

FISIKA TEKNIK

deepublish / publisher

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

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 Rp100.000.000 (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 Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

FISIKA TEKNIK

Muhammad Arsyad
Abdul Kadir Muhammad



Cerdas, Bahagia, Mulia, Lintas Generasi.

FISIKA TEKNIK

Muhammad Arsyad & Abdul Kadir Muhammad

Desain Cover :
Ali Hasan Zein

Sumber :
www.shutterstock.com

Tata Letak :
Titis Yuliyanti

Proofreader :
Mira Muarifah

Ukuran :
x, 225 hlm, Uk: 15.5x23 cm

ISBN :
No ISBN

Cetakan Pertama :
Bulan 2022

Hak Cipta 2022, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2022 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau
memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: www.deepublish.co.id

www.penerbitdeepublish.com

E-mail: cs@deepublish.co.id

PRAKATA

Buku ajar *Fisika Teknik* ini disusun untuk melengkapi salah satu sarana dan prasarana dalam kegiatan proses belajar mengajar pada keilmuan teknik mesin. Sarana dan prasarana berupa buku ajar akan sangat membantu baik dosen maupun mahasiswa sehingga bisa menghasilkan alumni yang berkualitas. Buku ajar ini menjadi referensi materi yang akan disampaikan dosen kepada mahasiswa. Buku ajar ini terdiri atas Besaran dan Sistem Satuan, Skalar dan Vektor, Gerak Lurus, Hukum tentang Gerak, Usaha dan Energi, Momentum dan Impuls, Gerak Rotasi, Elastisitas Bahan, Fluida, Kalor, dan Dasar-Dasar Kelistrikan. Untuk memudahkan mahasiswa memahami materi kuliah, terutama saat belajar mandiri maka buku ajar ini dilengkapi dengan contoh-contoh soal, dan soal-soal latihan.

Dalam buku ajar ini mahasiswa diarahkan untuk mempelajari dan memahami tentang hukum-hukum fisika kemudian menerapkan dalam kehidupan sehari-hari termasuk saat bekerja industri. Berdasarkan informasi dan pembahasan pada buku ajar ini, diharapkan mahasiswa lebih termotivasi untuk belajar dan memahami materi kuliah. Terima kasih yang tak terhingga kami sampaikan kepada semua pihak yang membantu atas penyusunan buku ajar ini.

Makassar, 19 Agustus 2022

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
BAB 1. BESARAN DAN SISTEM SATUAN.....	1
1.1. Besaran dan Pengukuran	2
1.2. Sistem Satuan	5
1.3. Alat Ukur.....	9
1.4. Contoh Soal	14
1.5. Rangkuman	16
1.6. Soal-Soal Latihan	16
1.7. Pustaka	17
BAB 2. SKALAR DAN VEKTOR	18
2.1. Skalar	18
2.2. Vektor.....	19
2.3. Contoh Soal.....	28
2.4. Rangkuman	32
2.5. Soal-Soal Latihan	32
2.6. Referensi	33
BAB 3. GERAK LURUS.....	34
3.1. Jarak dan Perpindahan.....	34
3.2. Kelajuan, Kecepatan, dan Percepatan	37
3.3. Gerak Lurus Beraturan	39
3.4. Gerak Lurus Berubah Beraturan	41
3.5. Gerak Jatuh Bebas	44
3.6. Gerak Vertikal ke Bawah	47
3.7. Gerak Vertikal ke Atas	48
3.8. Contoh Soal	48
3.9. Rangkuman	50

3.10. Soal-Soal Latihan.....	51
3.11. Referensi	52
BAB 4. HUKUM-HUKUM TENTANG GERAK	53
4.1. Massa	53
4.2. Gaya.....	54
4.3. Hukum I Newton	59
4.4. Hukum II Newton	60
4.5. Hukum III Newton.....	61
4.6. Contoh Soal	63
4.7. Rangkuman	66
4.8. Soal-Soal Latihan.....	67
4.9. Referensi	69
BAB 5. ENERGI DAN USAHA	70
5.1. Energi.....	70
5.2. Usaha	76
5.3. Hukum Kekekalan Energi.....	79
5.4. Daya.....	79
5.5. Contoh Soal	81
5.6. Rangkuman	83
5.7. Soal Latihan	84
5.8. Referensi	85
BAB 6. MOMENTUM DAN IMPULS	86
6.1. Momentum dan Impuls.....	86
6.2. Hukum Kekekalan Momentum.....	88
6.3. Tumbukan.....	90
6.4. Pendulum	92
6.5. Pusat Massa	94
6.6. Contoh Soal	96
6.7. Rangkuman	99
6.8. Soal-Soal Latihan.....	99
6.9. Referensi	101

BAB 7. GERAK ROTASI.....	102
7.1. Gerak Rotasi.....	102
7.2. Momen Gaya.....	106
7.3. Momen Inersia	108
7.4. Energi Kinetik Rotasi.....	110
7.5. Momentum Sudut.....	110
7.6. Contoh Soal.....	111
7.7. Rangkuman	114
7.8. Soal Latihan	114
7.9. Referensi	115
BAB 8. ELASTISITAS BAHAN	117
8.1. Tegangan.....	117
8.2. Modulus Elastisitas	120
8.3. Hukum Hooke	123
8.4. Energi Potensial Pegas	124
8.5. Gerak Harmonis Sederhana Pegas	125
8.6. Contoh Soal.....	129
8.7. Rangkuman	132
8.8. Soal-Soal Latihan.....	132
8.9. Daftar Pustaka	133
BAB 9. KALOR	135
9.1. Kalor.....	135
9.2. Perpindahan Kalor.....	145
9.3. Contoh Soal.....	155
9.4. Rangkuman	157
9.5. Soal-Soal Latihan.....	158
9.6. Referensi	159
BAB 10. FLUIDA.....	160
10.1. Massa Jenis	161
10.2. Tekanan.....	163
10.3. Karakteristik Aliran Fluida Bergerak.....	181
10.4. Contoh Soal.....	184
10.5. Rangkuman	185

10.6. Soal-Soal Latihan.....	186
10.7. Referensi	187
BAB 11. DASAR-DASAR KELISTRIKAN.....	189
11.1. Arus Listrik.....	189
11.2. Medan Listrik.....	193
11.3. Rangkaian Listrik.....	195
11.4. Beda Potensial Listrik.....	201
11.5. Gaya Gerak Listrik.....	211
11.6. Contoh Soal	216
11.7. Rangkuman	217
11.8. Soal Latihan	218
11.9. Referensi	221
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	223

deepublish / publisher

BAB 1.

BESARAN DAN SISTEM SATUAN

Fisika adalah ilmu yang mempelajari benda-benda serta fenomena dan keadaan yang terkait dengan benda-benda tersebut atau Fisika adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari dan menyelidiki komponen-komponen materi dan interaksi antar komponen tersebut. Misalnya: bagaimana energi mempengaruhi materi, bagaimana mengubah bentuk energi yang satu ke bentuk yang lain. Materi adalah segala sesuatu yang menempati dan mengisi ruang. Energi adalah berbagai bentuk ukuran kemampuan dari suatu sistem untuk melakukan kerja. Ilmu fisika secara umum dibagi menjadi: mekanika, panas, bunyi, optika listrik dan magnet, dan fisika modern.

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

1.1. Besaran dan Pengukuran

Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur, mempunyai nilai yang dapat dinyatakan dengan angka dan memiliki satuan tertentu. Satuan adalah pernyataan yang menjelaskan arti dari suatu besaran. Pada bab ini akan dijelaskan besaran pokok dan besaran turunan, sedangkan besaran skalar dan besaran vektor akan dijelaskan pada bab selanjutnya. Besaran pokok merupakan besaran yang dipandang berdiri sendiri dan tidak diturunkan dari besaran lain. Sampai saat ini ditetapkan 7 besaran pokok sebagaimana pada Tabel 1.1.

Nilai besaran pokok tersebut ditetapkan:

1. Satu meter adalah 1.650.763,73 kali panjang gelombang cahaya merah jingga yang dipancarkan isotop krypton 86.
2. Satu kilogram adalah massa sebuah silinder platina iridium yang aslinya disimpan di Biro Internasional tentang berat dan ukuran di Serves, Perancis.
3. Satu sekon adalah 9.192.631.770 kali periode getaran pancaran yang dikeluarkan atom Cesium 133.
4. Satu Ampere adalah Jumlah muatan listrik satu coulomb ($1 \text{ coulomb} = 6,25 \cdot 10^{18}$ elektron) yang melewati suatu penampang dalam 1 detik.
5. Suhu titik lebur es pada 76 cm Hg adalah: $T = 273,15^0 \text{ K}$, Suhu titik didih air pada 76 cm Hg adalah: $T = 373,15^0 \text{ K}$.
6. Satuan Kandela adalah benda hitam seluas 1 m^2 yang bersuhu Hk lebur platina (1773^0C) akan memancarkan cahaya dalam arah tegak lurus dengan kuat cahaya sebesar 6×10^5 kandela.
7. Satu mol zat terdiri atas $6,025 \times 10^{23}$ buah partikel. ($6,025 \times 10^{23}$ disebut dengan bilangan Avogadro).

Tabel 1.1 Besaran Pokok

No.	Besaran Pokok	Satuan	Lambang
1	Panjang	kilometer, meter, sentimeter	M
2	Massa	kilometer, gram, ton	Kg
3	Waktu	tahun, hari, jam, menit, sekon	S
4	Suhu	fahrenheit, kelvin, celcius	A
5	Kuat Arus Listrik	Ampere	K
6	Kuat Cahaya	Kandela	Cd
7	Jumlah Zat	Mol	mol

Besaran turunan ialah besaran yang diturunkan dan diperoleh dari besaran-besaran pokok. Misalkan luas didefinisikan sebagai hasil kali dua besaran panjang (yaitu panjang kali lebar). Jika satuan panjang dan lebar masing-masing adalah meter, maka besaran luas adalah besaran turunan yang mempunyai satuan meter x meter atau m². Contoh yang lain adalah besaran kecepatan yang diperoleh dari hasil bagi jarak dengan waktu. Jarak merupakan besaran panjang yang mempunyai satuan meter, sedangkan waktu mempunyai satuan sekon. Maka besaran kecepatan merupakan besaran turunan dari besaran pokok panjang dibagi besaran pokok waktu, sehingga satuannya meter/sekon atau m/s. Pada Tabel 1.2 diberikan beberapa contoh besaran turunan beserta satuannya.

