_i r_i}{M}$$

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. 6
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:

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

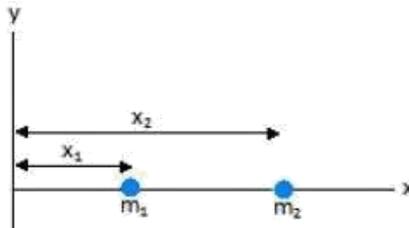
Persamaan (1) menyatakan bahwa jika titik asal kerangka acuandipilih pada titik pusat t massa ($r_{pm} = 0$), maka system tersebut berlaku:

$$\sum_i m_i r_i = 0$$

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. 7 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:

$$x_{PM} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

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

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

Rumus untuk koordinat y:

$$y_{PM} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + \dots + m_ny_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

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

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

Rumus untuk koordinat z:

$$z_{PM} = \frac{m_1z_1 + m_2z_2 + \dots + m_nz_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

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

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

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.

$$x_{pm} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{(1.0) + (2.2) + (3.1)}{1 + 2 + 3} = \frac{7}{6}$$

$$y_{pm} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + m_3y_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{(1.0) + (2.1) + (3.5)}{1 + 2 + 3} = \frac{17}{6}$$

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

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

$$M a_{pm} = \sum_i F_{i\text{teks}} = \sum_i F_{i\text{eks}}$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta p &= p_2 - p_1 \\ &= m v_2 - m v_1 \\ \Delta p &= m (v_2 - v_1) \end{aligned}$$

2. Impuls adalah hasil kali gaya yang bekerja dengan selang waktu gayatersebut 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: $e = 0$

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

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. Gerbong kereta api yang massanya 10000 kg bergerak dengan laju 24 m/s menumbuk gerbong serupa yang diam. Akhirnya kedua gerbong tersambung dan bergerak bersama. Berapa laju gabungan dua gerbong tersebut?
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!

- a. Bola bermassa 250 gr bergerak dengan kecepatan 10 m/s menumbuk bola lain bermassa 150 g yang bergerak dengan kecepatan 15 m/s saling mendekat. Setelah tumbukan kedua benda terpental, berapakah kecepatan masing-masing bola dan arahnya setelah terjadi tumbukan?
5. Sebuah benda bergerak dengan kecepatan 4 m/s sehingga mempunyai momentum 1 kg m/s. Hitunglah massa benda tersebut!

Evaluasi

A. Pilihlah Jawaban yang Paling Tepat!

1. 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. Berapakah Momentum awal mobil ?

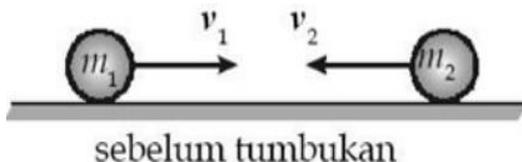
A. 40000 kg m/s	D. 10000 kg m/s
B. 50000 kg m/s	E. 45000 kg m/s
C. 25000 kg m/s	
2. Sebuah bola bergerak dengan kecepatan 20 m/s kemudian dipukul dengan pemukul bola dengan gaya 2000 newton selama 0,001 sekon. Tentukan besarnya Impuls gaya pada bola

A. 1 N.s	D. 4 N.s
B. 2 N.s	E. 5 N.s
C. 3 N.s	
3. Seorang anak menendang sebongkah 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.

- A. 3000 N
 B. 3500 N
 C. 4000 N
 D. 4500 N
 E. 5000 N
4. 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 peluru ditembakkan.
- A. -0,375 m/s
 B. 0,685 m/s
 C. 0,375 m/s
 D. -0,500 m/s
 E. -0,405 m/s
5. 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. berapakah Kecepatan benda B setelah tumbukan ?
- A. 1,5 m/s
 B. 1,7 m/s
 C. 1,9 m/s
 D. 2 m/s
 E. 2,4 m/s
6. Suatu hari Andrew memutuskan untuk berjalan-jalan dengan mengendarai motor miliknya. Hitunglah momentum Andrew bersama motornya apabila total massanya sebesar 150 kg serta berkecepatan 180 km/jam.
- A. 7.500 kgm/s
 B. 12.500 kgm/s
 C. 25.000 kgm/s
 D. 27.000 kgm/s
 E. 30.000 kgm/s
7. Sebuah benda menumbuk balok yang diam diatas lantai dengan kecepatan 20 m/s. Setelah tumbukan, balok terpental dengan kecepatan 15 m/s searah dengan kecepatan benda semula. Berapakah kecepatan sebuah benda setelah mengalami suatu tumbukan, jika besar koefisien restitusi yang dimiliki $e = 0,4$?

- A. 4 m/s
- B. 5 m/s
- C. 6 m/s
- D. 7 m/s.
- E. 8 m/s.

8. Perhatikan gambar dibawah ini!



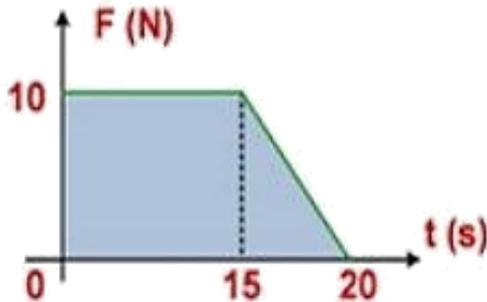
Dua buah bola basket bermassa sama bergerak pada satu garis lurus saling mendekati seperti gambar di atas. Jika v_1 sebesar 8 m/s dan v_2 sebesar 10 m/s. Dengan v_2' adalah kecepatan benda (2) setelah tumbukan ke kanan dengan laju 5 m/s maka tentukan besar kecepatan v_1' (1) setelah mengalami tumbukan!

- A. 5 m/s
 - B. 7 m/s
 - C. 8 m/s
 - D. 9 m/s
 - E. 3 m/s
9. Berdasarkan contoh soal nomor enam, jika laju motor Andrew berubah menjadi hanya setengah nilai awal, sementara massa totalnya menjadi hanya 125 kg maka berapakah momentumnya?
- A. 2.125
 - B. 2.625
 - C. 3.125
 - D. 3.625
 - E. 4.125
10. Saat bermain sepak bola Andi bermain dengan bola bermassa 200 gram dilempar horizontal dengan kecepatan 4

m/s, lalu bola dipukul searah dengan arah bola mula-mula. Lamanya bola bersentuhan dengan pemukul adalah 2 milisekon dan kecepatan bola setelah meninggalkan pemukul adalah 12 m/s. tentukan besar gaya yang diberikan Andi pada bola!

- A. 560 N
- B. 600 N
- C. 750 N
- D. 800 N
- E. 870 N

11. Benda bermassa 1 kg dipengaruhi gaya selama 20 sekon seperti ditunjukkan grafik ditunjukkan grafik di bawah ini!



Jika kelajuan awal sebuah benda 50 m/s, maka tentukan berapakah besar kelajuan benda saat detik ke 15

- A. 150 m/s
 - B. 200 m/s
 - C. 230 m/s
 - D. 300 m/s
 - E. 340 m/s
12. Bola kasti bermassa 100 gram dilempar mendatar oleh Rina dengan kelajuan 5 m/s. kemudian bola kasti tersebut dipukul searah dengan arah mula-mula. Bila lamanya bola kasti bersentuhan dengan 2 m/s dan kecepatan bola kasti setelah meninggalkan pemukul 10 m/s maka hitunglah berapa besar gaya yang diberikan oleh pemukul!

- A. 100 N
 - B. 120 N
 - C. 170 N
 - D. 200 N
 - E. 250 N
13. Hitunglah besar momentum serangga yang massanya 22 gram yang tengah terbang dengan laju 80 m/s.
- A. 1,76 kg m/s
 - B. 1,5 kg m/s
 - C. 1,34 kg m/s
 - D. 1,2 kg m/s
 - E. 1,12 kg m/s
14. Gerbong bermassa 6500 kg bergerak dengan kecepatan 5 m/s menumbuk gerbong yang massanya sama yang sedang diam, setelah tubukan kedua-duanya bergerak bersama-sama. Hitunglah kecepatan kedua gerbong itu setelah tumbukan.
- A. 2 m/s
 - B. 2,5 m/s
 - C. 2,8 m/s
 - D. 3 m/s
 - E. 3,5 m/s
15. Bola kasti bermassa 145 gram dilempar dengan kecepatan 39 m/s ternyata dapat dipukul balik hingga mencapai kecepatan 52 m/s. Hitunglah impuls yang terjadi pada bola kasti.
- A. 1,53 Ns
 - B. 1,855 Ns
 - C. 1,734 Ns
 - D. 1,9 Ns
 - E. 1,87 Ns

16. balok yang diam di atas lantai. Massa balok 2 kg. Ternyata peluru melewati bagian dalam balok dan setelah keluar dari balok kecepatan peluru berkurang menjadi 160 m/s. Hitunglah kecepatan balok setelah ditembus peluru demikian.
- A. 0,5 m/s
 - B. 0,6 m/s
 - C. 0,7 m/s
 - D. 0,8 m/s
 - E. 0,9 m/s
17. Sebuah pasak panjangnya 40 cm menancap bagian depannya di atas tanah ditumbuk dengan martil yang dilemparkan jatuh bebas dari ketinggian 5 meter. Massa martil 10 kg. Jika gaya tahan tanah terhadap martil 100 KN (1KN=1000 N). Perhitungkan bagaimana pasak bisa masuk ke dalam tanah.
- A. 0,01 s
 - B. 0,02 s
 - C. 0,03 s
 - D. 0,04 s
 - E. 0,05 s
18. Kecepatan peluru saat lepas dari larasnya 200 m/s. Jika massa peluru dan senapan masing-masing 10 gram dan 5 kg, hitunglah kecepatan dorong senapan terhadap bahu penembak saat peluru lepas dari larasnya ?
- A. -0,1 m/s
 - B. -0,2 m/s
 - C. -0,3 m/s
 - D. -0,4 m/s
 - E. -0,5 m/s
19. Dua buah mainan mobil A dan B massanya masing-masing 2 kg dan 3 kg bergerak searah dengan kecepatan masing-masing 8 m/s dan 5 m/s. Kedua mobil bertumbukan lenting

- sempurna. Hitunglah kecepatan kedua mobil setelah bertumbukan !
- A. 1 m/s
 - B. 2 m/s
 - C. 3 m/s
 - D. 4 m/s
 - E. 5 m/s
20. Sebuah bola tenis bermassa 60 gram dipukul hingga mencapai kecepatan 144 km/jam, Hitunglah impuls bola tenis tersebut.
- A. 1,2 Ns
 - B. 1,5 Ns
 - C. 2 Ns
 - D. 2,4 Ns
 - E. 2,9 Ns
21. Berapakah impuls yang bekerja, ketika sebuah bola kaki bermassa 2 kg jatuh bebas dari ketinggian 10 m di atas tanah. Kemudian benda tersebut terpantul di lantai sehingga mencapai ketinggian 2,5 m. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$.
- A. $30 \cdot \sqrt{2} \text{ Kg.m/s}$
 - B. $31 \cdot \sqrt{2} \text{ Kg.m/s}$
 - C. $34 \cdot \sqrt{2} \text{ Kg.m/s}$
 - D. $37 \cdot \sqrt{2} \text{ Kg.m/s}$
 - E. $39 \cdot \sqrt{2} \text{ Kg.m/s}$
22. Terjadi kecelakaan kereta api dimana sebuah gerbong kereta dengan massa 10.000 kg bergerak dengan laju 24 m/s. gerbong tersebut menabrak gerbong lain yang serupa dan dalam keadaan diam. Akibat tabrakan tersebut, gerbong tersambung menjadi satu. Maka, berapakah kecepatan dari gerbong tersebut!
- A. 10 m/s
 - B. 12 m/s

- C. 15 m/s
 - D. 18 m/s
 - E. 20 m/s
23. Bagus mendapat mobil mobilan dari ayahnya yang bermasa 10 kg. Mobil itu bergerak dengan kecepatan 6 m/s. Berapa nilai momentum yang dimiliki mobil-mobilan tersebut?
- A. 40 Kg/s
 - B. 45 Kg/s
 - C. 48 Kg/s
 - D. 50 Kg/s
 - E. 60 Kg/s
24. Sebuah bola tenis menumbuk tembok dengan arah tegak dengan kecepatan 6 m/s. Jika koefisien tumbukan yang dialami bola tennis dengan tembok adalah 0,5. Berapa kelajuan bola tenis setelah memantul?
- A. 2 m/s
 - B. 3 m/s
 - C. 4 m/s
 - D. 5 m/s
 - E. 6 m/s
25. Massa sebuah mobil besarnya 800 kg dan melakukan gerakan yang kecepatannya 72 km/jam. Hitunglah momentum pada mobil tersebut?
- A. 15.000 Kg.m/s
 - B. 16.000 kg.m/s.
 - C. 20.000 kg.m/s.
 - D. 24.000 kg.m/s.
 - E. 29.000 kg.m/s.

B. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Sebuah bola bermassa 100 gram dijatuhkan dari ketinggian $h_0 = 180$ cm di atas lantai. Setelah menumbuk lantai, bola

memantul kembali setinggi $h_1 = 125 \text{ cm}$ ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Tentukan:

- a. Momentum bola sesaat sebelum menumbuk lantai
 - b. Momentum bola sesaat setelah menumbuk lantai
 - c. 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

- a. 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 $y = 300 \text{ cm}$, 6 kg di $y = 150 \text{ cm}$, dan 4 kg di $y = -75 \text{ cm}$. Berapakah pusat massa mereka?
5. Empat buah massa ditempatkan di bidang xy sebagai berikut: 300 gr di $(0,2 \text{ m})$, 500 gr di $(-2 \text{ m}, -3 \text{ m})$, 700 gr di $(50 \text{ cm}, 30 \text{ cm})$, dan 900 gr di $(-80 \text{ cm}, 150 \text{ cm})$. Berapa pusat massa mereka.

BAB VII

ROTASI BENDA TEGAR



Gambar 6. 1 Peralatan Bangunan (Sumber: www.pogo.org.uk)

A. Pengantar

Dalam bab ini, kita akan belajar bagaimana menggambarkan gerak rotasi. Kemudian melihat bagaimana rotasi benda tegar, dimana benda tegar merupakan 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.

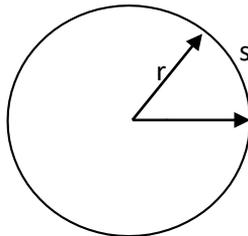
Untuk memindahkan benda-benda yang berat, kita dapat menggunakan crane. Benda-benda ini digantungkan di bawah lengan crane yang panjang. Letak benda ini dapat diatur,

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.

Capaian pembelajaran ini meliputi kemampuan menjelaskan kinematika dan dinamika rotasi, menjelaskan momen inersia suatu benda dan menghitung energy kinetik rotasi.

B. 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. 2 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

$$\mathbf{a} = \alpha \mathbf{r}$$

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

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

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

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

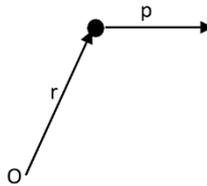
C. Dinamika Rotasi

1. Torsi dan Momentum Sudut

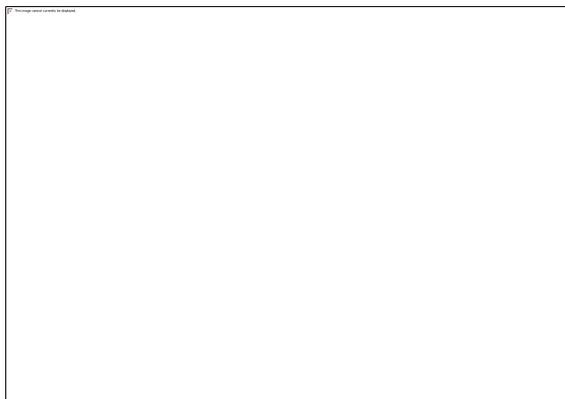
Untuk memudahkan penyelidikan dan analisa terhadap gerak rotasi, didefinisikan beberapa besaran sebagai analog konsep gaya dan momentum. Pertama didefinisikan konsep momentum sudut l . Momentum sudut suatu partikel yang memiliki momentum linear p dan berada pada posisi r dari suatu titik referensi O 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. 3 Momentum Sudut



Gambar 6. 4 Kunci Inggris (scpurwanto.blogspot.com)

Gambar 6.4 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 "r".

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. $r \dots ?$

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

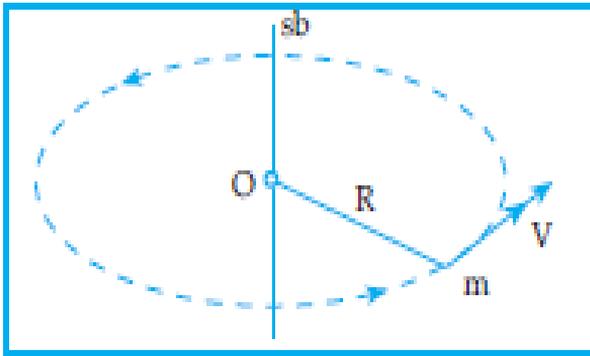
2. Momen Inersia



Gambar 6. 5 Rotasi Bumi pada Porosnya (Sumber: Zonareferensi.com)

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. 6 Gerak Rotasi Partikel

Gambar 6.6 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 kecepatannya. 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	$I = \frac{1}{2}m(R_1^2 + R_2^2)$
	Bola pejal terhadap sumbu yang melalui pusatnya. Bola berongga dengan ketebalan kulit diabaikan	$I = \frac{2}{5}m R^2$ $I = \frac{2}{3}m R^2$
	Kerucut pejal terhadap sumbu kerucut	$I = \frac{3}{10}m \cdot R^3$

www.tehfitsystem.com

Keterangan:

m = massa benda

L = panjang benda

R₁ = jari-jari dalam

R₂ = 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:

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

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

$$W = r\theta$$

Sedangkan daya yang dikeluarkan pada benda adalah:

$$P = r\omega$$

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	$\theta = \omega_0 t + 1/2\alpha t^2$	$S = v_0 t + 1/2at^2$
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 $F = m$
12	Usaha $W = \tau \theta$	aUsaha $W = F s$
13	Energi kinetik rotasi $E_k = 1/2 I \omega^2$	Energi kinetik $E_k = 1/2 m v^2$
14	$W = 1/2 I \omega^2 - 1/2 I \omega_0^2$	$W = 1/2 m v_t^2 - 1/2 m v_o^2$
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:

$$r = r \cdot F$$

2. Momentum sudut:

$$L = m v R$$

3. Momen inersia:

$$I = m R^2$$

4. Energi kinetik:

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

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

$$W = r \theta$$

6. Daya yang dikeluarkan pada benda adalah:

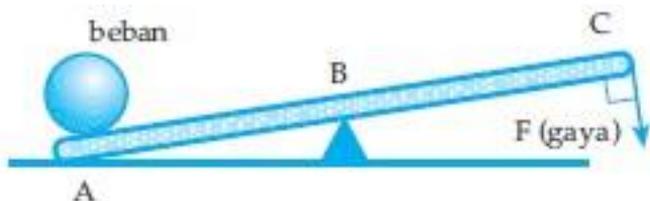
$$P = r \omega$$

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. Besar momen gaya suatu benda adalah 20 Nm dengan gaya yang diberikan 5 N. Jika gaya tersebut tegak lurus terhadap lengan gaya, berapakah besar lengan momen gaya tersebut?

2. Bilamana momen gaya bertanda positif dan bilamana momen gaya bertanda negatif?
- 3.



$AB = \text{lengan beban}$ $BC = \text{lengan kuasa}$

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. Perhatikan gambar berikut!
Sebuah beban digantungkan di ujung batang homogen AB yang memiliki panjang 5 m dan beratnya 10 N. Jika berat beban yang digantung adalah 20 N dan BC merupakan tali, tentukan gaya tegang tali (jarak AC adalah 500 cm).

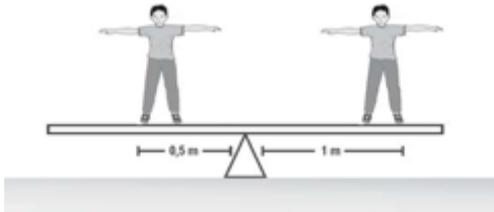


5. Apakah yang dimaksud gerak melingkar berubah beraturan dan tuliskan persamaan-persamaan pada GMBB tersebut!

Evaluasi

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

- Otot bicep 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.
A. 35 N.m
B. 40 N.m
C. 45 N.m
D. 50 N.m
E. 55 N.m
- Perhatikan gambar berikut ini!

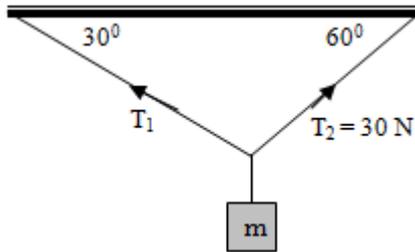


Salah satu ujung sebuah jungkat-jungkit dinaiki anak yang beratnya 25 kg. Ujung satunya dinaiki anak yang beratnya 30 kg. Jarak masing-masing anak dari titik tumpu adalah 1 m dan 0,5 m. Berapa torsi masing-masing, dan berapa torsi totalnya? Ke mana arah putaran batang ?

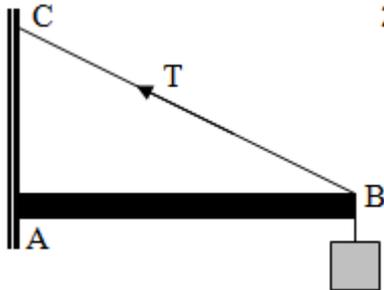
- 76 Nm, arah putaran searah jarum jam
 - 98 Nm, arah putaran searah jarum jam
 - 84 Nm, arah putaran tidak searah jarum jam
 - 62 Nm, arah putaran tidak searah jarum jam
 - 89 Nm, arah putaran searah jarum jam
- Sebuah partikel bermassa 200 gram berada 20 cm dari pusat rotasi. Tentukan momen inersia partikel tersebut ketika diputar!
A. 0,006 kgm²
B. 0,007 kgm²

- C. $0,008 \text{ kgm}^2$
 D. $0,009 \text{ kgm}^2$
 E. $0,01 \text{ kgm}^2$
4. Sebuah silinder pejal memiliki massa $0,5 \text{ kg}$ dan panjang $0,2 \text{ meter}$, berputar melalui sumbunya. Hitunglah momen inersianya!
 A. $1,67 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$
 B. $1,45 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$
 C. $1,56 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$
 D. $1,32 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$
 E. $1,12 \times 10^{-3} \text{ kgm}^2$
5. Sebuah roda berbentuk cakram homogen dengan jari-jari 60 cm dan massa 100 kg . Jika momen gaya yang bekerja pada roda 200 Nm , hitunglah percepatan sudut roda tersebut!
 A. 12 rad/s^2
 B. 11 rad/s^2
 C. 13 rad/s^2
 D. 16 rad/s^2
 E. 18 rad/s^2
6. Seorang penari balet memiliki momen inersia 8 kgm^2 ketika kedua lengannya terlentang dan 2 kgm^2 ketika merapat ke tubuhnya. Pada saat kedua lengannya terlentang, penari tersebut berputar dengan kelajuan 3 putaran/s . Setelah itu, kedua lengannya dirapatkan ke tubuhnya. Tentukanlah laju putaran penari ketika kedua lengannya merapat!
 A. 11 putaran/s
 B. 22 putaran/s
 C. 12 putaran/s
 D. 15 putaran/s
 E. 4 putaran/s

7. Jika sistem partikel pada gambar berikut dalam keadaan seimbang, tentukan nilai m !



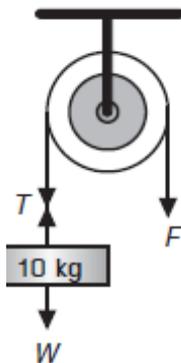
- A. 6,46 kg
 B. 7,78 kg
 C. 6,44 kg
 D. 3,46 kg
 E. 5,90 kg
8. Perhatikan gambar berikut ini!



Pada sistem keseimbangan benda tegar seperti pada gambar di atas, batang homogen AB dengan panjang 120 cm memiliki berat 20 N. Beban seberat 25 N digantung pada ujung B dan dihubungkan dengan tali pada dinding. besar nilai tegangan pada tali jika panjang tali 150 cm adalah....

- A. 35 N
 B. 43,2 N
 C. 58,3 N
 D. 62 N
 E. 63,5 N

9. Sebuah silinder pejal dengan diameter 1 meter berada pada bidang datar kasar. Selanjutnya, silinder didorong tepat pada pusat massanya dengan gaya $F = 6$ kali massa benda. Jika silinder menggelinding tanpa selip maka percepatan tangensialnya adalah..... (gaya dan massa bersatuan sesuai SI).
- A. 1 m/s^2
 B. 2 m/s^2
 C. 3 m/s^2
 D. 4 m/s^2
 E. 5 m/s^2
10. Seorang penari balet berputar 3 rad/s dengan kedua tanganya merentang dengan momen inersia penari 8 kg/m^2 . jika kedua tanganya dirapatkan sehingga momen inersianya berubah menjadi 2 kgm^2 . Frekuensi putaran berubah menjadi
- A. 10 putaran per detik
 B. 12 putaran per detik
 C. 16 putaran per detik
 D. 24 putaran per detik
 E. 48 putaran per detik
11. Massa katrol adalah 2 kg dan besar $F = 122 \text{ newton}$. Gaya tegangan tali T adalah

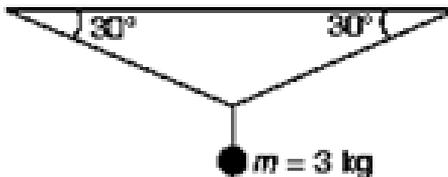


- A. 100 N
- B. 120 N
- C. 122 N
- D. 220 N
- E. 242 N

12. Seorang atlet ski es (ice skating) melakukan gerakan berputar dengan momen inersia sebesar I berlawanan arah jarum jam dengan kecepatan sudut ω . Agar atlet tersebut dapat memperbesar kecepatan sudut putarannya, yang harus dia lakukan adalah

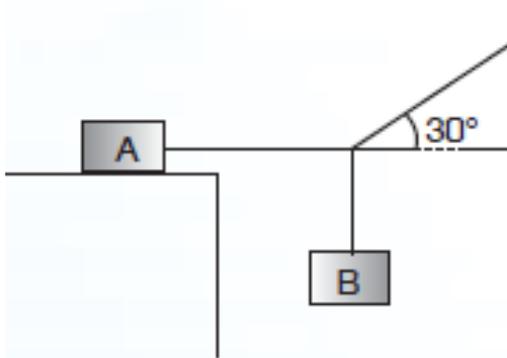
- A. merentangkan lengan agar momen inersianya bertambah besar
- B. melipat kedua lengannya di dada agar momen inersianya bertambah besar
- C. merentangkan kedua lengannya agar momen inersianya bertambah kecil
- D. melipat kedua lengannya di dada agar momen inersianya berkurang menjadi kecil
- E. melebarkan jarak kedua kakinya agar lebih pendek

13. Sebuah benda bermassa 3 kg diikat dengan tali pada langit-langit. Berapakah tegangan pada tali tersebut? ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)



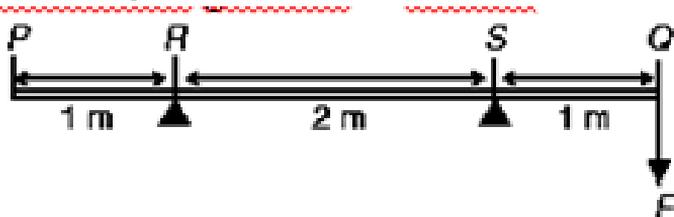
- A. 30,0 N
- B. 29,4 N
- C. 17,0 N
- D. 14,7 N
- E. 8,5 N

14. Sistem pada gambar berada dalam keadaan setimbang. Berat balok A adalah 600 N dan koefisien gesek statis antara balok A dan meja adalah 0,2. Berat balok B adalah ...



- A. $20\sqrt{2}$ N
- B. 20 N
- C. 40 N
- D. $40\sqrt{2}$ N
- E. $40\sqrt{3}$ N

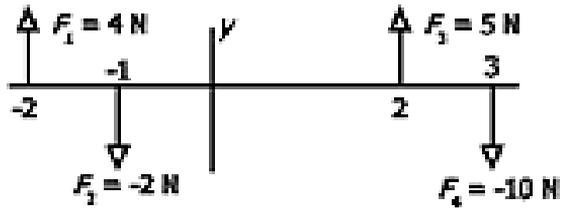
15. Perhatikan gambar di bawah!



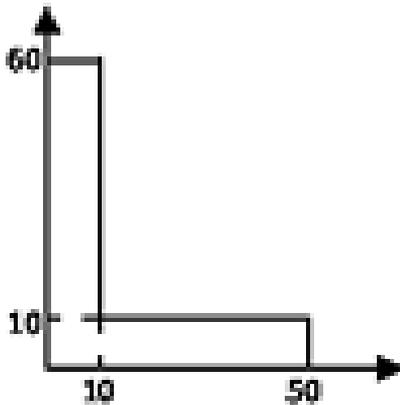
panjang batang PQ adalah 4 m dan beratnya 150 N, berapakah gaya minimum F yang dikerjakan di Q agar batang lepas dari penopang di R?