Besaran-besaran fisika secara umum dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis, besaran skalar, besaran vektor dan besaran tensor. Untuk besaran tensor, tidak akan dipelajari dalam pelajaran fisika teknik ini. Besaran skalar adalah besaran yang memiliki nilai saja, sedangkan besaran vektor adalah besaran yang selain memiliki nilai juga memiliki arah. Karena konsep tentang vektor banyak digunakan dalam fisika, maka akan dijelaskan lebih lanjut secara singkat mengenai besaran vektor ini.

Tabel 1.2 Besaran Turunan

No.	Besaran Pokok	Satuan
1	Volume	m ³ , cm ³ , liter
2	Massa jenis	kg/ m ³ , gr/cm ³
3	Percepatan	m/s ²
4	Gaya	kg.m/s ² , newton
5	Usaha, dan Energi	kg.m ² /s ² , joule
6	Daya	kg.m ² /s ³ , watt

No.	Besaran Pokok	Satuan
7	Tekanan	kg/(m.s ²), pascal
8	Muatan Listrik	A.s, coulomb

Mengukur adalah membandingkan antara dua hal, biasanya salah satunya adalah suatu standar yang menjadi alat ukur. Ketika kita mengukur jarak antara dua titik, kita membandingkan jarak dua titik tersebut dengan jarak suatu standar panjang, misalnya panjang tongkat meteran. Ketika kita mengukur berat suatu benda, kita membandingkan berat benda tadi dengan berat benda standar. Jadi dalam mengukur kita membutuhkan standar sebagai pembanding besar sesuatu yang akan diukur. Standar tadi kemudian biasanya dinyatakan memiliki nilai satu dan dijadikan sebagai acuan satuan tertentu. Walau kita dapat sekehendak kita menentukan standar ukur, tetapi tidak ada artinya bila tidak sama di seluruh dunia, karena itu perlu diadakan suatu standar internasional. Selain itu standar tersebut haruslah praktis dan mudah diproduksi ulang di mana pun di dunia ini. sistem standar internasional ini sudah ada, dan sekarang dikenal dengan Sistem Internasional (SI).

Antara besaran fisika yang satu dengan besaran fisika yang lain, mungkin terdapat hubungan. Hubungan-hubungan antara besaran fisika ini dapat dinyatakan sebagai persamaan-persamaan fisika, ketika besaran-besaran tadi dilambangkan dalam simbol-simbol fisika, untuk meringkas penampilan persamaannya. Karena besaran-besaran fisika tersebut mungkin saling terkait, maka tentu ada sejumlah besaran yang mendasari semua besaran fisika yang ada, yaitu semua besaran-besaran fisika dapat dinyatakan dalam sejumlah tertentu besaran-besaran fisika, yang disebut sebagai besaran-besaran dasar.

Tabel 1.3 Jenis-Jenis Alat Ukur dan Fungsinya

No	Nama Alat Ukur	Fungsi
1	Mistar	mengukur suatu panjang benda
2	Jangka sorong	mengukur suatu panjang benda
3	Mikrometer	mengukur suatu panjang benda
4	Neraca	mengukur massa suatu benda
5	Stopwatch	mengukur waktu
6	Dinamometer	mengukur besarnya gaya

No	Nama Alat Ukur	Fungsi
7	Termometer	mengukur suhu
8	Higrometer	mengukur kelembaban udara
9	Amperemeter	mengukur kuat arus listrik
10	Ohm meter	mengukur tahanan (hambatan) listrik
11	Volt meter	mengukur tegangan listrik
12	Barometer	mengukur tekanan udara luar
13	Hidrometer	mengukur berat jenis larutan
14	Manometer	mengukur tekanan udara tertutup
15	Kalorimeter	mengukur besarnya kalor jenis zat

Saat kita melakukan pengukuran maka hasil pengukuran tersebut harus dilaporkan atau disampaikan. Kebenaran hasil pengukuran tidak bersifat mutlak melainkan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu: (a) alat ukur, (b) pengukur atau manusia yang melakukan pengukuran, dan (c) kondisi lingkungan. Oleh karena itu, hasil pengukuran yang diperoleh merupakan nilai pendekatan. Nilai hasil pengukuran dapat diperoleh dengan menerapkan persamaan berikut.

$$X = X_o \pm \Delta X$$

Di mana:

X = Nilai Pengukuran

X_o = Hasil Pengukuran

ΔX = Tingkat Ketelitian Alat Ukur

Di mana $\Delta X = \frac{1}{2}$ Skala Terkecil Alat Ukur

Skala Terkecil Alat Ukur adalah nilai terkecil yang bisa diukur oleh alat ukur tersebut. Biasanya pada alat ukur itu ada informasi tentang skala terkecil tersebut.

1.2. Sistem Satuan

Untuk mencapai suatu tujuan tertentu di dalam fisika, kita biasanya melakukan pengamatan yang disertai dengan pengukuran. Pengamatan suatu gejala secara umum tidak lengkap apabila tidak disertai data kuantitatif yang diperoleh dari hasil pengukuran. Lord Kelvin, seorang ahli fisika berkata, bila kita dapat mengukur yang sedang kita bicarakan dan

menyatakannya dengan angka-angka, berarti kita mengetahui apa yang sedang kita bicarakan itu.

Apa yang dilakukan pada saat melakukan pengukuran? Misalnya Anda mengukur panjang meja belajar dengan menggunakan jengkal, dan mendapatkan bahwa panjang meja adalah 6 jengkal. Jadi, mengukur adalah membandingkan sesuatu yang diukur dengan sesuatu lain yang sejenis yang ditetapkan sebagai satuan. Dalam pengukuran di atas Anda telah mengambil jengkal sebagai satuan panjang. Jadi, Satuan didefinisikan ukuran dari suatu besaran.

Sebelum adanya standar internasional, hampir tiap negara menetapkan sistem satuannya sendiri. Penggunaan bermacam-macam satuan untuk suatu besaran ini menimbulkan kesukaran. Kesukaran pertama ialah diperlukannya bermacam-macam alat ukur yang sesuai dengan satuan yang digunakan. Kesukaran kedua ialah kerumitan konversi dari satu satuan ke satuan lainnya, misalnya dari jengkal ke kaki. Ini disebabkan tidak adanya keteraturan yang mengatur konversi satuan-satuan tersebut. Akibat kesukaran yang ditimbulkan oleh penggunaan sistem satuan yang berbeda maka muncul gagasan untuk menggunakan hanya satu jenis satuan saja untuk besaran-besaran dalam ilmu pengetahuan alam dan teknologi. Suatu perjanjian internasional telah menetapkan satuan sistem internasional (*International System of Units*) disingkat satuan SI. Satuan SI ini diambil dari sistem metrik yang telah digunakan di Perancis. Selain Sistem Internasional (SI), terdapat juga Sistem Satuan Britania (*British System*) yang juga sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Satuan pengukuran dalam Sistem Internasional (SI), dibedakan atas statis dan dinamis. Sistem dinamis terdiri dari dua jenis yaitu sistem satuan dinamis besar dan dinamis kecil. Sistem dinamis besar biasa disebut “MKS” atau “sistem praktis” atau “sistem Giorgi”, sedangkan sistem dinamis kecil biasa kita sebut “CGS” atau “sistem Gauss”. Karena hanya ada tujuh besaran pokok maka hanya terdapat tujuh satuan pokok yang seperti pada Tabel 1.1.

Penetapan satuan SI dilakukan oleh CGPM, yaitu suatu badan yang bernaung di bawah organisasi Internasional Timbangan dan Ukuran (OIPM—Organisation Internationale des Poids et Measures). Tugas badan

ini yaitu mengadakan konferensi sedikitnya satu kali dalam enam tahun dan mengesahkan ketentuan baru dalam bidang metrologi dasar.

a. Meter

Definisi lama: satu meter adalah 1.650.763,73 kali panjang gelombang cahaya merah jingga yang dipancarkan isotop krypton 86.

Definisi baru (yang digunakan saat ini): satu meter adalah jarak yang ditempuh cahaya (dalam vakum) dalam selang waktu $\frac{1}{299\,792\,458}$ sekon.

b. Kilogram

Satu kilogram (Kg) adalah massa sebuah kilogram standar (silinder platina iridium) yang aslinya disimpan di lembaga Timbangan dan Ukuran Internasional (CGPM ke-1, 1899) di Serves, Perancis.

c. Sekon / Detik

Satu sekon (s) adalah selang waktu yang diperlukan oleh atom sesium-133 untuk melakukan getaran sebanyak 9 192 631 770 kali dalam transisi antara dua tingkat energi di tingkat energi dasarnya (CGPM ke-13; 1967).

d. Kelvin

Satu Kelvin (K) adalah $\frac{1}{273,16}$ kali suhu termodinamika titik tripel air (CGPM ke-13, 1967). Dengan demikian, suhu termodinamika titik tripel air adalah 273,16 K. Titik tripel air adalah suhu di mana air murni berada dalam keadaan seimbang dengan es dan uap jenuhnya.

e. Ampere

Satu Ampere (A) adalah kuat arus tetap yang jika dialirkan melalui dua buah kawat yang sejajar dan sangat panjang, dengan tebal yang dapat diabaikan dan diletakkan pada jarak pisah 1 meter dalam vakum, menghasilkan gaya 2×10^{-7} newton pada setiap meter kawat.

f. Candela

Satu Candela (Cd) adalah intensitas cahaya suatu sumber cahaya yang memancarkan radiasi monokromatik pada frekuensi 540×10^{12} hertz dengan intensitas radiasi sebesar $\frac{1}{683}$ watt per steradian dalam arah tersebut (CGPM ke-16, 1979).

g. Mol

Satu mol zat terdiri atas $6,025 \times 10^{23}$ buah partikel. ($6,025 \times 10^{23}$ disebut dengan bilangan Avogadro).

Besaran apapun yang kita ukur, seperti panjang, massa atau kecepatan, terdiri dari angka dan satuan. Sering kita diberikan besaran dalam satuan tertentu dan kita ingin menyatakannya dalam satuan lain. Misalnya kita mengetahui jarak dua kota dalam satuan kilometer dan kita ingin mengetahui berapa jaraknya dalam satuan meter. Demikian pula dengan massa benda. Misalnya kita mengukur berat badan kita dalam satuan kg dan kita ingin mengetahui berat badan kita dalam satuan ons atau pon. Untuk itu kita harus mengonversi satuan tersebut. Konversi berarti mengubah. Untuk mengonversi satuan, terlebih dahulu harus diketahui beberapa hal yang penting, antara lain awalan-awalan metrik yang digunakan dalam satuan dan faktor konversi.