- A. 50 N
- B. 75 N
- C. 100 N
- D. 125 N
- E. 150 N

16. Resultan gaya yang sejajar seperti terlihat pada gambar, terletak pada ...

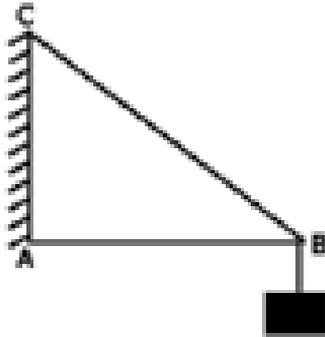


- A. $x = -3$
 B. $x = 0$
 C. $x = 1$
 D. $x = 4$
 E. $x = 8,7$
17. Koordinat titik berat pada benda homogen seperti gambar di samping adalah ...



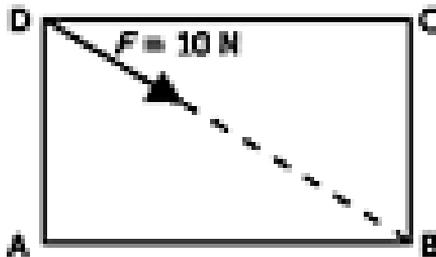
- A. (10, 15)
 B. (10, 20)
 C. (15, 20)
 D. (20, 15)
 E. (20, 20)
18. Pada sistem kesetimbangan benda seperti pada gambar di samping, panjang $AB = 80 \text{ cm}$, $AC = 60 \text{ cm}$, dan

berat 18 N. Jika ujung batang digantungkan beban 3 N, maka tegangan pada tali adalah ...



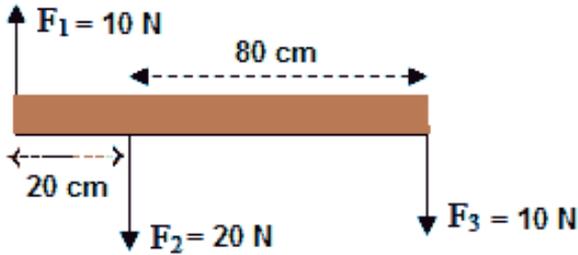
- A. 20 N
- B. 48 N
- C. 50 N
- D. 65 N
- E. 80 N

19. Bangun persegi ABCD berikut dengan sisi sisi $20\sqrt{2}$ cm bekerja gaya F seperti pada gambar. Besarnya torsi F dengan poros di titik A adalah ...



- A. 2 cmN
- B. $2\sqrt{2}$ cmN
- C. 4 cmN
- D. $20\sqrt{2}$ cm N
- E. 200 cm N

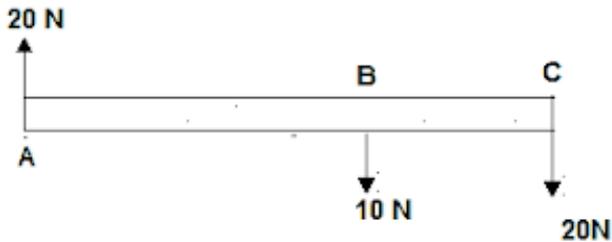
20. Perhatikan gambar



Jika massa batang 2 kg . hitung momen gaya pada batang jika sistem diputar dengan poros di ujung kiri batang (F_1)

- A. 7 mN
- B. 14 mN
- C. 21 mN
- D. 34 mN
- E. 50 Mn

21. Perhatikan gambar!



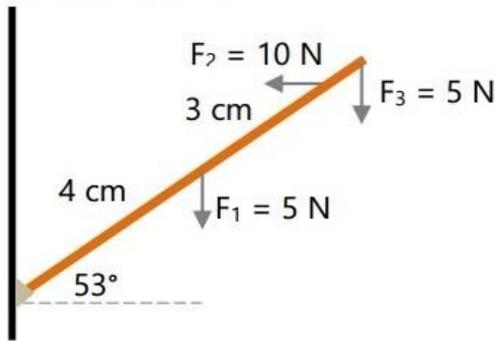
Jika panjang $AB = 8\text{ cm}$ dan $BC = 2\text{ cm}$. hitung besar momen gaya batang jika sistem diputar dengan poros dipusat massa (tengah batang)

- A. 2 mN
- B. $2,3\text{ mN}$
- C. 4 mN
- D. $5,5\text{ mN}$
- E. $1,6\text{ mN}$

22. Apabila dimensi massa, panjang, dan waktu berturut-turut adalah M, L, dan T, maka dimensi dari momen gaya adalah

- A. $ML^{-2}T^{-2}$
- B. $ML^{-1}T^{-2}$
- C. MLT^{-2}
- D. MT^2T^{-2}
- E. ML^2T^2

23. Tentukan torsi batang homogen berikut yang memiliki panjang 8 cm!

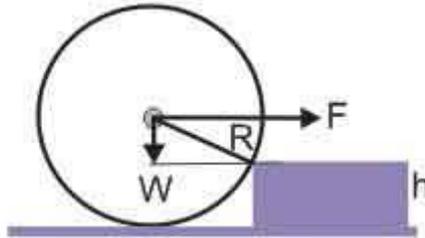


- A. 0,2 N.m
- B. $\frac{1}{2}$ N.m
- C. 2 N.m
- D. 1 N.m
- E. 9 N.m

24. Bola pejal 2 kg dengan jari – jari 10 cm yang awalnya ditahan menggelinding pada bidang miring 3,5 m licin dengan kemiringan 37. Berapa kecepatan bola ketika sampai di bawah?

- A. 5,47 m/s
- B. 8,7 m/s
- C. 98,4 m/s
- D. 23,47 m/s
- E. 5,7 m/s

25. Sebuah roda akan dinaikkan pada anak tangga seperti pada gambar berikut:



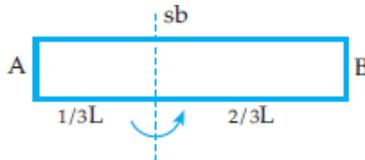
Jika jari-jari sama dengan R , berat roda sama dengan W , tinggi anak tangga sama dengan h , maka gaya F minimum yang dibutuhkan agar roda tersebut dapat naik adalah ...

- A. $W(R - h)$
- B. $W(2Rh - h^2)^{1/2} / (R - h)$
- C. $W(2Rh - h^2)$
- D. $W(R - h)/R$
- E. $Wh/(R - h)$

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 $1/3 L$ 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/s². Berapakah energy kinetik bola itu setelah berputar selama 2 detik?

BAB VIII

OPTIK GEOMETRI



Gambar 7. 1 Pelangi (Sumber: www.climate.met.psu.edu)

A. Pengantar

Dalam bab ini kita akan memaparkan materi optika geometri yang membahas mengenai cahaya yang dapat terpantul oleh pemantul yang mengilap dan terbias oleh bahan bening. Dipaparkan pula instrumen optik yang merupakan salah satu bentuk pemanfaatan sifat cahaya dengan alat berbentuk cermin, lensa, dan kombinasinya.

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. Capaian pembelajaran ini yaitu kemampuan menganalisis optik geometri.

B. 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:

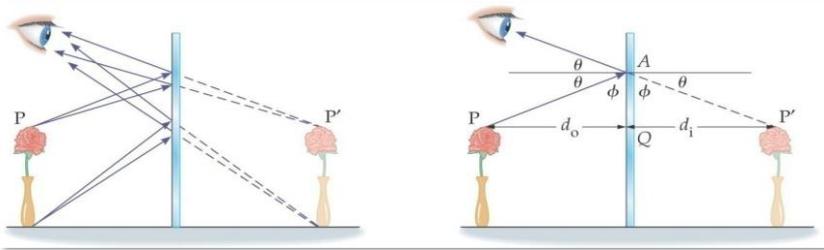
- Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal berpotongan pada satu titik dan terletak pada satu bidang datar.
- Sudut datang (i) sama dengan sudut pantul (r). Secara sistematis dituliskan bahwa: $i = r$

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 bagiankiri bayangan.
- e. bayangan cermin merupakan bayangan semu (maya), artinya tidakdapat ditangkap dengan layar.



Gambar 7. 2 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:

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

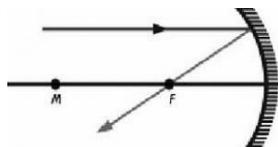
Dimana. f = jarak fokus cermin
 R = radius cermin

Sinar-sinar istimewa pada cermin cekung

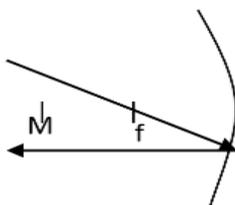
Dari semua cara yang mungkin untuk melukiskan sinar yang berasal dari sebuah benda menuju sebuah cermin, hanya ada 3 yang utama dan berguna untuk menentukan lokasi bayangan, yaitu:

- sinar datang yang paralel dengan sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus,
- sinar datang yang melalui titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama,
- sinar datang yang melalui titik pusat kelengkungan cermin dipantulkan melalui titik itu juga.

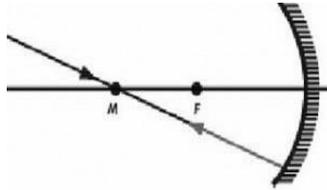
1)



2)



3)



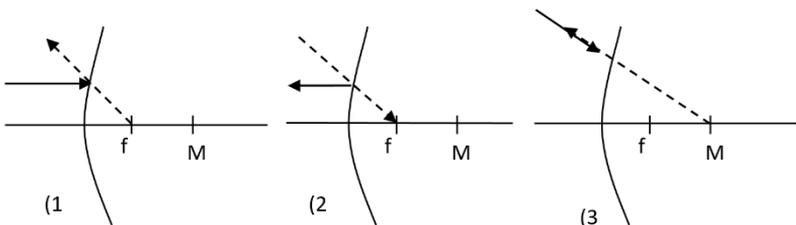
Gambar 7. 3 Sinar-sinar Istimewa pada Cermin Cekung

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 berpecah. Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung

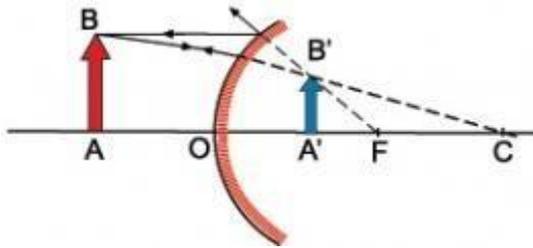
Mengacu pada argumen yang sama dengan pemantulan pada cermin cekung, maka dapat dirumuskan aturan pelukisan diagram sinar untuk cermin cembung sebagai berikut:

- sinar datang yang paralel dengan sumbu utama dipantulkan seolah-olah berasal dari titik fokus,
- sinar datang yang menuju titik fokus dipantulkan paralel dengan sumbu utama,
- sinar datang yang menuju pusat kelengkungan dipantulkan melalui lintasan yang sama.



Gambar 7. 4 Sinar-sinar Istimewa pada Cermin Cembung

Pembentukan bayangan pada cermin cembung:



Gambar 7. 5 Pembentukan Bayangan pada Cermin Cekung

Rumus cermin lengkung(cekung&cembung)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

(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

Soal Latihan

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

- a. letak bayangan
- b. perbesaran bayangan
- c. 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)

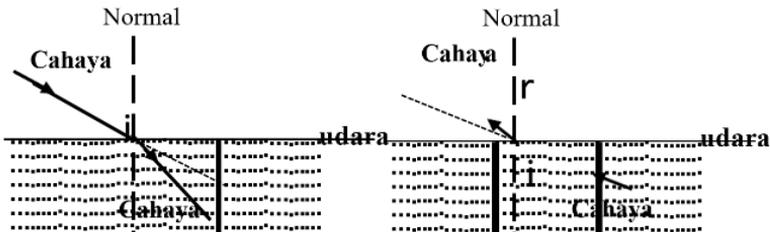
c. $M = h'/h$

$$3 = h'/20$$

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

C. 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. 6 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 7.1 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 : $n = 2,42$

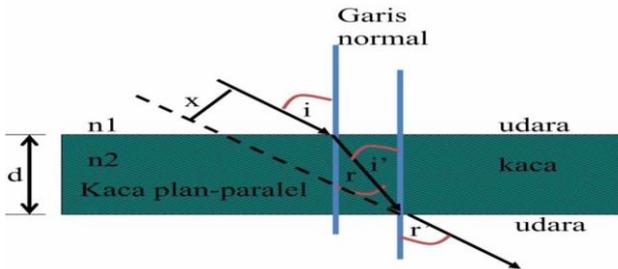
$c = 3 \times 10^8$ m/s

Ditanyakan : $v = \dots ?$.

Jawab :

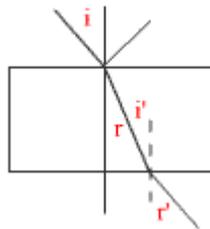
$$v = \frac{c}{n} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2,42} = 1,24 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

2. Pembiasan pada Medium Plan Paralel



Gambar 7. 7 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. 8 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.

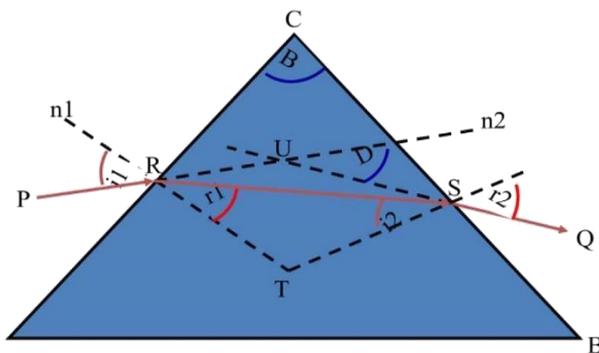
Menurut hukum Snellius akan berlaku:

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

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. 9 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 penyim-

pangan 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

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

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

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.

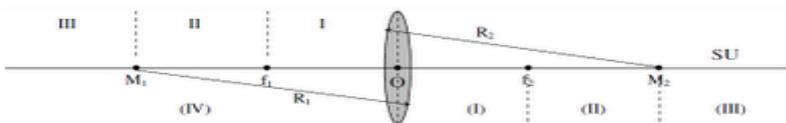


Gambar 7. 11 Pembiasan Cahaya pada Lensa Cembung

Lensa cembung bersifat konvergen atau mengumpulkan cahaya. Titikdimana 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:



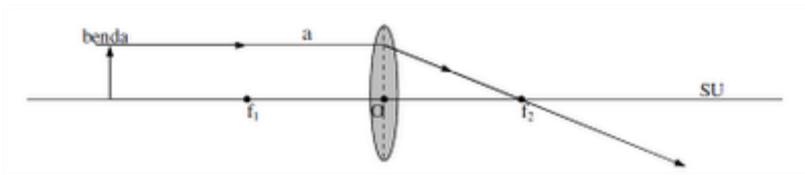
Gambar 7. 12 Pembentukan Bayangan pada Lensa Cembung

- SU : sumbu utama
- O : titik pusat optik lensa
- f₁ dan f₂ : titik api (fokus) lensa.
- O - f₁ dan O - f₂ : f = jarak titik api lensa.
- R₁ dan R₂ : jari-jari kelengkungan lensa.