Selain mengonversi satuan dalam sistem internasional, harus juga diketahui konversi satuan dalam sistem yang berbeda, antara lain dari satuan Sistem Internasional ke Sistem British atau sebaliknya. Sebagai contoh, kita mengukur panjang sebuah meja dalam satuan inci dan kita ingin menyatakannya dalam centimeter. Oleh sebab itu, perlu mengetahui faktor konversi. Faktor konversi dapat Anda lihat pada tabel di bawah ini. Awalan-awalan satuan yang sering digunakan dapat Anda lihat pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4 Awalan Satuan

Awalan	Simbol	Nilai	Awalan	Simbol	Nilai
Exa	E	10^{18}	Deci	d	10^{-1}
Peta	P	10^{15}	Centi	C	10^{-2}
Tera	T	10^{12}	Milli	m	10^{-3}
Giga	G	10^9	Mikro	μ	10^{-6}
Mega	M	10^6	Nano	n	10^{-9}
Kilo	K	10^3	Piko	p	10^{-12}
Hekto	H	10^2	Femco	f	10^{-15}
Deka	Da	10^1	Atto	a	10^{-18}

1.3. Alat Ukur

Alat ukur adalah suatu alat bantu yang digunakan dalam proses pengukuran. Beberapa contoh alat ukur yang biasa digunakan, khususnya bidang otomotif, diperlihatkan berikut ini.

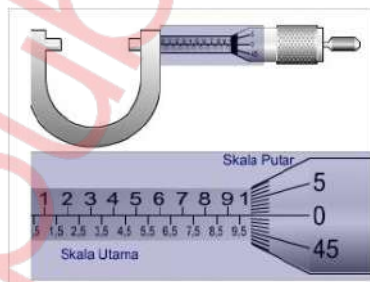
- a. Mistar: untuk mengukur suatu panjang benda, mempunyai skala terkecil 1 mm.



- b. Jangka sorong: untuk mengukur suatu panjang benda, mempunyai skala terkecil 0,01 mm.



- c. Mikrometer: untuk mengukur suatu panjang benda, mempunyai skala terkecil 0,001 mm.



d. Neraca: untuk mengukur massa suatu benda.



e. *Stopwatch*: untuk mengukur waktu



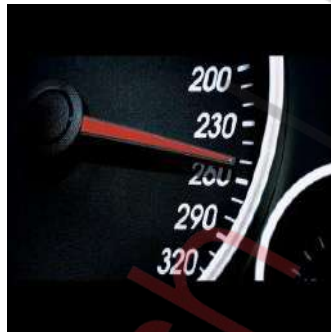
f. Termometer: untuk mengukur suhu.



- g. Multimeter: untuk mengukur kuat arus, tahanan, dan tegangan listrik



- h. Spedometer: untuk mengukur kelajuan



- i. Dinamometer: untuk mengukur besarnya gaya.



j. Higrometer: untuk mengukur kelembaban udara.



k. Barometer: untuk mengukur tekanan udara luar.



l. Hidrometer: untuk mengukur berat jenis larutan.



m. Manometer: untuk mengukur tekanan udara tertutup.



n. *Plastigauge*: untuk mengukur celah poros engkol



o. Alat ukur diameter silinder



- p. Pisau Perata: untuk mengecek kerataan permukaan silinder



- q. *Filler gauge*: alat ukur celah



1.4. Contoh Soal

1. Konversikan nilai-nilai berikut:

a. $1 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots \text{ mm}^3$?

$1 \text{ m} = 1000 \text{ mm}$

Berarti

$1 \text{ m}^3 = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$

$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$

$1 \text{ m}^3 = 1.000.000.000 \text{ mm}^3$

$1 \text{ m}^3 = 1 \times 10^9 \text{ mm}^3$

b. 1 km/jam = m/s?

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ jam} = 3600 \text{ s}$$

Berarti

$$1 \text{ km/jam} = 1000 \text{ m}/3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ km/jam} = 0,27 \text{ m/s}$$

$$1 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 1 \text{ km} \frac{\text{m}}{\text{km}} \frac{1000}{1} \times \frac{1 \text{ jam}}{\text{jam}} \frac{1}{\text{s}} \frac{1}{3600}$$

$$1 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 1 \text{ m} \frac{1000}{1} \times \frac{1}{\text{s}} \frac{1}{3600}$$

$$1 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = \frac{1000}{3600} \times \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{km}}{\text{jam}} = 2,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c. Misalnya, seseorang melakukan pengukuran diameter poros dengan menggunakan mikrometer. Bila skala terkecil mikrometer 0,001 mm dan hasil pengukuran yang diperoleh ialah 12,035 mm maka **Nilai**

Pengukuran sebenarnya ialah:

$$X_0 = 12,035 \text{ mm}$$

$$\Delta X = \frac{1}{2} (0,001) = 0,0005 \text{ mm}$$

maka

$$X_1 = X_0 + \Delta X$$

$$= 12,035 + 0,0005$$

$$= 12,0355 \text{ mm}$$

$$X_2 = X_0 - \Delta X$$

$$= 12,035 - 0,0005$$

$$= 12,0345 \text{ mm}$$

berarti ukuran diameter poros tersebut ialah 12,0345 s.d. 12,0355 artinya bila hasil pengukuran orang lain berada antara nilai X_1 dan X_2 tersebut maka hasil pengukurannya dinilai benar.

1.5. Rangkuman

1. Besaran adalah sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka (kuantitatif).
2. Satuan adalah ukuran dari suatu besaran ditetapkan sebagai satuan.
3. Besaran pokok merupakan besaran yang dipandang berdiri sendiri dan tidak diturunkan dari besaran lain.
4. Besaran turunan ialah besaran yang diturunkan dan diperoleh dari besaran-besaran pokok.
5. Mengukur adalah membandingkan sesuatu dengan sesuatu yang lain yang sejenis yang ditetapkan sebagai satuan.
6. Ketelitian atau ketidakpastian suatu alat ukur sama dengan setengah dari skala terkecilnya.
7. Skala terkecil suatu alat ukur adalah nilai terendah yang bisa terbaca pada alat ukur tersebut.

1.6. Soal-Soal Latihan

1. Sebutkanlah alat-alat ukur yang kamu ketahui dan carilah kegunaan serta skala terkecilnya (jika ada).
2. Konversilah nilai-nilai di bawah ini dengan benar
 - a. $27,5 \text{ m}^3 = \dots\dots\dots \text{ cm}^3$
 - b. $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ kg} = \dots\dots\dots \text{ mg}$
 - c. $10 \text{ m/det} = \dots\dots\dots \text{ km/jam}$
 - d. $72 \text{ km/jam} = \dots\dots\dots \text{ m/s}$
 - e. $2,7 \text{ N} = \dots\dots\dots \text{ dyne}$
 - f. $5,8 \text{ J} = \dots\dots\dots \text{ erg}$
 - g. $0,2 \cdot 10^{-2} \text{ g/cm}^3 = \dots\dots\dots \text{ kg/m}^3$
 - h. $3 \cdot 10^5 \text{ kg/m}^3 = \dots\dots\dots \text{ g/cm}^3$
 - i. $2,5 \cdot 10^3 \text{ N/m}^2 = \dots\dots\dots \text{ dyne/cm}^2$
 - j. $7,9 \text{ dyne/cm}^3 = \dots\dots\dots \text{ N/m}^3$
 - k. $0,7 \cdot 10^{-8} \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ mikro}$
 - l. $1000 \text{ kilo joule} = \dots\dots\dots \text{ mikrojoule}$
 $= \dots\dots\dots \text{ Giga Joule}$

1.7. Pustaka

1. Frederick J. Bueche. 1994. *FISIKA: Seri Buku Schaum*. Jakarta: Erlangga.
2. Francis W. Sears. 1991. *FISIKA UNIVERSITAS*. Jakarta: Erlangga
3. Ganijanti Aby Saroyo, 2002. *MEKANIKA: Seri Fisika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika.
4. Muhammad Arsyad, 2000. *FISIKA TERAPAN: Bahan Ajar*. Makassar: PNUP

BAB 2.

SKALAR DAN VEKTOR

Dalam fisika, besaran dapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu (1) besaran yang hanya dinyatakan dengan nilai dan satuannya yang biasa disebut **besaran skalar** dan (2) besaran yang dinyatakan dengan nilai dan satuannya beserta arahnya disebut besaran **vektor**. Yang termasuk besaran skalar seperti: massa, panjang, waktu, densitas, energi, dan suhu. Cara perhitungan besaran-besaran skalar dapat dilakukan dengan menggunakan aturan-aturan aljabar biasa. Sedangkan perpindahan, kecepatan, percepatan, gaya, momentum, dan pergeseran merupakan beberapa contoh besaran vektor. Cara perhitungan besaran-besaran vektor tidak bisa menggunakan aturan-aturan aljabar biasa melainkan harus menggunakan aturan lain yang dikenal dengan **operasi vektor**.

Pada pokok bahasan ini akan dijelaskan tentang skalar, dan vektor: pengertian skalar dan vektor, vektor posisi dan vektor satuan, komponen vektor, penjumlahan vektor, selisih vektor. Untuk memudahkan pemahaman mahasiswa maka di akhir bab ini akan diberikan contoh soal, dan soal-soal latihan.