I, II, III : nomor ruang untuk meletakkan benda,
 (II), (III), (IV) : nomor ruang untuk bayangan
 benda

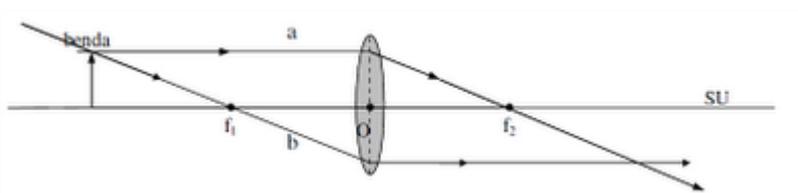
Tiga berkas cahaya/sinar istimewa pada lensa cembung

- a. Sinar datang sejajar sumbu utama (SU) akan dibiaskan melalui titik api (fokus/f);



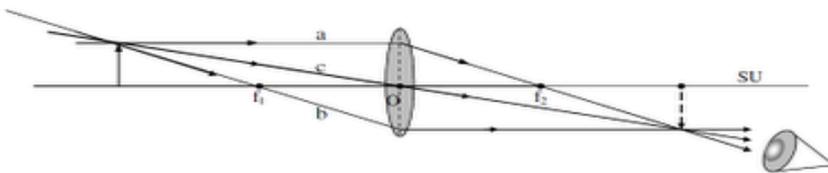
(a)

- b. 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)

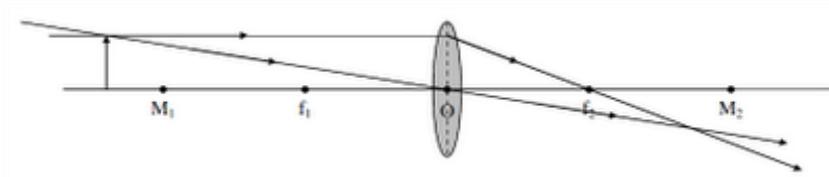
Sebenarnya, dua dari tiga berkas cahaya ini sudah cukup untuk mencari lokasi titik bayangannya, yang merupakan titik perpotongannya.

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 bendateletak di ruang II dan III.
- Bayangan maya, terjadi dari perpotongan perpanjangan sinar-sinar bias yang divergen (menyebarkan). 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. 13 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.

Lensa konveks konkaf (meniskus cekung/cekung cembung) yaitu lensa yang permukaannya satu cekung yang lainnya cembung

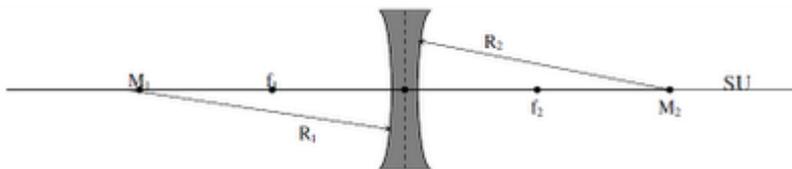


Gambar 7. 14 Pembiasan pada Lensa Cekung

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:

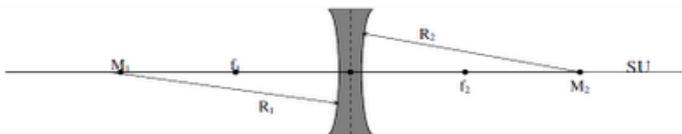


Gambar 7. 15 Pembentukan Bayangan pada Lensa Cekung

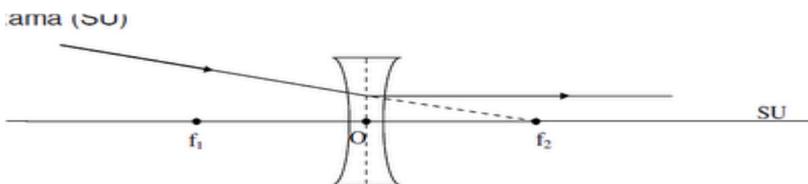
SU : sumbu utama O : titik pusat optik lensa
 f1 dan f2 : titik api (fokus) lensa.
 O - f1 dan O - f2 : f = jarak titik api lensa.
 R1 dan R2 : jari-jari kelengkungan lensa.

Tiga berkas cahaya/sinar istimewa pada lensa cembung

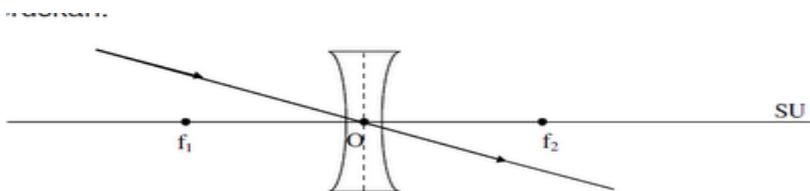
- a. Sinar datang sejajar sumbu utama (SU) akan dibiaskan seolah-olah dari titik api (f1);



- b. Sinar datang seolah-olah menuju titik api (f2) akan dibiaskan sejajar sumbu utama (SU)

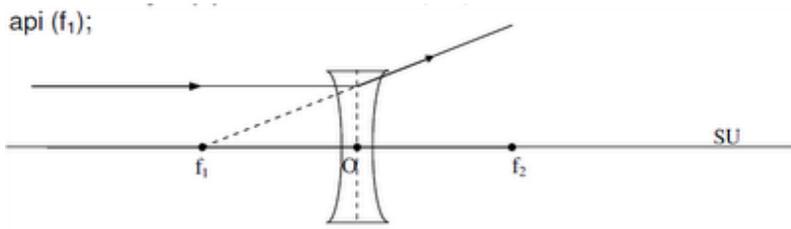


- c. Sinar datang melalui titik pusat optik lensa (O) tidak dibiaskan melainkan diteruskan.



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. 16 Penentuan Sifat Bayangan pada Lensa Cekung

Sifat bayangan yang terjadi:

- maya (di depan lensa)
- tegak
- diperkecil

D. 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 katalain Raka menggunakan kacamata minus setengah ($-0,5$).

E. 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

F. 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 memblok 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 dan 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. 2. 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

$$D_{\min} = (i_1 + r_1) - \beta$$
$$i_1 = \frac{D_{\min} + \beta}{2} \quad \text{dan} \quad r_1 = \frac{\beta}{2}$$

8. Daya Lensa

$$P = \frac{1}{f}$$

Latihan

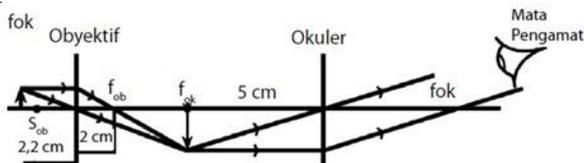
1. Pada sebuah jendela kaca, seberkas cahaya datang membentuk sudut 45° menuju udara dan membias dengan sudut 60° . Tentukan besar indeks bias kaca jika $n_{\text{udara}}=1$!
2. Sebuah benda diletakkan 4 cm di depan cermin cembung yang jarak titik apinya 6 cm. Tentukan jarak dan sifat banyangan yang terbentuk!
3. Dua buah lensa A dan B masing-masing kekuatannya 10 D dan $25/3$ 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:
- Jarak bayangan
 - Tinggi bayangan akhir yang terbentuk
4. Seorang penderita rabun jauh memiliki jarak titik dekat 20 cm dan jarak titik jauhnya 60 cm. Untuk dapat melihat jelas benda yang jauh, berapakah kekuatan kaca mata yang harus digunakannya

Evaluasi

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Amatilah diagram pembentukan bayangan oleh mikroskop berikut ini!



Jika berkas sinar yang keluar dari lensa okuler merupakan berkas sejajar, dan mata yang mengamati berpenglihatan normal, maka perbesaran mikroskop adalah ($S_n = 25 \text{ cm}$)

- 10 kali
 - 18 kali
 - 22 kali
 - 30 kali
 - 50 kali
2. Alat optik di bawah ini yang selalu menghasilkan bayangan maya, tegak dan diperkecil dari suatu benda nyata, adalah
- cermin datar
 - cermin cekung
 - cermin cembung
 - lensa positif
 - lensa negative

3. Sebuah lensa berjarak fokus 5 cm, digunakan sebagai lup. Mata normal menggunakan lup tersebut dengan berakomodasi maksimum, maka perbesaran anguler lup adalah
- 3 kali
 - 4 kali
 - 5 kali
 - 6 kali
 - 8 kali
4. Seorang teropong diarahkan ke bintang, menghasilkan perbesaran anguler 25 kali. Jika jarak fokus objektif 150 cm, maka jarak antara lensa objektif dan lensa okuler teropong tersebut adalah ... cm
- 175
 - 156
 - 150
 - 144
 - 120
5. Dalam sebuah eksperimen untuk menentukan kecepatan cahaya di dalam air, seorang siswa melewatkan seberkas cahaya ke dalam air dengan sudut datang 30° . Kemudian, siswa mencatat sudut bias yang terjadi di dalam air ternyata besarnya 22° . Jika kecepatan cahaya di udara dianggap 3×10^8 m/s, maka kecepatan cahaya di dalam air adalah
- $2,25 \times 10^8$ m/s
 - $4,25 \times 10^8$ m/s
 - 5×10^8 m/s
 - $5,25 \times 10^8$ m/s
 - $6,25 \times 10^8$ m/s
6. Cahaya datang dari air ke kaca. Indeks bias air = 1,33, indeks bias kaca = 1,54. Maka, indeks bias relatif kaca terhadap air dan kecepatan cahaya di kaca jika kecepatan cahaya di air sebesar $2,25 \times 10^8$ m/s adalah
- $1,25 \times 10^8$ m/s

- B. $1,94 \times 10^8$ m/s
 C. 2×10^8 m/s
 D. $2,25 \times 10^8$ m/s
 E. $3,25 \times 10^8$ m/s
7. Benda diletakkan di depan cermin cekung yang memiliki jari-jari kelengkungan 20 cm. Jika benda terletak 80 cm di depan cermin, bayangan benda yang terbentuk bersifat....?
- A. nyata, tegak, dan diperbesar
 B. maya, tegak, dan diperbesar
 C. nyata, terbalik, dan diperkecil
 D. nyata, terbalik, dan diperbesar
 E. nyata, terbalik, dan sama besar
8. Benda berada di depan cermin cekung yang memiliki jarak fokus 20 cm. Terbentuk bayangan nyata dan diperbesar 5 kali semula. Jarak benda ke cermin sejauh ... cm.
- A. 18
 B. 21
 C. 24
 D. 27
 E. 30
9. Dua buah cermin dipasang berdekatan dengan sudut 30° kemudian di depannya diletakkan sebuah benda, maka banyaknya bayangan yang terbentuk adalah....
- A. 3
 B. 6
 C. 11
 D. 17
 E. 30
10. Sebuah benda diletakkan 9 cm di depan cermin cekung yang memiliki jari-jari kelengkungan 20 cm. Sifat-sifat

bayangan benda yang dihasilkan cermin adalah...

- A. Maya, tegak, diperbesar
- B. Maya, tegak, diperkecil
- C. Nyata, tegak, diperbesar
- D. Nyata, terbalik, diperbesar
- E. Nyata, terbalik diperkecil

11. Dua cermin yang masing-masing panjangnya 1,6 m disusun berhadapan seperti pada gambar di bawah ini. Jarak antara cermin 20 cm. Suatu berkas sinar jatuh tepat pada salah satu ujung cermin dengan sudut 30° . Sinar akan keluar dari pasangan cermin setelah mengalami pemantulan sebanyak....

- A. 16 kal
- B. 15 kali
- C. 4 kali
- D. 13 kali
- E. 9 kali

12. Cermin cembung A memiliki jari-jari kelengkungan 40 cm. Agar diperoleh perbesaran 2 kali, maka benda harus diletakkan pada jarak . . .

- A. 120 cm
- B. 60 cm
- C. 30 cm
- D. 15 cm
- E. 7,5 cm

13. Indeks bias udara besarnya 1, indeks bias air $\frac{4}{3}$, dan indeks bias bahan suatu lensa tipis $\frac{3}{2}$. Suatu lensa tipis yang kekuatannya di udara 4 dioptri di dalam air akan menjadi....

- A. $\frac{3}{5}$ dioptri
- B. 1 dioptri
- C. $\frac{5}{4}$ dioptri

- D. $5/2$ dioptri
 E. $5/3$ dioptri
14. Sebuah benda diletakkan di muka cermin cekung yang mempunyai jarak titik api 15 cm. Agar bayangan yang terbentuk 3 kali lebih besar dan nyata, maka benda harus diletakkan di depan cermin sejauh.....
- A. 10 cm
 B. 15 cm
 C. 20 cm
 D. 30 cm
 E. 45 cm
15. Lensa bikonveks terbuat dari bahan kaca dengan indeks bias 1,5. Permukaan lensa memiliki jejari kelengkungan 10 dan 20 cm. Jika lensa terletak di udara maka besar fokus lensa adalah...
- A. 10 cm
 B. 12,3 cm
 C. 14 cm
 D. 11,3 cm
 E. 13,3 cm
16. Suatu lensa cembung ganda memiliki jari-jari kelengkungan 80 cm dan 120 cm. Letak bayangan sebuah benda yang berada pada jarak 2 m dari lensa dan indeks bias $n = 1,5$ adalah.....
- A. 0,15 m
 B. 0,85 m
 C. 1,85 m
 D. 0,45 m
 E. 1,15 m
17. Jika bayangan yang terbentuk oleh cermin cekung dengan jari-jari lengkung 20 cm adalah nyata dan

diperbesar dua kali, maka bendanya terletak dimuka cermin sejauh.....

- A. 60 cm
- B. 20 cm
- C. cm
- D. 30 cm
- E. 15 cm

18. Suatu berkas cahaya dengan panjang gelombang 6×10^{-5} cm masuk dari udara ke dalam balok kaca yang indeks biasnya 1,5. Panjang gelombang cahaya dalam kaca sama dengan.....

- A. 9×10^{-5} cm
- B. 6×10^{-5} cm
- C. 4×10^{-5} cm
- D. $7,5 \times 10^{-5}$ cm
- E. $4,5 \times 10^{-5}$ cm

19. Sebuah lensa cembung yang terbuat dari suatu kaca berindeks bias 1,5 memiliki jarak fokus 2,5 cm di udara. jika lensa itu dicelupkan ke dalam zat cair yang berindeks bias 1,3. Hitunglah jarak fokus lensa dalam cairan itu....

- A. 2,8 cm
- B. 5,6 cm
- C. 8,1 cm
- D. 4,2 cm
- E. ,6 cm

20. Perhatikan beberapa pernyataan berikut!

- 1). Sisi – sisinya saling berkebalikan
- 2). Maya, tegak, diperbesar
- 3). Maya, tegak, sama besar
- 4). Bayangan di jauh tak hingga

Pernyataan yang benar mengenai sifat bayangan cermin datar adalah . . .

- A. Semua benar
- B. 1 dan 3
- C. 2 dan 4
- D. 4 saja
- E. Benar semua

21. Terdapat dua lensa plankonveks sejenis. Bila sebuah benda diletakkan 20 cm di kiri salah satu lensa plankonveks tersebut, maka terbentuk bayangan 40 cm di kanan lensa plankonveks tersebut. Kemudian kedua lensa plankonveks disusun bersentuhan sehingga membentuk sebuah lensa bikonveks. Jika benda berada 20 cm di kiri lensa bikonveks tersebut, letak bayangan yang terbentuk adalah...

- A. 6,7 cm di kanan lensa
- B. 80 cm di kanan lensa
- C. 10 cm di kanan lensa
- D. 80 cm di kiri lensa
- E. 20 cm di kanan lensa

22. Sebuah benda yang panjangnya 30 cm diletakkan pada sumbu utama sebuah lensa konvergen yang jarak fokusnya 10 cm. Ujung benda yang terdekat pada lensa jaraknya 20 cm dari lensa. Panjang bayangan yang terjadi adalah.....

- A. 5,0 cm
- B. 10 cm
- C. 15 cm
- D. 7,5 cm
- E. 12,5 cm

23. Sinta memiliki 2 buah cermin datar dan sebuah mobil. Untuk memperoleh foto dengan jumlah mobil sebanyak

7, maka sudut yang harus dibentuk kedua cermin adalah..

- A. 45°
- B. 51°
- C. 60°
- D. 72°
- E. 90°

24. Pilihlah jawaban yang tepat dari pilihan di bawah ini.

- 1) Perhatikan pernyataan berikut!
- 2) Jari-jari kelengkungan $R = 0$
- 3) Bayangan nyata dan terbalik
- 4) Bayangan di depan cermin
- 5) Perbesaran sama besar

Berdasarkan pernyataan tersebut, maka yang berkaitan dengan cermin datar adalah.....

- A. Semua benar
- B. 1, 3
- C. 4 saja
- D. 1, 2
- E. Semua salah

25. Syifa memiliki jarak mata ke ujung kaki sepanjang 162 cm dan ke ujung rambutnya sepanjang 8 cm. Tinggi minimal cermin datar yang diperlukan agar seluruh tubuhnya terlihat adalah . . .

- A. 170 cm
- B. 154 cm
- C. 85 cm
- D. 81 cm
- E. 79 cm

B. Jawablah dengan benar!

- 1. Lukiskan ketiga sinar istimewa pada cermin cembung!
- 2. Sebuah prisma mempunyai sudut pembias 60° dan indeks biasnya 1,5. Seberkas sinar datang pada salah satu sisi

- pembias prisma dengan sudut datang 60° , 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!

BAB IX

ARUS DAN RANGKAIAN

LISTRIK



Gambar 8. 1 Bola Lampu (Sumber: Jendela IPTEK)

A. Pengantar

Dalam bab ini memaparkan arus dan rangkaian listrik yang meliputi gaya gerak listrik, hukum ohm, rangkaian listrik, rangkaian resistor, serta penerapan hukum ohm dan hukum 1 kirchoff. Pada masa modern ini seolah-olah dapat dikatakan bahwa manusia tidak dapat hidup tanpa listrik. Tidak bisa dipungkiri bahwa listrik sudah menjadi bagian dari kehidupan kita. Kita hidup pada zaman dimana hampir semua kegiatan manusia tergantung dengan adanya listrik.

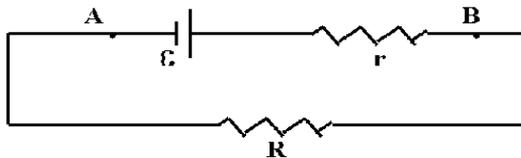
Mulai dari pekerjaan rumah tangga seperti mencuci, memasak, menyetrika pakaian, memotong rambut, dan masih banyak lagi hingga pekerjaan industri seperti perkantoran, perusahaan transportasi, instansi pemerintahan dan semua kegiatan lainnya. Akhir-akhir ini kita sedang dihadapkan dengan

masalah krisis energi salah satunya adalah mulai berkurangnya pasokan energi listrik ini ke sejumlah daerah. Untuk itu perlu adanya pengefisiensiian terhadap penggunaan energi listrik. Diantaranya pembatasan waktu penggunaan peralatan elektronik mulai pukul 17.00 hingga pukul 22.00 atau pemadaman bergilir pada bagian daerah tertentu.

Dalama situasi pemadaman terkadang kita melihat bahwa diantara dua perumahan yang berdekatan hanya salah satunya yang padam. Bagaimana lampu-lampu di pinggir jalan dapat menyala dan padam serta bagaimana operasi lampu taman dalam hal ini dapat berjalan dengan konsep arus dan rangkaian listrik. Capaian pembelajaran ini untuk mencapai kemampuan menganalisis arus dan rangkaian listrik dalam kehidupan sehari-hari.

B. Gaya Gerak Listrik (GGL)

Tinjau suatu rangkaian tertutup



Gambar 8. 2 Rangkaian Tertutup

Sumber GGL mempunyai hambatan dalam r , sehingga beda potensial/tegangan antara kutub A dan B dapat dituliskan sebagai:

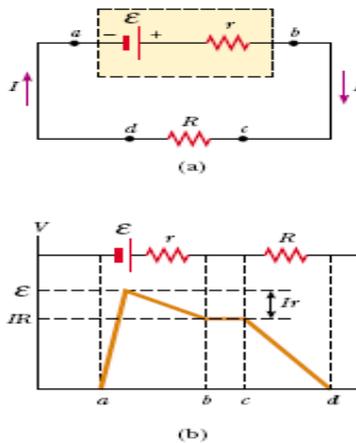
$$V_{AB} = \varepsilon - ir = iR$$

$$\varepsilon > V_{AB}$$

$$\varepsilon = V_{AB}$$

Oleh karenanya untuk muatan-muatan melingkari rangkaian. Jikar = 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. Tetapi begitu kita melewati hambatan dalam *r*, potensial berkurang sejumlah *Ir*, dimana *I* adalah arus dalam rangkaian.



Gambar 8. 3 Gaya Gerak Listrik

$$V_{AB} = \epsilon - Ir = IR$$

$$\epsilon = IR + Ir$$

$$I = \frac{\epsilon}{R + r}$$

C. 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,

$$I \propto \frac{1}{R}$$

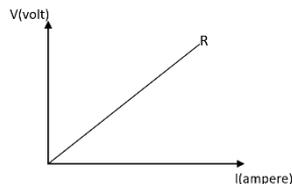
Persamaan di atas menunjukkan bahwa hambatan berbanding terbalik dengan kuat arus.

$$I \propto V$$

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 dilewati kuat 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. 4 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 8.4. 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 peng-hantar:



Gambar 8. 5 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 5,0cm.

- 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 20⁰C adalah $3,5 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$.

Penyelesaian.

Ditanyakan

- Luas ujung yang berbentuk segiempat sama sisi $A = 1,0 \text{ cm} \times 1,0 \text{ cm} = 10^{-4} \text{ m}^2$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{(3,5 \times 10^{-5} \Omega\text{m})(0,5 \text{ m})}{10^{-4} \text{ m}^2} = 0,175 \Omega$$

- Luas segiempat siku-siku $A = 1,0 \text{ cm} \times 5,0 \text{ cm} = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$

$$R = \frac{\rho l}{A} = \frac{(3,5 \times 10^{-5} \Omega\text{m})(10^{-2} \text{ m})}{5 \times 10^{-4} \text{ m}^2} = 7 \times 10^{-5} \Omega$$

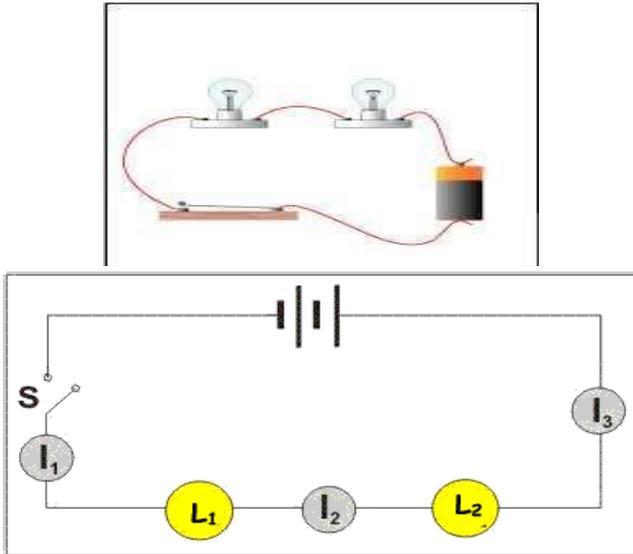
D. Rangkaian Listrik

Gambar 8.6
Rangkaian Listrik
(Sumber:
kumparan.com)



1. Kuat arus dalam rangkaian tidak bercabang:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_{total}$$

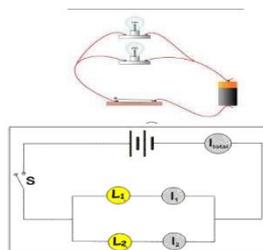


Gambar 8. 7 Rangkaian Listrik Tidak Bercabang

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.

$$\Sigma I_{masuk} = \Sigma I_{keluar}$$



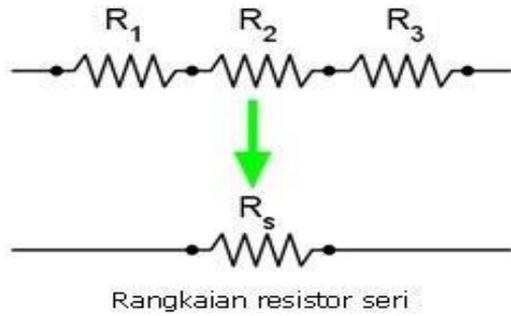
Gambar 8. 8 Rangkaian Listrik Bercabang

Pada contoh diatas

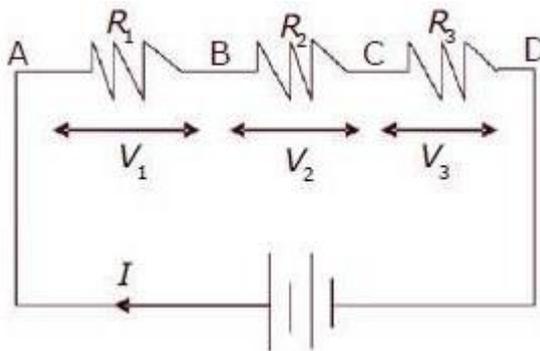
$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2$$

E. Rangkaian Resistor

1. Rangkaian Resistor Seri



Gambar 8. 9 Rangkaian Resistor Seri



Gambar 8. 10 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:

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3$$

$$R_t \times I_t = R_1 \times I_1 + R_2 \times I_2 + R_3 \times I_3$$

$$\boxed{R_{total} = R_1 + R_2 + R_3}$$

Contoh Soal

Hitung nilai resistor pengganti dari ketiga resistor yang dirangkai seperti dibawah ini!



Penyelesaian:

Diketahui: $R_1 = 2 \text{ ohm}$

$R_2 = 4 \text{ ohm}$

$R_3 = 3 \text{ ohm}$

Ditanyakan: $R_s = \dots\dots\dots ?$

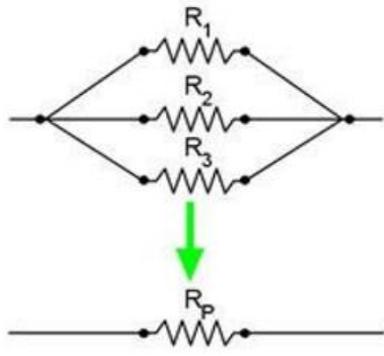
Dijawab:

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_s = 2 + 4 + 3$$

$$R_s = 9$$

Jadi nilai resistor pengganti adalah 9 ohm



Gambar 8. 11 Rangkaian Resistor Paralel

2. 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 resestor, tetapi tegangan pada ujung- ujung resistor sama besar. Pada rangkaian fresestor 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:

$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$$

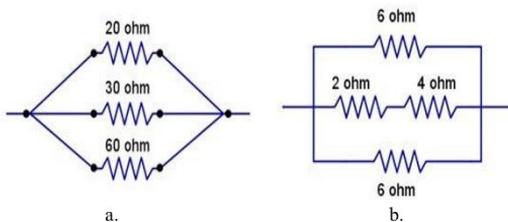
$$\frac{V_{total}}{R_{total}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}$$

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!



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:

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$$1/R_p = 1/20 + 1/30 + 1/30$$

$$1/R_p = 3/60 + 2/60 + 1/60$$

$$1/R_p = 6/60$$

$$R_p = 10 \text{ ohm}$$

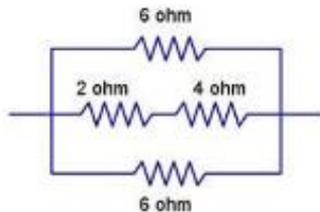
Jadi nilai resistor pengganti adalah 10 ohm.

b) Diketahui: $R_1 = 6 \text{ ohm}$

$$R_2 = 2 \text{ ohm}$$

$$R_3 = 4 \text{ ohm}$$

$$R_6 = 6 \text{ ohm}$$



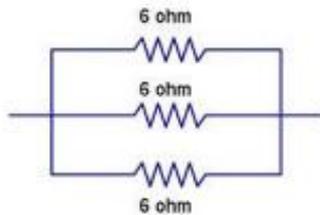
Ditanyakan: $R_p = \dots\dots\dots?$

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

$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$$

$$1/R_p = 1/6 + 1/6 + 1/6$$

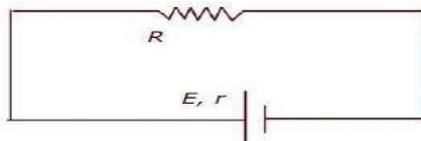
$$1/R_p = 3/6$$

$$R_p = 2 \text{ ohm}$$

Jadi nilai resistor pengganti adalah 2 ohm

F. Penerapan Hukum Ohm dan Hukum I Kirchoff

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 Kirchoff. Misal, sebuah rangkaian listrik sederhana yang terdiri atas sebuah hambatan luar, R , sumber tegangan, E , dan hambatan dalam r , lihat pada Gambar 8.11!