2.1. Skalar

Setiap besaran fisika dapat diklasifikasikan sebagai besaran skalar atau besaran vektor. Skalar adalah besaran yang dapat dinyatakan secara lengkap oleh suatu bilangan (disebut besaran) dan satuan atau Skalar adalah besaran yang hanya mempunyai nilai saja, tidak mempunyai arah, hasil pengukurannya tidak tergantung pada sistem koordinat. Besaran yang termasuk skalar seperti: jarak, laju, usaha, energi, daya, massa jenis, luas, volume, tekanan, temperatur, waktu, muatan listrik, potensial listrik, dan kapasitas. Semua besaran ini dapat dinyatakan dengan bilangan dengan satuan yang sesuai. Misalnya, panjang balok baja dinyatakan sebagai 18

kaki; suhu pada pukul 11.00 adalah 15°C ; volume sebuah ruangan adalah 300 m^3 . Penjumlahan dan pengurangan skalar menggunakan metode aljabar biasa, misalnya:

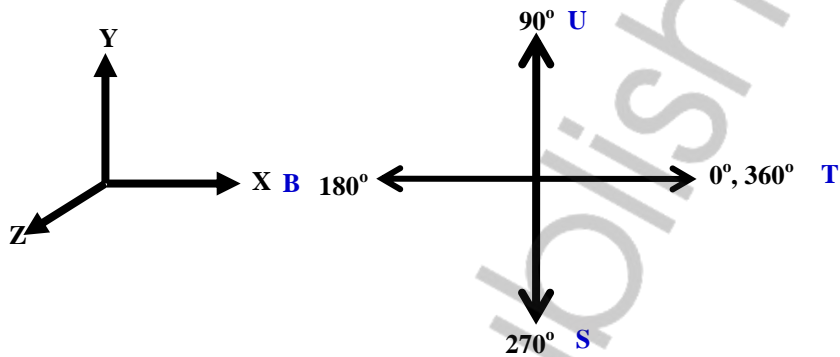
$$2 \text{ detik} + 5 \text{ detik} = 7 \text{ detik};$$

$$10 \text{ kg} + 5 \text{ kg} = 15 \text{ kg}.$$

2.2. Vektor

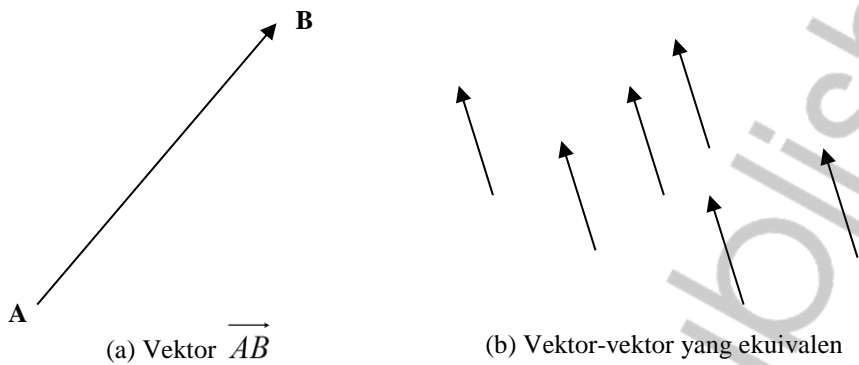
Vektor adalah besaran yang mempunyai arah, hasil pengukurannya tergantung pada sistem koordinat. Anda harus memberikan tidak hanya besarnya (ukuran atau jumlah), tetapi juga arahnya. Banyak besaran fisika telah cukup lengkap bila dinyatakan oleh sebuah bilangan dengan satuannya seperti: waktu, suhu, massa, dan muatan listrik. Namun demikian, beberapa besaran lainnya mempunyai arah yang tidak dapat dinyatakan oleh sebuah bilangan, misalnya: perpindahan, gaya, kecepatan. Untuk membahas gerak suatu benda, tidak hanya mengatakan berapa jarak perpindahannya tetapi juga harus diketahui arah perpindahannya ke mana. Contoh lain gaya misalnya. Bila kita mendorong atau menarik sebuah peti di atas lantai, maka dikatakan kita memberi gaya pada peti tersebut. Dan tentunya, untuk menyatakan gaya yang diberikan ke peti tersebut, selain nilainya (besarnya) juga harus dijelaskan ke mana arah gaya yang diberikan tersebut. Dalam analisis persoalan-persoalan keteknikan yang melibatkan banyak faktor, baik faktor internal maupun faktor eksternal biasa digunakan simbol atau sesuatu yang dapat mewakili faktor tersebut. Untuk memudahkan analisis gaya-gaya yang terjadi dalam suatu sistem maka diterapkanlah prinsip vektor.

Kata vektor berasal dari bahasa Latin yang berarti “pembawa” (*carrier*), yang ada hubungannya dengan “pergeseran” (*displacement*). Vektor biasanya digunakan untuk menggambarkan perpindahan suatu partikel atau benda yang bergerak, atau juga untuk menggambarkan suatu gaya. Vektor digambarkan dengan sebuah garis dengan anak panah di salah satu ujungnya, yang menunjukkan arah perpindahan/pergeseran dari partikel tersebut.



Gambar 2.1 Sistem Koordinat

Di dalam kehidupan sehari-hari, kita sering mendengar kata-kata seperti suhu, gaya, panjang, percepatan, perpindahan dan sebagainya. Apabila diperhatikan besaran yang menyatakan besarnya kuantitas dari kata-kata tersebut ada perbedaannya yaitu ada yang hanya menunjukkan nilai saja, tetapi ada yang menunjukkan nilai dan arahnya. Besaran itu sering disebut skalar dan vektor. Setiap besaran skalar seperti panjang, suhu dan sebagainya selalu dikaitkan dengan suatu bilangan yang merupakan nilai dari besaran itu. Sedangkan untuk besaran vektor seperti gaya, percepatan, perpindahan dan sebagainya, di samping mempunyai nilai juga mempunyai arah. Jadi vektor adalah suatu besaran yang mempunyai nilai dan arah. Untuk menyatakan sebuah vektor biasanya digunakan notasi huruf kecil tebal atau bergaris atas atau bawah, misalnya: \mathbf{u} atau \vec{u} atau \underline{u} . Secara geometri sebuah vektor diwakili oleh sebuah ruas garis berarah dengan panjang ruas garis itu menunjukkan besar, sedangkan arahnya menunjukkan arah vektor itu. Jika ruas garis AB seperti pada gambar 2.2(a) adalah sebuah vektor \mathbf{v} dengan titik A disebut titik pangkal (*initial point*) dan titik B disebut titik ujung (*terminal point*) maka kita dapat menuliskan $\mathbf{v} = \vec{AB}$. Vektor-vektor yang mempunyai panjang yang sama dan arah yang sama dinamakan ekuivalen, maka vektor yang ekuivalen dianggap sama walaupun vektor-vektor tersebut mungkin diletakkan di dalam kedudukan yang berbeda seperti pada Gambar 2.2 (b).

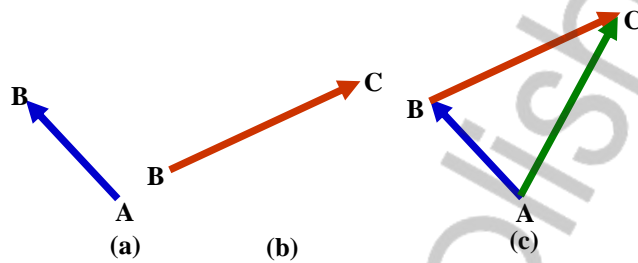


Gambar 2.2 Bentuk Vektor

Pergeseran suatu partikel adalah perubahan posisi dari partikel tersebut. Jika sebuah partikel berpindah dari posisi A ke posisi B , maka pergeserannya dapat dinyatakan dengan vektor AB yang memiliki anak panah di B yang menunjukkan bahwa pergeseran tersebut mulai dari A ke B (Gambar 2.3.a). Dengan cara yang sama, perubahan posisi partikel dari posisi B ke posisi C dapat dinyatakan dengan vektor BC (Gambar 2.3.b). Hasil total kedua pergeseran ini sama dengan pergeseran dari A ke C , sehingga vektor AC disebut sebagai jumlah atau resultan dari pergeseran AB dan BC .

Beberapa besaran fisika lain memiliki sifat seperti “pergeseran”, yaitu di samping mempunyai besar juga mempunyai arah. Jadi untuk menyatakan besaran fisis tersebut, di samping menyatakan nilainya, kita juga harus menyatakan arahnya. Besaran fisika seperti ini dikatakan sebagai besaran vektor. Secara umum besaran vektor adalah besaran yang mempunyai besar dan arah. Contohnya: gaya, kecepatan, percepatan, momentum, impuls, momen gaya, kuat medan listrik, dan kuat medan magnet.

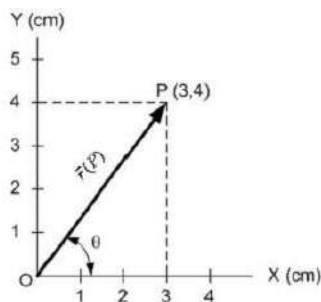
Sedangkan besaran fisis yang tidak mempunyai arah dan dapat dinyatakan secara tepat hanya oleh sebuah bilangan, disebut sebagai besaran skalar. Contohnya: jarak, usaha, energi, daya, massa jenis, luas, volume, tekanan, temperatur, waktu, muatan listrik, potensial listrik, dan kapasitas. Perhitungan dengan skalar dapat dilakukan dengan menggunakan aturan aljabar biasa.



Gambar 2.3 Vektor Pergeseran

2.2.1. Vektor Posisi dan Vektor Satuan

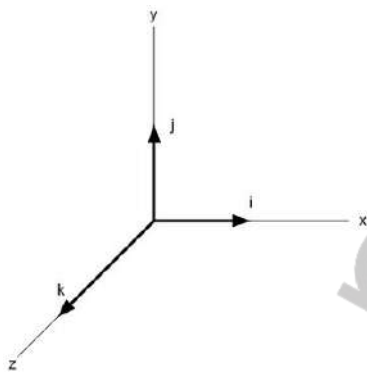
Jika kita ingin menyatakan letak atau posisi sebuah titik dalam suatu bidang datar, maka kita membutuhkan suatu sistem koordinat (misalnya sumbu x dan sumbu y). Dengan menggunakan sistem sumbu ini, kita dapat menentukan koordinat titik P dengan titik acuan O (Gambar 2.4). Jika koordinat P adalah $(3,4)$, maka jarak OP haruslah sama dengan 5 cm dan posisi titik P terhadap titik acuan O dapat dinyatakan sebagai vektor posisi yang dituliskan sebagai $r(P)$. Sebuah vektor satuan adalah vektor tak berdimensi yang didefinisikan mempunyai besar 1 dan menunjuk ke suatu arah tertentu. Dalam sistem koordinat biasanya digunakan lambang khusus i , j , dan k untuk menyatakan vektor satuan dalam arah sumbu x , y , dan z positif berturut-turut (Gambar 2.5). Perhatikan bahwa i , j , dan k tidak harus terletak pada titik asal koordinat. Seperti halnya vektor-vektor lain, vektor satuan dapat ditranslasikan ke mana saja dalam ruang koordinat, asalkan arahnya terhadap sumbu koordinat tidak berubah.