Gambar 8. 12 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:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

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 Kirchoff:

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

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

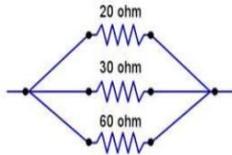
- penampang kawat penghantar terhadap hambatan kawat penghantar tersebut?
3. Sebuah pemanas listrik dihubungkan pada beda potensial 220 V. Ternyata kuat arus yang mengalir pada kawat pemanas tersebut 5 A. Berapakah hambatan kawat pemanas itu?
 4. Sepotong kawat penghantar berhambatan 60 ohm dihubungkan 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

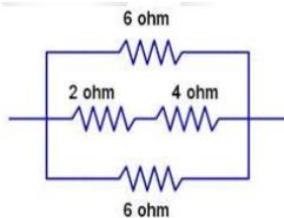
A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. 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?
 - A. 0,18 Ω
 - B. 0,24 Ω
 - C. 0,3 Ω
 - D. 0,12 Ω
 - E. 0,2 Ω
2. Sebuah balok Carbon siku-siku mempunyai dimensi 1,0 cm x 1,0 cm x 10,0 cm. Berapa hambatan yang diukur diantara dua muka bertentangan yang berbentuk segiempat siku-siku adalah.... (Resistivitas Carbon pada 20⁰ C adalah $3,5 \times 10^{-5} \Omega\text{m}$)
 - A. $3,5 \times 10^{-5} \Omega$
 - B. $7 \times 10^{-5} \Omega$
 - C. $35 \times 10^{-5} \Omega$
 - D. $14 \times 10^{-5} \Omega$
 - E. $35 \times 10^{-4} \Omega$

3. Hitung nilai resistor pengganti yang dirangkai seperti di bawah ini !

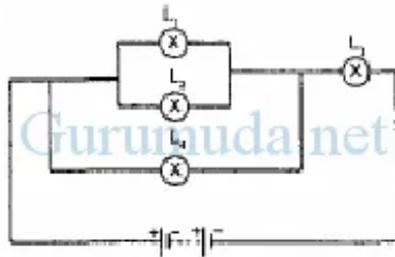


- A. 50 Ohm
 B. 40 Ohm
 C. 30 Ohm
 D. 20 Ohm
 E. 10 Ohm
4. Hitung nilai resistor pengganti yang dirangkai seperti di bawah ini !

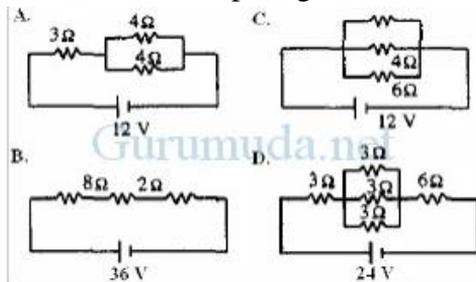


- A. 2 ohm
 B. 3 ohm
 C. 4 ohm
 D. 5 ohm
 E. 6 ohm
5. Dalam sebuah penghantar yang mempunyai hambatan 400 ohm, mengalir arus listrik sebesar 250 miliampere. Besar beda potensial pada kedua ujungnya adalah
- A. 100 V
 B. 200 V
 C. 400 V
 D. 800 V
 E. 1000 V
6. Sebuah kawat penghantar memiliki hambatan 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. $1,55 \times 10^{-6}$

11. Perhatikan gambar! Lampu yang arus listriknya sama dengan arus yang melalui sumber ggl adalah ...

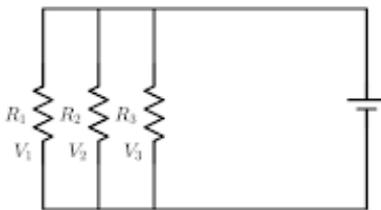


- A. L_1
 B. L_2
 C. L_3
 D. L_4
 E. L_4 dan L_3
12. Dari gambar rangkaian berikut, manakah yang akan mengalirkan arus listrik paling besar?



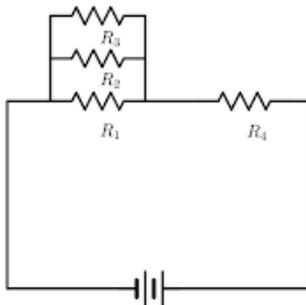
- A. A
 B. B
 C. C
 D. D
 E. A dan B
13. Apabila sebuah Resistor R memiliki beda potensial pada kedua ujungnya sebesar V dan dialiri sebuah arus listrik I . Tentukan besar rasio perbandingan kuat arus mula-mula terhadap kuat arus akhir, apabila resistor R dinaikkan menjadi 2 kali dari nilai awal?

- A. 3 : 2
 B. 2 : 1
 C. 1 : 2
 D. 4 : 3
 E. 1 : 3
14. Sebuah rangkaian terdapat dua buah resistor dengan nilai hambatan masing-masing 6Ω dan 3Ω .Resistor secara paralel. Tegangan total adalah 4 Volt. Hitung Kuat arus listrik pada rangkaian.
- A. 6 A
 B. 5 A
 C. 4 A
 D. 3 A
 E. 2 A
15. Sebuah rangkaian sederhana dimana memiliki hambatan berturut-turut $R_1=3 \text{ Ohm}$, $R_2=4 \text{ Ohm}$ dan $R_3=12 \text{ Ohm}$ sebagaimana gambar dibawah. Dialiri tegangan listrik sebesar 3 Volt. Tentukan arus yang mengalir pada rangkaian pada titik R_1 , R_2 , dan R_3 serta nilai Kuat arus total atau I total.



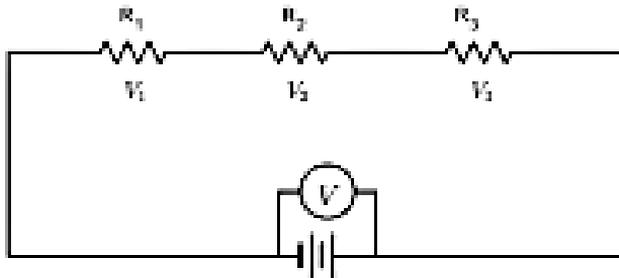
- A. 1 A
 B. 2 A
 C. 3 A
 D. 4 A
 E. 5 A

16. Suatu rangkaian listrik tertutup yang terdiri dari sumber daya berupa baterai dan beban lampu pijar. Pada percobaan pertama dicoba digunakan baterai berkapasitas 24 volt. Selanjutnya pada percobaan kedua tegangan dari baterai diturunkan menjadi setengahnya. Bila didapati hambatan sebesar 6 Ohm pada rangkaian. Tentukan nilai kuat arus awal dan akhir dari rangkaian tersebut.
- A. 4 A dan 3 A
 B. 2 A dan 1 A
 C. 4 A dan 2 A
 D. 3 A dan 2 A
 E. 2 A dan 3 A
17. Perhatikan gambar dibawah. Terdapat sebuah rangkaian listrik sederhana. Bila diketahui nilai tegangan pada rangkaian adalah 80 Volt dan nilai $R_1=12$ $R_2=16$ $R_3=48$ $R_4=14$. Tentukan Kuat arus listrik yang mengalir?



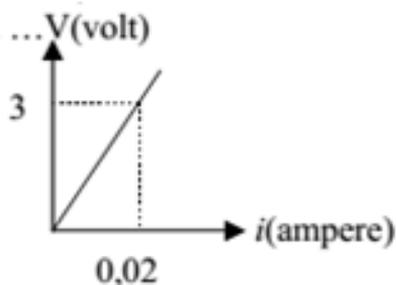
- A. 8 A
 B. 6 A
 C. 4 A
 D. 3 A
 E. 2 A
18. Sebuah rangkaian sederhana dimana memiliki hambatan berturut-turut $R_1=4$ Ohm, $R_2=6$ Ohm dan $R_3=10$ Ohm

sebagaimana gambar dibawah. Bila nilai beda potensial yang mengalir pada rangkaian adalah 60 Volt. Tentukan kuat arus yang mengalir pada rangkaian seri dibawah



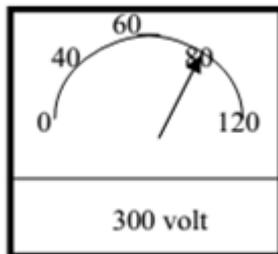
- A. 2 A
- B. 3 A
- C. 4 A
- D. 5 A
- E. 6 A

19. Dari percobaan hubungan tegangan (V) dengan kuat arus (I) pada resistor, dihasilkan grafik V-I pada gambar di bawah. Jika $V = 4,5$ volt maka besar kuat arus yang mengalir adalah ...



- A. 5 mA
- B. 10 mA
- C. 20 mA
- D. 30 mA
- E. 35 mA

20. Pada sebuah penampang terdapat aliran listrik yang dimana terdapat kuat arus 20 Ampere. Dan tegangan yang dihasilkan sekitar 68 Volt. Maka besar hambatannya adalah....
- 2,4 Ohm
 - 3 Ohm
 - 3,4 Ohm
 - 4 Ohm
 - 4,5 Ohm
21. Diketahui pada suatu penghantar mengalir arus listrik sebesar 16 Ampere dan juga terdapat hambatan sebesar 2 Ohm. Berapa besarnya tegangan sumber ?
- 36 V
 - 25 V
 - 42 V
 - 45 V
 - 32 V
22. Jarak voltmeter AC menunjukkan angka 80. Apabila batas ukur 300 volt, tegangan pada saat pengukuran sebesar



- 100 volt
- 150 volt
- 200 volt
- 250 volt
- 300 volt

23. Sebuah arus listrik yang melewati sebuah hambatan dalam suatu rangkaian dengan besar arus listrik adalah 4,0 ampere dan dalam kurun waktu 10 sekon, Berapakah besar muatan listrik nya ?
- A. 30 C
 - B. 35 C
 - C. 40 C
 - D. 45 C
 - E. 50 C
24. Arus listrik 2 Ampere mengalir pada kawat penghantar dengan beda potensial nya yang di kedua ujung nya adalah 12 V. Berapakah hambatan kawat itu ?
- A. 3 Ohm
 - B. 4 Ohm
 - C. 5 Ohm
 - D. 6 Ohm
 - E. 7 Ohm
25. Terdapat arus listrik sebesar 5 A yang mengalir melalui sebuah kawat penghantar selama 1,5 menit. Hitunglah berapa banyak muatan listrik yang melewat u kawat tersebut!.
- A. 400 C
 - B. 450 C
 - C. 500 C
 - D. 550 C
 - E. 580 C

B. Jawablah dengan benar!

1. 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 kuat arus sebesar 0,3A. Berapakah hambatan filamen lampu pijar itu?
5. Hitung nilai resistor pengganti dari ketiga resistor yang dirangkaiseperti di bawah ini !



BAB X

GETARAN DAN GELOMBANG



Gambar 9. 1 Mobil (Sumber: www.auto.tom.com)

A. Pengantar

Dalam bab ini kita akan membahas beberapa pengertian sistem getaran dan gelombang. Bagaimana gerak harmonis sederhana dan kaitannya dengan gerak gelombang.

Jika kita mengamati tetesan gerimis di danau maka yang kita amati adalah gelombang dengan penyebaran pola riak air. Dalam hal ini ada dua fenomena yang diamati, yaitu (1) ada getaran, seperti titik di permukaan air yang bergerak naik turun, (2) adanya perambatan pola. Selain itu kita juga dapat memerhatikan riak permukaan air di pantai. Bagaimana operasi kerja jam dinding, dega bandul, dsb. Capaian pembelajaran ini untuk memahami konsep getaran dan gelombang.

B. 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:

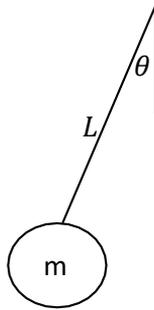
$$F = -kx$$

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 $1 \text{ Hz} = 1$ siklus per detik (s^{-1}). Mudah untuk dilihat, dari defenisi-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. 2 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 :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{L}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Dan frekuensi adalah:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

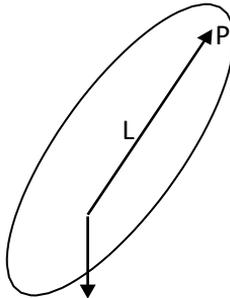
Yang merupakan persamaan getaran selaras sederhana dengan frekuensi

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

2. Bandul Mekanis

Sebuah benda digantung pada titik P dan memiliki momen inersia terhadap sumbu P sebesar I_P . Benda ini disimpangkan dari titik setimbangnya 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. 3 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 berubarah, 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:

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}k0^2 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

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 kebawah.

Penyelesaian.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 6,28 \sqrt{\frac{1400 \text{ kg}}{6,5 \times 10^4 \text{ N/m}}} = 0,92 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,92 \text{ s}} = 1,09 \text{ Hz}$$

C. Gelombang



Gambar 9.4 Ombak di Lautan (Sumber: materikimia.com)

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 samadengan:

$$v = \lambda f$$

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. Hitunglah panjang dawai pada jam bandul yang berdetak satu kali perdetik!
2. Sebuah benda yang massanya 200 gram bergetar harmonik dengan periode 0,2 sekon dan amplitudo 2 cm. Tentukan:
 - a. besar energi kinetik saat simpangannya 1 cm
 - b. besar energi potensial saat simpangannya 1 cm
 - c. besar energi total
3. 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!
4. 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.
5. Suatu benda melakukan gerak harmonik sederhana. Pada saat simpangannya 10 cm di atas titik kesetimbangan, percepatannya $\pi^2 \text{ cm/s}^2$ dengan arah percepatan menuju titik kesetimbangan dan arah geraknya ke bawah. Hitunglah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan itu jika saat itu kelajuannya $\pi \text{ cm/s}$!

Evaluasi

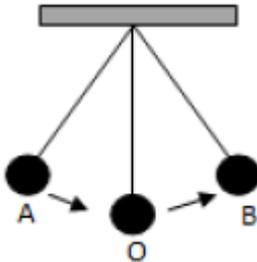
A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. 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.
A. 1,09 Hz
B. 1,4 Hz
C. 1,34 Hz
D. 1,1 Hz
E. 1,8 Hz
2. 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?
A. 300 Hz
B. 350 Hz
C. 420 Hz
D. 450 Hz
E. 470 Hz
3. Berikut ini adalah tabel hasil beberapa frekuensi dari berbagai sumber bunyi :

Sumber Bunyi	Frekuensi (Hz)
A	400
B	200
C	500
D	250

Sumber bunyi dengan nilai panjang gelombang mulai dari yang terbesar secara berurutan adalah.....

- A. D - C - B - A
 - B. C - A - B - D
 - C. B - D - A - C
 - D. A - D - B - C
 - E. B - A - D - C
4. Jika ayunan sederhana bergetar sebanyak 60 kali dalam waktu 15 sekon, maka Frekuensi dan Periode ayunan adalah.....
- A. 4 Hz dan 0,5 sekon
 - B. 3 Hz dan 0,25 sekon
 - C. 4 Hz dan 1/4 sekon
 - D. 3 Hz dan 0,5 sekon
 - E. 5 Hz dan 1/2 sekon
5. Perhatikan gambar berikut!