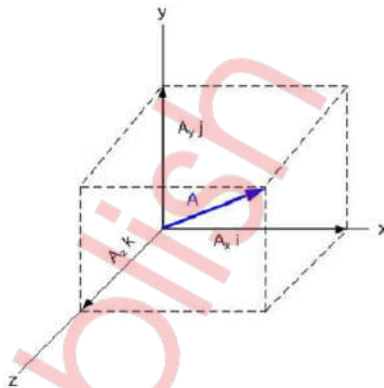
Gambar 2.4 Vektor Posisi

Vektor A_{xi} adalah hasil kali komponen A_x dengan vektor satuan i . Vektor ini adalah vektor sejajar dengan sumbu x (Gambar 2.6). Sehingga vektor A dapat ditulis sebagai jumlahan tiga vektor yang masing-masing sejajar terhadap sumbu koordinat:

$$A = A_{xi} + A_{yj} + A_{zk}$$



Gambar 2.5 Vektor Satuan

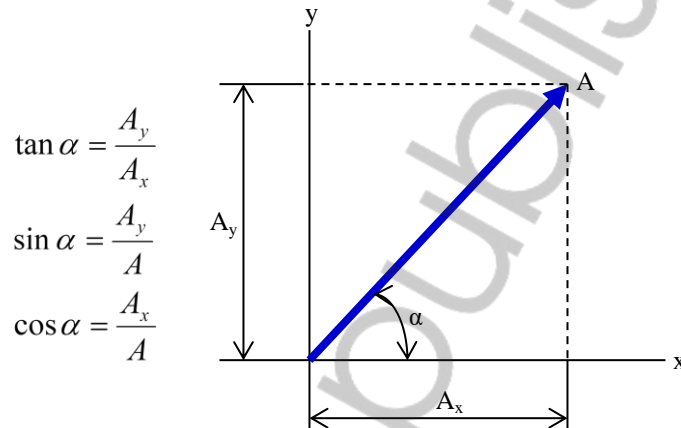


Gambar 2.6 Vektor A dalam Bentuk Vektor-Vektor Satuan A

2.2.2. Komponen Vektor

Komponen sebuah vektor adalah proyeksi vektor itu pada garis dalam ruang yang diperoleh dengan menarik garis tegak lurus dari kepala vektor tersebut ke garis tadi. Gambar 2.7 menunjukkan vektor A yang berada pada bidang xy . Vektor ini mempunyai komponen A_x dan A_y .

Secara umum komponen-komponen ini dapat bernilai positif atau negatif. Jika α adalah sudut antara vektor A dengan sumbu x , maka:



Gambar 2.7 Komponen Vektor A

Di mana A adalah besar dari vektor A , sehingga komponen-komponen vektor A dapat diperoleh:

$$A_x = A \cos \alpha$$

$$A_y = A \sin \alpha$$

Tetapi jika kita telah mengetahui komponen A_x dan A_y , serta sudut α , maka besar vektor A dapat diperoleh dengan menggunakan teorema *Pythagoras*:

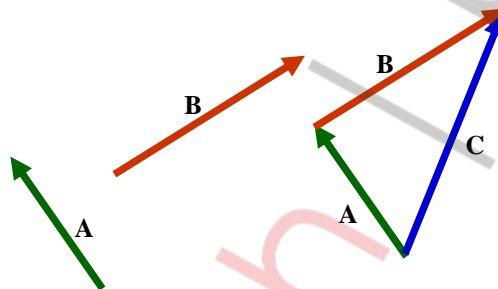
$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$$

2.2.3. Penjumlahan Vektor

Penjumlahan vektor (*vector sum*) dari dua buah vektor atau lebih, biasanya dapat dilakukan jika vektor-vektor tersebut memiliki besaran yang sejenis. Berikut ini akan dijelaskan beberapa metode penjumlahan vektor.

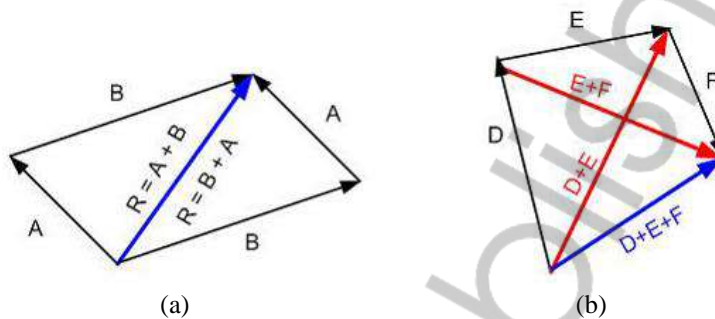
2.2.3.1 Metode Geometris

Penjumlahan vektor dengan metode ini, dilakukan dengan menyatakan vektor-vektor dalam sebuah diagram. Panjang anak panah disesuaikan dengan besar vektor (artinya harus menggunakan skala dalam penggambarannya), dan arah vektor ditunjukkan oleh arah ujungnya (kepalanya). Sebagai contoh, perpindahan sebesar 40m dalam arah timur-laut, bila digambarkan dalam skala 1 cm tiap 10 meter, maka perpindahan sejauh 40m dinyatakan dengan sebuah anak panah yang panjangnya 4 cm dan membentuk sudut 45° dengan garis yang mengarah ke timur dan ujung kepala anak panah terletak pada ujung kanan yang mengarah ke atas. Sekarang jika terdapat dua buah vektor A dan B yang memiliki besar dan arah masing-masing seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8, maka vektor C merupakan vektor hasil penjumlahan kedua vektor tersebut.



Gambar 2.8 Penjumlahan Vektor Metode Geometris

Aturan yang harus diikuti dalam penjumlahan vektor secara geometris adalah sebagai berikut: Pada diagram yang telah disesuaikan skalanya, mula-mula letakkan vektor A , kemudian gambarkan vektor B dengan pangkalnya terletak pada ujung A dan akhirnya ditarik garis dari pangkal A ke ujung B yang menyatakan vektor hasil penjumlahan R . Vektor ini menyatakan pergeseran yang panjang dan arahnya setara dengan pergeseran berturutan A dan B . Cara ini dapat diperluas dalam hal yang lebih umum, untuk memperoleh jumlah beberapa pergeseran berturutan.



Gambar 2.9 Penjumlahan (a). Komutatif, (b). Asosiatif

Simbol “+” pada Gambar 2.9 memiliki arti yang sama sekali berbeda dengan arti penjumlahan dalam ilmu hitung atau aljabar skalar biasa. Simbol ini menghendaki sekumpulan operasi yang betul-betul berbeda. Berdasarkan Gambar 2.8, dapat dibuktikan dua buah sifat penting dalam penjumlahan vektor, yaitu:

Hukum Komutatif:

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

Hukum Asosiatif:

$$\mathbf{D} + (\mathbf{E} + \mathbf{F}) = (\mathbf{D} + \mathbf{E}) + \mathbf{F}$$

Kedua hukum ini menyatakan bahwa bagaimanapun urutan ataupun pengelompokan vektor dalam penjumlahan, hasilnya tidak akan berbeda. Dalam hal ini penjumlahan vektor dan penjumlahan skalar memenuhi aturan yang sama.

2.2.3.2 Metode Jajaran Genjang

Penjumlahan dua buah vektor dengan menggunakan metode jajaran genjang, dilakukan dengan cara menggambarkan kedua vektor tersebut saling berhimpit pangkalnya sebagai dua sisi yang berdekatan dari sebuah jajaran genjang. Maka jumlah vektor adalah vektor diagonal yang pangkalnya sama dengan pangkal kedua vektor penyusunnya (Gambar 2.10). Nilai penjumlahannya diperoleh sebagai berikut:

$$C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\alpha}$$

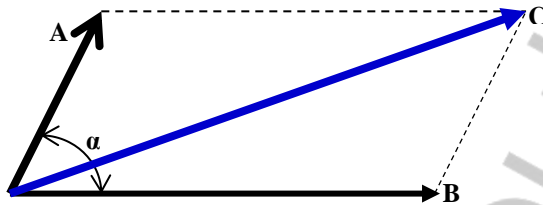
Di mana:

A = besar vektor pertama yang akan dijumlahkan

B = besar vektor kedua yang akan dijumlahkan

C = besar vektor hasil penjumlahan

α = sudut terkecil antara vektor A dan B



Gambar 2.10 Penjumlahan Vektor Metode Jajaran Genjang

2.2.3.3 Metode Analitis (2 Dimensi)

Penjumlahan dua vektor dalam-dua dimensi, metode geometris dan metode jajaran genjang cukup memadai. Tetapi untuk kasus penjumlahan tiga vektor ataupun penjumlahan vektor dalam tiga dimensi seringkali kurang menguntungkan. Cara lain yang dapat digunakan untuk menjumlahkan vektor adalah metode analitik. Dengan metode ini, vektor-vektor yang akan dijumlahkan, masing-masing diuraikan dalam komponen-komponen vektor arahnya (lihat kembali “Komponen Vektor”). Jika R merupakan besar vektor resultan, maka besarnya adalah:

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

Di mana:

R = besar vektor resultan

R_x = jumlah total vektor dalam arah sumbu x

R_y = jumlah total vektor dalam arah sumbu y

Dengan arah:

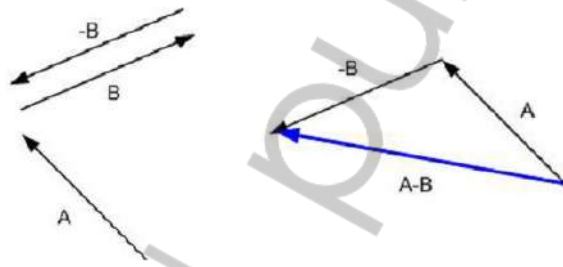
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x}$$

Di mana α adalah sudut yang dibentuk antara sumbu x dengan vektor resultan.

2.2.4. Selisih Vektor

Operasi pengurangan vektor dapat dimasukkan ke dalam aljabar dengan mendefinisikan negatif suatu vektor sebagai sebuah vektor lain yang besarnya sama, tetapi arahnya berlawanan, sehingga:

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



Gambar 2.11 Selisih Vektor

Jika terdapat dua buah vektor tiga dimensi, yaitu vektor A dan B . Maka keduanya dapat dituliskan dalam komponen dan vektor satuan sebagai berikut:

$$A = A_x i + A_y j + A_z k$$

$$B = B_x i + B_y j + B_z k$$

2.3. Contoh Soal

1. Dua buah gaya F_1 dan F_2 masing-masing besarnya 50 N dan 30 N saling mengapit sudut 60° . Tentukan arah dan resultan kedua vektor tersebut?

Pembahasan:

Diketahui

$$F_1 = 50 \text{ N}$$

$$F_2 = 30 \text{ N}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Ditanya: R dan β

Jawab:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \alpha}$$

$$R = \sqrt{50^2 + 30^2 + 2 \cdot 50 \cdot 30 \cos 60}$$

$$R = \sqrt{50^2 + 30^2 + 2 \cdot 50 \cdot 30 \cdot \frac{1}{2}}$$

$$R = \sqrt{4900}$$

$$R = 70 \text{ N}$$

arah vektor resultan adalah

$$\sin \beta = \frac{F_1 \sin \alpha}{R}$$

$$\sin \beta = \frac{F_1 \sin \alpha}{R}$$

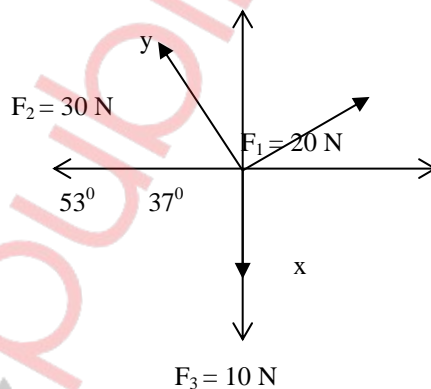
$$\sin \beta = \frac{50 \sin 60}{70}$$

$$\sin \beta = \frac{25\sqrt{3}}{70} = 0,618$$

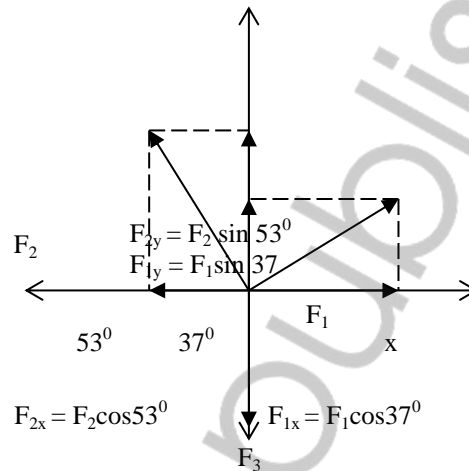
$$\beta = 38,2^\circ$$

jadi resultannya 70 N ke arah $38,2^\circ$ terhadap F_2 .

2. Tiga buah vektor F_1 , F_2 dan F_3 masing-masing besarnya adalah 10 N, 20 N dan 5 N terletak seperti pada gambar di bawah. Tentukan resultan dan arah ketiga vektor tersebut.



Pembahasan:



Vektor komponen Gaya pada sumbu X dan Y adalah:

Vektor	Vektor Komponen Sumbu X	Vektor Komponen Sumbu Y
F_1	$20 \cos 37 = 20 \cdot 0,8 = 16 \text{ N}$	$10 \sin 37 = 10 \cdot 0,6 = 12 \text{ N}$
F_2	$-30 \cos 53 = 30 \cdot 0,6 = -18 \text{ N}$	$30 \sin 53 = 30 \cdot 0,8 = 24 \text{ N}$
F_3	$-8 \cos 90 = 0$	$-10 \sin 90 = -10 \cdot 1 = -10 \text{ N}$
Σ	$\Sigma F_x = -2 \text{ N}$	$\Sigma F_y = 2 \text{ N}$

Jadi resultan vektornya adalah:

$$R = \sqrt{(-2)^2 + (2)^2}$$

$$R = \sqrt{4 + 4}$$

$$R = \sqrt{8}$$

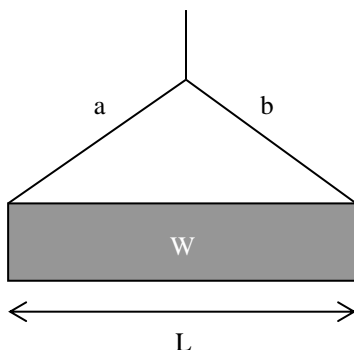
$$R = 2\sqrt{2} \text{ N}$$

sedangkan arah vektor komponennya adalah:

$$\tan \alpha = \frac{-2}{2} = -1$$

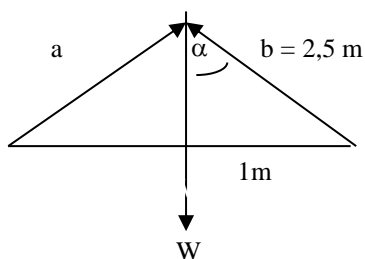
$\alpha = 135^\circ$ terhadap sumbu X (+) atau 45° terhadap sumbu X (-).

3. Andaikan sebuah benda yang beratnya (W) adalah 304 N diangkat dengan rantai seperti pada gambar.



Jika panjang $a = b = 2,5$ m, dan panjang benda $L = 2$ m. Tentukan gaya yang terjadi pada rantai a atau b!

Penyelesaian:



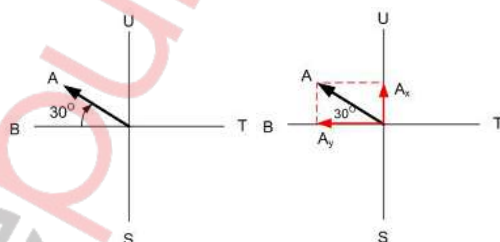
$$\sin \alpha = \frac{1}{2,5} = 0,4 \Rightarrow \alpha = 26^{\circ} 12'$$

$$\begin{aligned} \text{Maka: } W^2 &= a^2 + b^2 + 2ab \cos 2\alpha \\ 304^2 &= a^2 + b^2 + 2ab \cos 52^{\circ} 24' \\ &= a^2 + a^2 + 2aa \cos 52^{\circ} 24' \\ &= 2a^2 + 2a^2 \cos 52^{\circ} 24' \\ &= a^2 (2 + 2 \cdot 0,68) \end{aligned}$$

$$\text{Sehingga } a^2 = \frac{304^2}{3,36} = 27504,762. \text{ Jadi } a \text{ adalah } 165,85 \text{ N}$$

4. Sebuah mobil menempuh 20 km dengan arah 30° ke utara terhadap arah barat. Dengan menganggap sumbu x menunjukkan arah timur dan sumbu y menunjukkan arah utara, carilah komponen x dan y dari vektor perpindahan mobil itu!

Pembahasan



Jika vektor A merupakan vektor perpindahan mobil sejauh 20 km dengan arah 30° ke utara terhadap arah barat. Kemudian vektor A diproyeksikan terhadap sumbu x dan y seperti gambar di samping, sehingga diperoleh komponen vektor A_x berada pada sumbu x negatif maka komponen vektor A_x bernilai negatif, dan komponen vektor A_y berada pada sumbu y positif maka komponen vektor A_y bernilai positif.

$$A_x = - A \cos \theta = - 20 \cos 30^\circ = -17,32 \text{ km}$$

$$A_y = + A \sin \theta = + 20 \sin 30^\circ = +10 \text{ km}$$

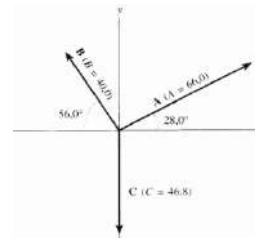
2.4. Rangkuman

1. Skalar adalah besaran yang hanya mempunyai nilai, dan tidak tergantung pada sistem koordinat.
2. Penjumlahan dan pengurangan skalar menggunakan metode aljabar biasa.
3. Vektor adalah besaran yang mempunyai nilai dan arah serta tergantung pada sistem koordinat.
4. Penjumlahan dan pengurangan vektor tidak bisa menggunakan metode aljabar biasa.
5. Penjumlahan dan pengurangan vektor bisa dilakukan secara jajaran genjang, grafis, maupun uraian komponen.

2.5. Soal-Soal Latihan

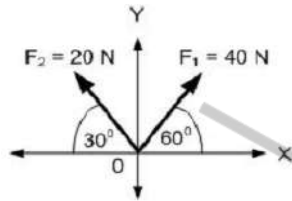
1. Tiga vektor ditunjukkan gambar di samping. Besarnya diberikan dengan sembarang satuan. Tentukan jumlah ketiga vektor itu. Nyatakan resultan dalam:

- (a) Komponen
- (b) Besar dan sudut terhadap sumbu x



2. Dua gaya masing-masing sebesar 100 N dan 80 N membentuk sudut 60° menarik sebuah objek, hitunglah gaya resultan (baik besar dan arahnya)!

3. Sebuah pesawat terbang ringan dengan kecepatan 600 km/jam bergerak ke arah Barat, sementara angin bergerak ke arah Utara dengan kecepatan 100 km/jam. Ke manakah pesawat akan bergerak karena tiupan angin ini?
4. Sebuah mobil bergerak 50 km ke Timur, kemudian 30 km ke Utara dan akhirnya 25 km dalam arah 300° ke Timur dari Utara. Gambarlah diagram vektornya dan tentukan pergeseran total mobil tersebut diukur dari titik arahnya.
5. Dua buah vektor gaya F_1 dan F_2 bertitik tangkap di O seperti gambar di samping. Berapakah resultan vektor-vektor tersebut?



6. Sebuah mobil dikendarai 125 km ke arah Barat dan kemudian 65 km ke arah Barat Daya. Berapa perpindahan mobil tersebut dari titik asalnya (besar dan arah)? Gambarkan diagramnya!

2.6. Referensi

-
- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. *Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Ewwn, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics: Edisi X*. USA: Prentice Hall.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. *Physics for Engineers and Scientists: Edisi III*. USA: Norton & Co.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics: Edisi X*. USA: John Weley.

BAB 3.

GERAK LURUS

Pada kenyataannya tidak ada benda tanpa ukuran di alam ini, tetapi pengertian “partikel” ini sangat bermanfaat karena benda nyata secara pendekatan sering bersifat seperti partikel. Benda tidak harus “kecil” dalam pengertian biasa agar dapat disebut partikel. Misalnya saja jika kita perhatikan sebuah bola yang dilempar ke udara, maka tampak bahwa di samping berpindah dari satu tempat ke tempat lain, bola tersebut juga bergerak berputar. Gerak yang berhubungan dengan perpindahan seluruh bagian dari bola dari satu tempat ke tempat lain disebut dengan gerak “translasi”. Dalam gerak rotasi ada bagian yang tidak berpindah tempat, yaitu pada sumbu putar. Biasanya gerak suatu benda dapat dianggap sebagai campuran antaran gerak translasi dan gerak rotasi. Jika bola tadi dianggap sebagai partikel sehingga dianggap mempunyai ukuran sangat kecil dari lintasan gerak translasi, maka dapat diabaikan gerak rotasi sehingga cukup membahas gerak translasi.