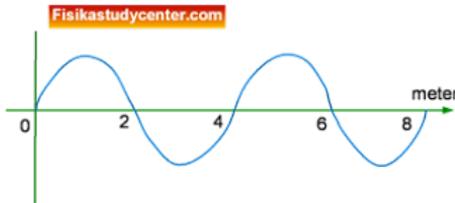


- Satu periode adalah waktu yang diperlukan bandul untuk bergerak dari titik adalah
- A. A - O
 - B. B - O
 - C. A - O - B
 - D. O - A - O - B
 - E. A - O - B - O - A
6. Seekor kelelawar memprediksi keberadaan titik mangsanya dengan ekolokasi pancaran gelombang ultrasonik. Kelelawar tersebut menerima pantulan gelombang dari mangsanya dalam waktu 0,12 sekon. Jika cepat rambat bunyi pada saat itu 320 m/s, maka

jarak mangsa dengan kelelawar tersebut sejauh.....

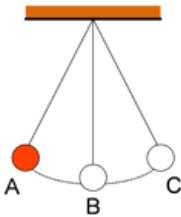
- A. 19,2 m
- B. 20,9 m
- C. 29,2 m
- D. 9,19 m
- E. 21,9 m

7. Perhatikan gambar berikut!



Tentukan frekuensi gelombang jika cepat rambatnya adalah 400 m/s ?

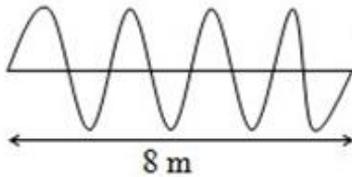
- A. 500 Hz
 - B. 400 Hz
 - C. 300 Hz
 - D. 200 Hz
 - E. 100 Hz
8. Bandul ayunan sesuai gambar bergerak dari A ke C. memerlukan waktu $\frac{1}{40}$ detik.



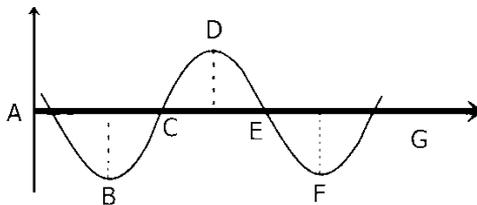
Periode ayunan ini adalah....detik

- A. $\frac{1}{10}$
- B. $\frac{1}{20}$
- C. $\frac{1}{80}$
- D. $\frac{1}{60}$
- E. $\frac{1}{40}$

9. Seutas tali yang panjangnya 8 m direntangkan lalu digetarkan. Selama 2 sekon terjadi gelombang seperti pada gambar berikut! Tentukan λ , f , T , dan v berturut-turut.



- A. 4λ , 4 Hz, 1 sekon, 3 m s^{-1}
 B. 2λ , 2 Hz, $1/2$ sekon, 3 m s^{-1}
 C. 2λ , 3 Hz, 1 sekon, 1 m s^{-1}
 D. 4λ , 4 Hz, 2 sekon, 2 m s^{-1}
 E. 2λ , 2 Hz, $1/2$ sekon, 4 m s^{-1}
10. Jika suatu frekuensi getaran 125 Hz, artinya....
 A. Waktu 125 detik terdapat 1 getaran
 B. Waktu 1 detik terdapat 125 getaran
 C. Waktu 1 menit terdapat 125 getaran
 D. Waktu 1 jam terdapat 125 getaran
 E. Waktu 1 menit terdapat 120 getaran
11. Perhatikan gambar!



Gelombang pada gambar diatas dari A - G menunjukkan gelombang transversal sebanyak..?

- A. 1
 B. 1,5
 C. 2,5
 D. 3
 E. 0,5

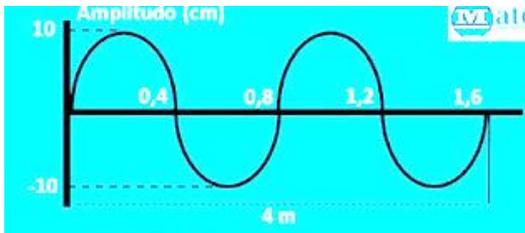
12. Salah satu ujung seutas tali diikat, sedangkan ujung yang lain digetarkan naik-turun dengan periode 0,2 s sehingga terbentuk dua bukit dan satu lembah. Jika jarak penggetar dengan tiang pengikat 1,5 m, tentukan kecepatan gelombang yang terbentuk!
- A. 1 m/s
 - B. 2 m/s
 - C. 3 m/s
 - D. 4 m/s
 - E. 5 m/s
13. Pada permukaan air laut terdapat dua buah gabus yang terpisah satu sama lain sejauh 60 cm. Keduanya naik turun bersama permukaan air laut sebanyak 20 kali selama 10 sekon. Jika salah satu gabus di puncak gelombang dan gabus yang lain di lembang gelombang, sedangkan di antara kedua gabus terdapat satu bukit gelombang, maka kecepatan gelombangnya adalah...
- A. 80 cm/s.
 - B. 70 cm/s.
 - C. 60 cm/s.
 - D. 50 cm/s.
 - E. 40 cm/s.
14. Gelombang air laut menyebabkan permukaan air naik turun dengan periode 2 sekon. Jika jarak antara dua puncak gelombang 5 m, maka gelombang akan mencapai jarak 10 m dalam waktu?
- A. 2 sekon
 - B. 3 sekon
 - C. 5 sekon
 - D. 7 sekon
 - E. 10 sekon

15. Sebuah ayunan matematis dalam waktu 10 sekon melakukan 8 getaran.

Periode getaran ayunan sebesar.....sekon.

- A. 1,80
- B. 1,25
- C. 1,20
- D. 0,80
- E. 0,08

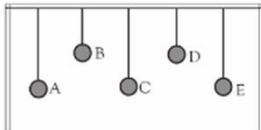
16. Sebuah tali sepanjang 4 meter digetarkan sehingga membentuk gelombang transversal seperti gambar berikut:



Cepat rambat gelombang pada tali sebesar.....m/s.

- A. 5,0
- B. 4,5
- C. 2,5
- D. 2,0
- E. 8,0

17. Perhatikan gambar dibawah ini . Jika bandul C diayun, maka bandul yang diayun adalah ...?



- | | |
|------------|------------|
| A. A dan E | D. D dan E |
| B. B dan D | E. A dan D |
| C. A dan B | |

18. Sebuah gelombang panjangnya 0,75 meter dan cepat rambatnya 150 m/s. Maka frekuensinya sebesar.....
- A. 200 Hz
 - B. 400 Hz
 - C. 250 Hz
 - D. 600 Hz
 - E. 300 Hz
19. Suatu sumber getar memiliki frekuensi 300 Hz. Gelombangnya merambat dalam zat cair dengan kecepatan 1500 m/s. Maka panjang gelombangnya sebesar.....
- A. 25 m
 - B. 20 m
 - C. 15 m
 - D. 5 m
 - E. 4 m
20. Jika frekuensi suatu getaran 440 Hz dan panjang gelombangnya 75 cm. Maka kecepatan gelombang tersebut adalah.....
- A. 250 m/s
 - B. 325 m/s
 - C. 330 m/s
 - D. 230 m/s
 - E. 200 m/s
21. Sebuah sumber bergetar menghasilkan frekuensi 40kHz. Panjang gelombang bunyi tersebut jika cepat rambatnya 1500 m/s adalah.....
- A. 0,02 m
 - B. 0,04 m
 - C. 0,20 m
 - D. 0,40 m
 - E. 0,42 m

22. Dua buah bandul diayunkan menghasilkan data sebagai berikut :

Bandul	Jumlah getaran	Waktu (s)
A	20	8
B	24	9

Berdasarkan tabel di atas, pernyataan yang tepat adalah.....

- A. Frekuensi bandul B adalah 24 Hz
 - B. Periode bandul A adalah 8 sekon
 - C. Periode bandul B > periode bandul A
 - D. Frekuensi bandul B > Frekuensi bandul A
 - E. Frekuensi bandul A adalah 12 Hz
23. Seekor kelelawar memprediksi keberadaan titik mangsanya dengan ekolokasi pancaran gelombang ultrasonik. Kelelawar tersebut menerima pantulan gelombang dari mangsanya dalam waktu 0,12 sekon. Jika cepat rambat bunyi pada saat itu 320 m/s, maka jarak mangsa dengan kelelawar tersebut sejauh.....
- A. 19,2 m
 - B. 20,9 m
 - C. 29,2 m
 - D. 9,19 m
 - E. 20,0 m
24. Dalam dua menit terjadi 960 getaran pada suatu partikel. Tentukan: a) periode getaran b) frekuensi getaran
- A. 0,234 sekon dan 8 Hz
 - B. 0,115 sekon dan 8 Hz
 - C. 0,215 sekon dan 8 Hz
 - D. 0,125 sekon dan 8 Hz
 - E. 0,255 sekon dan 8 Hz

25. Periode suatu getaran adalah $\frac{1}{2}$ detik. Tentukan: a) frekuensi getaran b) jumlah getaran dalam 5 menit
- A. 7 Hz dan 19.600
 - B. 2 Hz dan 12.600
 - C. 6 Hz dan 21.600
 - D. 8 Hz dan 11.600
 - E. 2 Hz dan 12.600

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 ($x = A/2$)

BAB XI

KALOR



Gambar 10. 1 Mengukur Suhu Air dengan Termometer

A. Pengantar

Dalam bab ini kita akan melihat bahwa kita terlahir dengan termometer yang sudah ada dalam tubuh kita. Indera peraba kita dapat memberikan kita informasi apakah sebuah benda itu panas atau dingin dan bagaimana panas dapat mempengaruhi kerja kita dalam kehidupan sehari-hari

Perhatikan gambar 10.1. 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?

Ketika satu ketel air dingin diletakkan di atas kompor, temperatur air akan naik. Kita katakan bahwa kalor mengalir dari kompor ke air yang dingin. Ketika dua benda yang temperturnya 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 disentuh 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 temperturnya sama. Capaian pembelajaran yaitu mampu menganalisis kalor sebagai energy.

B. 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 temperturnya 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’:

$$4,186 \text{ J} = 1 \text{ kal}$$

$$4,186 \times 10^3 \text{ J} = 1 \text{ kkal}$$

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.

C. Kuantitas Kalor



Gambar 10.2
Prinsip kerja kulkas
menggunakan
prinsip kerja kalor
(Sumber: amongguru.com)

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 kalorjenis.

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 tongkosong 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; $\Delta T = 90^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C}$

= 80⁰C

$$\text{Jawab. a. } Q = mc \Delta T = (20 \text{ kg})(450 \text{ J/ kg } ^\circ\text{C})(80^\circ\text{C}) = 7,2 \times 10^5 \text{ J}$$

Jb c air = 4186 J/ kg $^\circ\text{C}$

$$Q = mc \Delta T = (20 \text{ kg})(4186 \text{ J/ kg } ^\circ\text{C})(80^\circ\text{C}) = 6,7 \times 10^6 \text{ J}$$

D. 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 LF. Dan kalor yang dibutuhkan untuk merubah suatu zat dari fase cair ke uap disebut kalor penguapan; dinyatakan dengan LV. Nilai- nilai untuk kalor lebur dan penguapan disebut juga kalor laten.

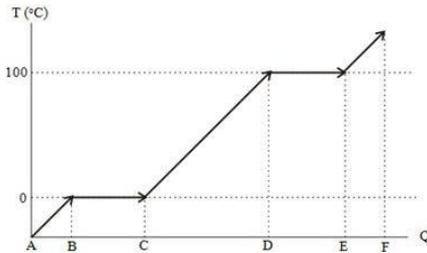
Tabel 10.2 Kalor Laten (1 atm)

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	-114	25	$1,04 \times 10^5$	78	204	$8,5 \times 10^5$
Alkohol	-77,8	8,0	$0,33 \times 10^5$	-33,4	33	$1,37 \times 10^5$
Ammonia	0	79,7	$3,33 \times 10^5$	100	539	$22,6 \times 10^5$
Air	327	5,9	$0,25 \times 10^5$	1750	208	$8,7 \times 10^5$
Timah	961	21	$0,88 \times 10^5$	2193	558	23×10^5
Hitam	1808	69,1	$2,89 \times 10^5$	3023	1520	$63,4 \times 10^5$
Perak	3410	44	$1,84 \times 10^5$	5900	1150	48×10^5
Besi						
Tungsten						

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. 3 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 kalorkemaka 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.
$$\begin{aligned} Q &= mc_{\text{air}}(20^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}) + mL_F + mc_{\text{es}}(0^{\circ}\text{C} - (-12^{\circ}\text{C})) \\ &= (1,5 \text{ kg})(4186 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C})(20^{\circ}\text{C}) + (1,5 \\ &\text{ kg})(3,33 \times 10^5 \text{ J/kg}) + (1,5 \text{ kg})(2100 \text{ J/kg } ^{\circ}\text{C})(12^{\circ}\text{C}) \\ &= 6,6 \times 10^5 \text{ J} = 660 \text{ kJ} \end{aligned}$$

E. 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 Manusia	$0,5 \times 10^{-4}$	0,2
Kayu	$0,2-0,4 \times 10^{-4}$	0,08-0,16
Isolator	$0,12 \times 10^{-4}$	0,048
Gabus dan Serat Kaca	$0,1 \times 10^{-4}$	0,042
Wol	$0,1 \times 10^{-4}$	0,040
Bulu Angsa	$0,06 \times 10^{-4}$	0,025
Busa Polyurethane	$0,06 \times 10^{-4}$	0,024
Udara	$0,055 \times 10^{-4}$	0,023

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. $Q = kA \frac{T_1 - T_2}{l} = \frac{(0,84 \text{ J/s.m.}^{\circ}\text{C})(3,0 \text{ m}^2)(15^{\circ}\text{C} - 14^{\circ}\text{C})}{3,2 \times 10^{-3}} = 790 \text{ J/s}$

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 sumbergerakan 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 kedalam 3 macam:

a. Benda putih sempurna (absolutely white)

→ menyerap sinar, tanpa mengemisikan kembali.

$$\text{Emisivitas } (\varepsilon) = 0$$

b. Benda abu-abu (gray body)

$$0 < \varepsilon < 1$$

c. Benda hitam (blackbody)

→ menyerap 100%, mengemisikan 100%.

$$\text{Emisivitas } (\varepsilon) = 1$$

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 pakian 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 $1,5 \text{ m}^2$.

$$\text{Dik. } T_1 = 34^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K} = 307 \text{ K}$$

$$T_2 = 15^{\circ}\text{C} + 273 \text{ K} = 288 \text{ K}$$

$$e = 0,70$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$A = 1.5 \text{ m}^2$$

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 ekivalen 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.

$$Q = e\sigma AT^4$$

8. Besarnya kalor pada proses radiasi:

$$Q = e\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$$

Latihan

1. Berapakah kapasitas kalor dari 5 kg suatu zat yang mempunyai kalor jenis 2 kal/gr⁰C?
2. Sebuah kalori meter dengan kapasitas 80 J/⁰C mula-mula diisi dengan 200 gram air dengan suhu 100⁰C. Kemudian ke dalam kalorimeter dimasukkan lagi sebuah logam yang bermassa 100 gram dengan suhu 40⁰C. Setelah tercapai kesetimbangan termal diperoleh suhu akhir campuran 60⁰C. Berapakah kalor jenis logam tersebut? (kalor jenis air = 1 kal/gr⁰C).
3. Sebuah bejana memiliki volume 5 liter pada suhu 25⁰C dengan koefisien muai panjang $2 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$. Tentukan volume bejana pada suhu 75⁰C!
4. Suatu benda hitam pada suhu 27⁰C memancarkan energi R J/s. Benda hitam tersebut dipanasi hingga suhunya menjadi 327⁰C. Berapakah energi yang dipancarkan sekarang?

5. Sebanyak 20 gram madu bersuhu 20°C dimasukkan kedalam teko yang berisi susu 30 gram bersuhu 80°C . Jika kalor jenis madu dan susu dianggap sama dengan $1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$, tentukan suhu campuran teh dan susu dalam teko!

Evaluasi

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Air sebanyak 3 kg bersuhu 10°C dipanaskan hingga bersuhu 35°C . Jika kalor jenis air $4.186 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$, berapa kalor yang diserap air tersebut?
 - A. 313.950 J
 - B. 303.803 J
 - C. 305.726 J
 - D. 310.950 J
 - E. 315.880 J
2. Air sebanyak 100 gram yang memiliki temperatur 25°C dipanaskan dengan energi sebesar 1.000 kalori. Jika kalor jenis air $1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$, Berapa temperatur air setelah pemanasan tersebut?
 - A. 10°C
 - B. 15°C
 - C. 20°C
 - D. 30°C
 - E. 35°C
3. Berapa besar kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebatang besi yang massanya 10 kg dari 20°C menjadi 100°C , jika kalor jenis besi $450 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$?
 - A. 400 KJ
 - B. 380 KJ
 - C. 360 KJ
 - D. 345 KJ
 - E. 300 KJ

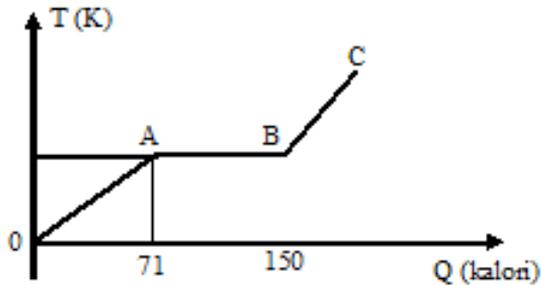
4. Sebanyak 300 gram air dipanaskan dari suhu 30°C menjadi 50°C . Jika kalor jenis air adalah $1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$ atau 4.200 J/kg K , tentukan Banyaknya kalor yang diterima air tersebut.
- 5500 Kalori
 - 6000 Kalori
 - 6300 Kalori
 - 6500 Kalori
 - 7000 Kalori
5. Air sebanyak 500 g bersuhu 20°C jika diberi kalor 100 kkal, berapakah suhu air sekarang?
- 100°C
 - 150°C
 - 180°C
 - 200°C
 - 220°C
6. Kalor yang dibutuhkan oleh 3 kg zat untuk menaikkan suhunya dari 10°C sampai 80°C adalah 9,45 kJ. Berapakah kalor jenis zat tersebut?
- $450 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
 - $400 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
 - $380 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
 - $500 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
 - $470 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
7. Batang logam bermassa 2 kg memiliki suhu 25°C . Untuk menaikkan suhunya menjadi 75°C dibutuhkan kalor sebesar $5 \times 10^4 \text{ kal}$. Jika suhunya dinaikkan menjadi 125°C maka berapakah kalor yang dibutuhkan?
- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. 10^5 kal | D. 10^4 kal |
| B. 10^6 kal | E. 10^3 kal |
| C. 10^7 kal | |

8. Berapakah kalori kalor yang diperlukan untuk memanaskan 2 liter air dari 30°C menjadi 80°C jika massa jenis air = 1 gram/cm^3 dan kalor jenis air = $1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$?
- 150000 Kalori
 - 240000 Kalori
 - 120000 Kalori
 - 100000 Kalori
 - 110000 Kalori
9. Berapakah kapasitas kalor dari 7 kg suatu zat yang mempunyai kalor jenis $2 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}$?
- 15.000 $\text{kal}^{\circ}\text{C}$
 - 14.000 $\text{kal}^{\circ}\text{C}$
 - 10.000 $\text{kal}^{\circ}\text{C}$
 - 12.000 $\text{kal}^{\circ}\text{C}$
 - 7.000 $\text{kal}^{\circ}\text{C}$
10. Sebuah aluminium bermassa 3 kg yang memiliki suhu 25°C dan kalor jenis sebesar $900 \text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$ dipanaskan hingga suhu 90°C , maka jumlah kalor yang harus diberikan pada aluminium tersebut adalah...
- $1,756 \times 10^5 \text{ J}$
 - $1,655 \times 10^5 \text{ J}$
 - $1,755 \times 10^5 \text{ J}$
 - $1,565 \times 10^5 \text{ J}$
 - $1,766 \times 10^5 \text{ J}$
11. Sebuah pelat besi seluas 400 cm^2 , dipanaskan dari suhu 25°C sampai suhu 50°C , maka tentukanlah pertambahan luas pelat besi tersebut!
- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| A. 1 m^2 | D. $0,34 \text{ m}^2$ |
| B. $0,89 \text{ m}^2$ | E. $0,24 \text{ m}^2$ |
| C. $0,5 \text{ m}^2$ | |

12. Sebuah balok es memiliki massa sebesar 2 kg dengan suhu $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, balok es tersebut dipanaskan dengan tekanan 1 atm hingga menjadi air. berapa kalor yang diperlukan ?
- 860 KJ
 - 790,5 KJ
 - 770,5 KJ
 - 650,8 KJ
 - 600,4 KJ
13. Sebuah gelang perak dengan berat 20 gr, memiliki suhu sebesar $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, dipanaskan dengan kalor sebesar 10 kal hingga suhunya menjadi $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, berapa kalor jenis gelang perak tersebut!
- $0,07\text{ Kal/gr}^{\circ}\text{C}$
 - $0,09\text{ Kal/gr}^{\circ}\text{C}$
 - $0,05\text{ Kal/gr}^{\circ}\text{C}$
 - $0,11\text{ Kal/gr}^{\circ}\text{C}$
 - $0,23\text{ Kal/gr}^{\circ}\text{C}$
14. Sebuah aluminium dengan panjang 500 cm, dipanaskan dari suhu $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, menjadi $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, berapa panjang aluminium setelah dipanaskan?
- 500,27 cm.
 - 500,33 cm.
 - 500,23 cm.
 - 500,59 cm.
 - 500,11 cm.
15. Untuk menaikkan suhu 0,5 kg suatu zat cair yang kalor jenis-nya $400\text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$ dari 28°C menjadi 38°C diperlukan kalor sebesar...
- 0,2 kJ
 - 0,4 kJ
 - 2,0 kJ
 - 4,0 kJ
 - 4,5 KJ

16. Zat cair yang massanya 10 kg dipanaskan dari suhu 25°C menjadi 75°C memerlukan panas sebesar $4 \cdot 10^5$ Joule. Kalor jenis zat cair tersebut adalah.....
- A. $200 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
 - B. $400 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
 - C. $600 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
 - D. $800 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
 - E. $1000 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$
17. Kapasitas panas air yang bermassa 2 kg jika kalor jenis air $400 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$ adalah...
- A. $0,02 \text{ J}^{\circ}\text{C}$
 - B. $200 \text{ J}^{\circ}\text{C}$
 - C. $400 \text{ J}^{\circ}\text{C}$
 - D. $800 \text{ J}^{\circ}\text{C}$
 - E. $1000 \text{ J}^{\circ}\text{C}$
18. Sebongkah es bermassa 0,4 kg pada suhu 0°C . Banyak kalor yang dibutuhkan untuk melebur es menjadi air jika kalor lebur es 80 kal/gr adalah...
- A. 20 kalori
 - B. 32 kalori
 - C. 2000 kalori
 - D. 3200 kalori
 - E. 32.000 kalori
19. Untuk meleburkan 3 kg zat padat menjadi cair seluruhnya diperlukan kalor $6.804 \cdot 10^2$ Joule. Kalor lebur zat tersebut adalah..
- A. 1.134 J/kg
 - B. 2.268 J/kg
 - C. 3.402 J/kg
 - D. 113.400 J/kg
 - E. 226.800 J/kg

20. Grafik dibawah ini menunjukkan hubungan antara suhu (T) dengan kalor (Q) yang diberikan pada 1 gram zat padat. Kalor lebur zat tersebut adalah...



- A. 71 kalori/gram
B. 79 kalori/gram
C. 80 kalori/gram
D. 81 kalori/gram
E. 150 kalori/gram
21. Kalor yang dibutuhkan untuk mengubah suhu 900 gram es dari suhu -10°C hingga seluruhnya menjadi air bersuhu 20°C adalah...(kalor jenis air = $1 \text{ kal/gr.}^{\circ}\text{C}$, kalor jenis es = $0,5 \text{ kal/gr.}^{\circ}\text{C}$, kalor lebur es = 80 kal/gr)
- A. 1.800 kal
B. 4.500 kal
C. 7.200 kal
D. 13.500 kal
E. 20.000 kal
22. Sebuah balok es memiliki panjang 20 cm, lebar 10 cm dan tinggi 2 cm, dari suhu -25°C berubah menjadi air bersuhu 25°C . Jika massa jenis es adalah $0,92 \text{ gr/cm}^3$, kalor jenis es $2,1 \text{ J/gr.}^{\circ}\text{C}$, kalor jenis air $4,2 \text{ J/gr.}^{\circ}\text{C}$ dan kalor lebur es 334 J/gr , maka jumlah kalor yang diperlukan es tersebut adalah...
- A. 460 Joule
B. 24.150 Joule

- C. 48.300 Joule
 D. 153.640 Joule
 E. 226.090 Joule
23. Lima kilogram es bersuhu $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ dipanaskan sampai seluruh es mencair dengan suhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jika kalor laten es 333 kJ/kg dan kalor jenis es $2100\text{ J/kg }^{\circ}\text{C}$ maka jumlah kalor yang dibutuhkan adalah...
- A. 1496 kJ
 B. 1596 kJ
 C. 1696 kJ
 D. 1796 kJ
 E. 1896 kJ
24. Hasil campuran 1 gram es bersuhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan 1 cc air bersuhu $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ dalam wadah dinding adiabatik adalah...
- A. Air dan es yang jumlahnya tidak dapat ditentukan
 B. Air sedikit lebih banyak daripada es
 C. 0,5 gram es dan 1,5 cc air
 D. 1 gram es dan 1 cc air
 E. 1,5 gram es dan 0,5 cc air
25. 500 gram es bersuhu $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ dipanaskan hingga suhu $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jika kalor jenis es adalah $0,5\text{ kal/g }^{\circ}\text{C}$, tentukan banyak kalor yang dibutuhkan, nyatakan dalam satuan joule!
- A. 10500 joule
 B. 11000 joule
 C. 12500 joule
 D. 15000 joule
 E. 12500 joule

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 kalorimeter 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 $\text{kkal/kg}^{\circ}\text{C}$?

TENTANG PENULIS



Dr. Nurlina, S.Si., M.Pd dilahirkan di Koppe (Bone) tanggal 23 Juli 1982 dari pasangan H. Usman dan Hj. Tondeng. Menikah dengan Nasrul, S.Pd dan dikarunia 2 orang anak yaitu Muh. Rangga Saputra dan Kayla Azzahra. Pendidikan formal dimulai dari Sekolah Dasar (SD) Negeri No. 143 Lilirawang Kec. Lappariaja Kab.Bone pada tahun 1987 dan lulus tahun 1994, pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Lappariaja kec. Lappariaja Kab. Bone dan lulus pada tahun 1996, tahun 1997 penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Umum (SMU) Negeri 1 Lappariaja Kab. Bone dan lulus pada tahun 2000. Gelar Sarjana Fisika (S1) tahun 2004 dan Magister Pendidikan Fisika (S2) tahun 2009 diperoleh dari Universitas Negeri Makassar (UNM). Gelar Doktor tahun 2018 diperoleh dari Universitas Negeri Makassar.

Tahun 2007 sampai sekarang mempunyai profesi sebagai dosen tetap yayasan di Universitas Muhammadiyah Makassar pada Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Program Studi Pendidikan Fisika. Selain itu, diberikan amanah menjalankan tugas tambahan sebagai: (1) Sekretaris Prodi Pendidikan Fisika FKIP Unismuh Makassar (2007-2013), (2) Ketua Prodi Pendidikan Fisika FKIP Unismuh Makassar (2013 sampai sekarang). Di samping tugas sebagai dosen, tugas lainnya yang

pernah dijalani adalah menjadi MTT dan MAT DBE USAID (2008-2012) serta sebagai assessor PLPG di Universitas Muhammadiyah Makassar (2014-2017).

Karya akademik yang telah dihasilkan adalah (1) peneliti dibidang Pendidikan Fisika dengan pendanaan Hibah Internal Unismuh Makassar, (2) membawakan makalah di Seminar Internasional ISQAE 2016 dan Seminar International Unismuh Makassar 2014, (3) membawakan makalah di Seminar Nasional SFN Universitas Udayana dan Univeritas Muhammadiyah Yogyakarta, (4) menulis Buku Fisika Dasar, Fisika Kuantum, Alat Ukur dan Pengukuran, Pedoman Asesmen Praktikum Fisika Dasar, Teknik Pembuatan Alat Ukur Kesuburan Tanah Berbasis Energi Listrik dan Fisika Kuantum untuk Pemula: Panduan Mudah untuk Memahami Teori Fisika Kuantum yang diterbitkan Lembaga Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar, (5) memperoleh HAKI untuk buku Fisika Dasar I dan Fisika Kuantum tahun 2018, HAKI untuk buku Pedoman Asesmen Praktikum Fisika Dasar dan buku Teknik Pembuatan Alat Ukur Kesuburan Tanah Berbasis Energi Listrik pada tahun 2020.



Buku ini secara keseluruhan terdiri dari sepuluh bab, yaitu; Besaran dan Satuan, Kinematika dan Dinamika, Usaha dan Energi, Elastisitas dan Gaya Pegas, Momentum dan Tumbukan, Rotasi Benda Tegar; Optik Geometri, Arus dan Rangkaian Listrik, Getaran dan Gelombang, Kalor. Buku ini dilengkapi dengan contoh-contoh soal dan penyelesaiannya serta soal-soal latihan yang telah dimasukkan dalam Kahoot untuk pemantapan pemahaman pembaca mengenai materi yang ada. Teori yang diberikan dalam buku ini merupakan prinsip-prinsip dasar saja, namun secara keseluruhan kandungan isinya telah diupayakan sesuai dengan tuntutan Merdeka Belajar. Selamat belajar!



Unismuh Press

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Gunung Sari
Kecamatan Rappocini Kota Makassar
Sulawesi Selatan 90221



ANGGOTA IKAPI

ISBN 978-623-8104-10-9