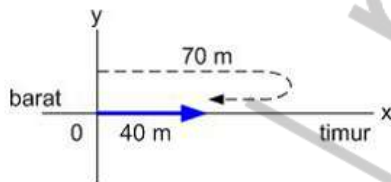
Dalam bab ini, pembahasan tentang gerak lurus meliputi jarak, perpindahan, kelajuan, kecepatan dan percepatan, gerak lurus beraturan, gerak lurus berubah beraturan, gerak jatuh bebas, dan gerak vertikal ke bawah. Untuk memudahkan pemahaman mahasiswa maka materi ini dilengkapi bagian contoh soal dan soal-soal latihan.

3.1. Jarak dan Perpindahan

Gerak dapat didefinisikan sebagai perubahan letak suatu partikel yang terus-menerus pada suatu lintasan tertentu. Letak sebuah partikel dengan mudah dapat ditentukan berdasarkan proyeksinya pada ketiga sumbu suatu sistem koordinat tegak lurus. Apabila partikel itu bergerak dalam ruang menuruti sembarang lintasan, maka proyeksinya bergerak

dalam garis lurus sepanjang ketiga sumbu tersebut. Gerak yang sesungguhnya dapat di gambarkan berdasarkan gerak ketiga proyeksi ini.

Pada gerak satu dimensi, biasanya kita menggunakan sumbu x sebagai garis lintasan di mana gerak tersebut terjadi. Maka perubahan letak (posisi) partikel/benda pada setiap saatnya dinyatakan dengan koordinat x . Perpindahan didefinisikan sebagai perubahan letak/posisi partikel/benda. Maka perpindahan adalah seberapa jauh jarak benda tersebut dari titik awalnya. Misalnya saja seseorang berjalan sejauh 70 m ke arah timur lalu kemudian berbalik (ke arah barat) dan berjalan menempuh jarak 30 m (Gambar 3.1). Maka jarak total yang ditempuh orang tersebut adalah 100 m, tetapi perpindahannya hanya 40 m karena orang tersebut pada saat terakhir berjarak 40 m dari titik awal pergerakannya.



Gambar 3.1 Perpindahan



Gambar 3.2 Gerak pada Mobil

Mobil pada Gambar 3.2 bergerak dalam lintasan yang lurus disebut gerak lurus. Apabila kecepatannya tetap disebut gerak lurus beraturan, sedangkan apabila kecepatannya berubah secara beraturan disebut gerak lurus berubah beraturan. Benda bergerak apabila benda tersebut kedudukannya (posisi) mengalami perubahan dari kedudukan sebelumnya.

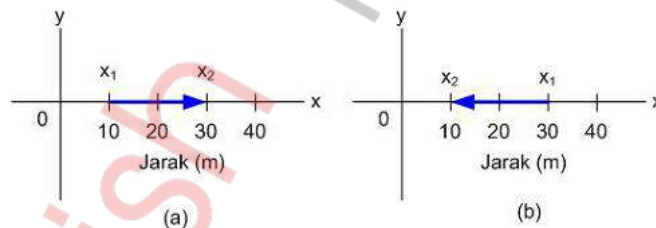
Perpindahan merupakan besaran vektor yang bisa bernilai positif ataupun negatif sesuai dengan arah yang ditunjukkannya. Misalnya saja gerak sebuah benda selama selang waktu tertentu. Pada saat awal (t_1) benda berada pada sumbu x di titik x_1 dan beberapa waktu kemudian, pada waktu t_2 benda berada pada titik x_2 (Gambar 3.3a). Maka perpindahan benda tersebut adalah:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 30\text{m} - 10\text{m} = 20\text{m}$$

Di mana Δx merupakan perpindahan pada x yang sama dengan posisi akhir benda dikurangi dengan posisi awal benda. Sedangkan pada kondisi yang berbeda (Gambar 3.3b), sebuah benda bergerak ke kiri. Di mana benda mula-mula berada pada posisi x_1 lalu bergerak ke kiri dan berhenti pada posisi x_2 . Maka perpindahannya adalah:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 10\text{m} - 30\text{m} = -20\text{m}$$

Dalam hal ini perpindahan yang diperoleh bernilai negatif, karena vektor perpindahan menunjukkan ke arah kiri.



Gambar 3.3 (a). Vektor Perpindahan ke Kanan, (b). Vektor Perpindahan ke Kiri

Panjang lintasan yang ditempuh suatu benda selama perpindahan posisi disebut jarak (*distance*). Jarak merupakan besaran skalar. Sedangkan jarak yang diukur dari posisi awal sebelum benda bergerak ke posisi akhir setelah benda bergerak dalam arah tertentu disebut perpindahan (*displacement*), atau dengan kata lain perpindahan adalah perubahan posisi suatu benda dari posisi awal ke posisi akhir. Perpindahan merupakan besaran vektor.

3.2. Kelajuan, Kecepatan, dan Percepatan

Kelajuan (*speed*) adalah jarak yang ditempuh per satuan waktu dan kelajuan tidak bergantung dengan arah sehingga kelajuan merupakan besaran skalar. Kelajuan ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan;

v = kelajuan (dalam satuan meter/sekon)

s = jarak tempuh (dalam satuan meter)

t = waktu tempuh (dalam satuan sekon)

Dalam kehidupan sehari-hari kita sering menjumpai banyak benda yang bergerak, benda-benda tersebut bergerak dengan kelajuan yang tidak tetap/ berubah, misalnya seseorang berjalan menuju tempat tujuannya awalnya cepat dan kemudian lambat. Dalam hal ini penggunaan istilah lebih tepat adalah kelajuan rata-rata, yaitu total jarak yang ditempuh suatu benda per total waktu yang diperlukan untuk menempuhnya. Kelajuan rata-rata dapat pula didefinisikan sebagai rata-rata perubahan jarak yang biasa dinyatakan sebagai

$$\text{kelajuan rata - rata} = \frac{\text{total jarak yang ditempuh}}{\text{total waktu yang diperlukan}}$$

Selain kelajuan rata-rata dikenal juga kelajuan sesaat. Kelajuan sesaat adalah total jarak yang ditempuh suatu benda per selang waktu yang sangat pendek pada titik tertentu.

Kecepatan (*velocity*) adalah kelajuan suatu benda dalam arah tertentu. Kecepatan termasuk besaran vektor. Total perpindahan yang ditempuh suatu benda per selang waktu yang diperlukan untuk berpindah disebut kecepatan rata-rata.

Kecepatan rata-rata (v) didefinisikan sebagai perbandingan perpindahan benda dengan selang waktu. Kecepatan rata-rata adalah besaran vektor dengan arahnya sama dengan arah vektor perpindahannya. Kecepatan rata-rata dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \dots \dots \dots (3.2)$$

Di mana:

Δx = perpindahan

Δt = selang waktu/waktu tempuh yang diperlukan

Jika $x_2 < x_1$, benda bergerak ke kiri, berarti $\Delta x = x_2 - x_1$ lebih kecil dari nol. Kecepatan rata-rata akan bernilai positif untuk benda yang bergerak ke kanan sepanjang sumbu x dan negatif jika benda tersebut bergerak ke kiri. Arah kecepatan selalu sama dengan arah perpindahan. Kecepatan rata-rata dapat pula didefinisikan sebagai rata-rata perpindahan.

$$\begin{aligned} \text{kecepatan rata-rata} &= \frac{\text{perpindahan}}{\text{selang waktu untuk berpindah}} \\ \bar{v} &= \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_o}{t - t_o} \end{aligned}$$

Kecepatan suatu benda ada suatu saat atau pada satu titik di lintasannya disebut kecepatan sesaat (v). Atau kecepatan sesaat dapat didefinisikan pula sebagai kecepatan rata-rata pada limit Δt yang menjadi sangat kecil, mendekati nol. Dengan demikian kecepatan sesaat dapat dituliskan sebagai berikut:

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

Dalam hitung analisis harga limit, $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ dengan mendekatnya Δt pada harga nol, ditulis dx/dt dan disebut turunan atau derivat x terhadap t . Kecepatan sesaat adalah besaran vektor, arahnya sama dengan arah limit vektor perpindahan Δx . Karena Δt seharusnya positif, maka tanda v sama dengan tanda Δx . Jadi kecepatan positif menunjukkan gerakan ke kanan sepanjang sumbu x .

Total perpindahan yang ditempuh suatu benda untuk selang waktu yang sangat pendek yang diperlukan untuk berpindah disebut kecepatan sesaat.

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

Apabila kecepatan suatu benda berubah terus selama gerak berlangsung, maka benda tersebut dikatakan bergerak dengan gerak yang dipercepat atau mempunyai percepatan. Jadi percepatan menyatakan seberapa cepat kecepatan sebuah benda berubah. Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan kecepatan dengan selang waktu, atau dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots(3.3)$$

Di mana:

Δv = perubahan kecepatan

Δt = selang waktu

Percepatan sesaat suatu benda, yaitu percepatannya pada saat tertentu atau pada suatu titik tertentu lintasannya didefinisikan seperti cara mendefinisikan kecepatan sesaat.

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

Arah percepatan sesaat ialah arah limit dari vektor perubahan kecepatan yaitu Δv .

3.3. Gerak Lurus Beraturan

Benda yang bergerak dengan kelajuan konstan dalam lintasan lurus, maka pada benda tersebut melakukan *gerak lurus beraturan* (GLB). Benda juga dapat dikatakan bergerak lurus beraturan jika benda tersebut dalam selang waktu yang sama bisa menempuh jarak yang sama dengan lintasannya garis lurus. Gerak lurus beraturan ini dapat dinyatakan sebagai

$$v_r = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

Bila posisi awal benda dinyatakan sebagai s_0 dan posisi akhir benda adalah s , maka:

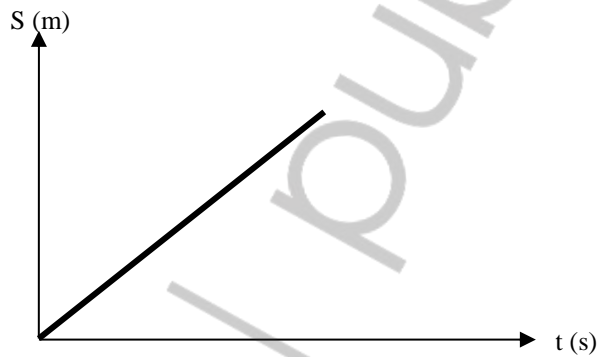
$$\Delta s = s - s_0$$

untuk $t_0 = 0$, maka $\Delta t = t - t_0 = t - 0 = t$

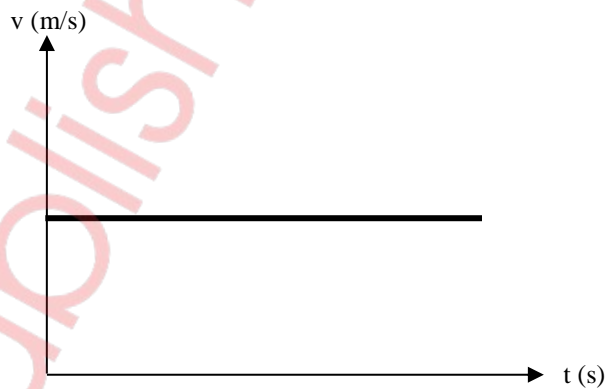
jika $\Delta s = v \cdot t$ maka $s - s_0 = v \cdot t$

jadi, $s = s_0 + v \cdot t$

Benda yang bergerak lurus beraturan dapat dinyatakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Jarak (s) dan Waktu (t).



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Kelajuan (v) dan Waktu (t)

Dari grafik ini terlihat bahwa v adalah konstan sepanjang waktu

3.4. Gerak Lurus Berubah Beraturan

Benda yang bergerak pada lintasan lurus dengan percepatan konstan dan mengalami perubahan kecepatan secara beraturan, maka benda tersebut melakukan *Gerak Lurus Berubah Beraturan* (GLBB). Gerak Lurus Berubah Beraturan ini dapat dinyatakan dengan rumus:

$$\Delta s = \bar{v} \cdot t \quad \text{dengan} \quad \bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2}$$

$$\Delta s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad \text{atau} \quad s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

$$\Delta v = v_0 + a \cdot t \quad \text{atau} \quad v_t^2 = v_0^2 + 2a \cdot (s - s_0)$$

Di mana;

v_0 = kelajuan awal (m/s)

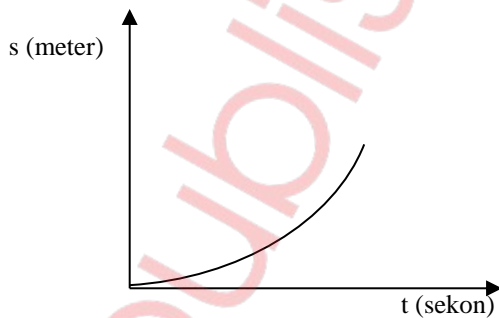
v_t = kelajuan setelah selang waktu tertentu (m/s)

s = jarak yang ditempuh (m)

s_0 = jarak awal (m)

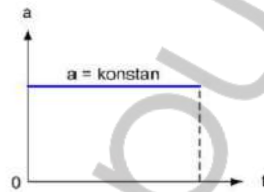
t = waktu yang diperlukan (s)

Benda yang bergerak lurus berubah beraturan dapat dinyatakan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 3.6. Grafik Hubungan Jarak (s) dan Waktu (t).

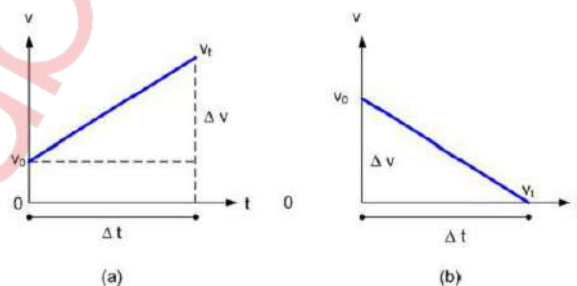
Grafik ini menunjukkan bahwa jarak sebagai fungsi kuadrat waktu. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) merupakan gerak lurus dengan percepatan konstan (Gambar 3.7), yaitu di mana kecepatan berubah teratur selama gerak berlangsung. Grafik v-t pada Gambar 3.8.a membentuk garis lurus yang berarti besar pertambahan kecepatan rata-rata sama besar dalam selang waktu yang sama besar pula. Sedangkan Gambar 3.8.b menggambarkan kebalikannya, yaitu pengurangan kecepatan rata-rata sama besar dalam selang waktu yang sama besar pula.



Gambar 3.7 Grafik a-t pada GLBB

Kemiringan tali busur antara sembarang dua titik pada gambar 3.8, sama dengan miring di sembarang titik dan percepatan rata-rata sama besar dengan percepatan sesaat. Jika misalkan $t_1 = t_0 = 0$ dan $t_2 = t_1 =$ sembarang waktu t . Dan $v_1 = v_0$ merupakan kecepatan pada saat $t = 0$ (di mana v_0 disebut dengan kecepatan awal) dan $v_2 = v_t$ adalah kecepatan pada waktu t . Maka persamaan (3.3) percepatan rata-rata (a) dapat diganti dengan percepatan konstan a , yaitu:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_t - v_0}{t_1 - t_0} = \frac{v_t - v_0}{t - 0} = \frac{v_t - v_0}{t} = \text{konstan}$$



Gambar 3.8 Grafik v-t pada GLBB

Sehingga persamaan di atas dapat dinyatakan sebagai:

$$v_t = v_0 + at$$

atau

$$t = \frac{v_t - v_0}{a} \dots\dots\dots(3.4)$$

Persamaan (3.4) berarti bahwa percepatan a ialah perubahan kecepatan rata-rata atau perubahan kecepatan per satuan waktu. Di mana variabel at merupakan hasil kali perubahan kecepatan per satuan waktu (a) dengan lamanya selang waktu (t). Maka at sama dengan total perubahan kecepatan. Jika $a = konstan$, maka untuk menentukan perpindahan sebuah partikel dapat dipergunakan fakta bahwa bila percepatan konstan maka kecepatan rata-rata dalam sembarang selang waktu sama dengan setengah dari jumlah kecepatan awal dan kecepatan akhir partikel tersebut pada selang waktu itu. Sehingga kecepatan rata-rata antara nol dan t adalah:

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} \dots\dots\dots(3.5)$$

Berdasarkan persamaan (3.4) di atas, maka persamaan (3.5) menjadi:

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v_0 + v_0 + at) = v_0 + \frac{1}{2}at$$

Jika untuk sebuah partikel yang berada di titik pangkal pada saat $t = 0$, maka koordinat x pada sembarang waktu t ialah:

$$x = \bar{v}t$$

Di mana v merupakan kecepatan rata-rata, maka persamaan di atas akan menjadi:

$$x = \left(v_0 + \frac{1}{2}a \cdot t\right)t = v_0t + \frac{1}{2}a \cdot t^2 \dots\dots\dots(3.4)$$

atau

$$x = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t = \frac{1}{2}t(v_0 + v_t) \dots\dots\dots(3.5)$$

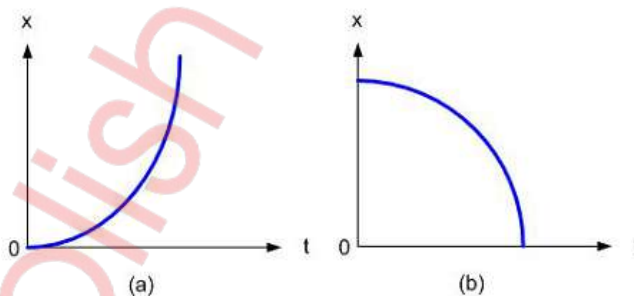
Berdasarkan persamaan (3.4) dan persamaan (3.5), diperoleh:

$$x = \frac{1}{2}t(v_0 + v_t) = \frac{1}{2}\left(\frac{v_t - v_0}{a}\right)(v_0 + v_t) = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} \dots\dots\dots (3.6)$$

Sehingga dari persamaan di atas diperoleh bahwa:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2ax \dots\dots\dots (3.7)$$

Persamaan-persamaan di atas ialah persamaan gerak dengan percepatan konstan, khusus untuk kasus di mana partikel berada di titik pangkal pada saat $t = 0$. Jika digambarkan grafik $x-t$ untuk gerak percepatan konstan (Gambar 3.9), maka garis lengkung itu merupakan grafik dari persamaan (3.6). Gambar 3.9 (a) untuk GLBB dipercepat sedangkan Gambar 3.9(b) untuk GLBB diperlambat. Pada kasus GLBB yang diperlambat, arah kemiringan bernilai negatif sehingga kurva menurun menurut waktu. Pada umumnya untuk kasus GLBB diperlambat akan mempunyai nilai percepatan yang negatif yaitu berarti diperlambat. Sehingga persamaan (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), dan (3.7) memiliki variabel $-a$ (diperlambat).



Gambar 3.9 Grafik x-t pada GLBB

3.5. Gerak Jatuh Bebas

Salah satu contoh gerak yang dipercepat ialah jatuhnya suatu benda. Bila gesekan udara tidak ada, maka setiap benda bagaimanapun ukuran dan beratnya, akan jatuh dengan percepatan konstan yang sama. Efek gesekan udara dan berkurangnya percepatan akibat tinggi letak benda

tersebut diabaikan. Gerak yang ideal tersebut disebut “jatuh bebas”, di mana selanjutnya pengertian jatuh bebas juga berlaku bagi gerak vertikal ke bawah dan gerak vertikal ke atas.

Menurut Galileo, semua benda akan bergerak jatuh dengan percepatan konstan yang sama jika tidak ada udara atau hambatan lainnya. Misalnya saja percobaan batu dan bulu yang dijatuhkan dalam tabung berisi udara dan tabung yang hampa udara (Gambar 3.10). Maka pada tabung berisi udara, batu akan sampai lebih dulu di dasar tabung. Sedangkan pada tabung hampa udara, kedua benda tersebut sampai di permukaan tabung pada waktu yang hampir bersamaan.

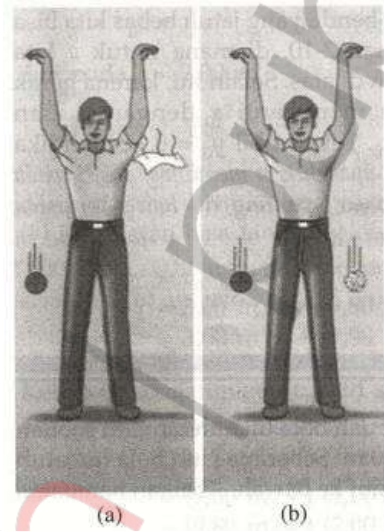


Gambar 3.10 Sebuah Batu dan Bulu Ayam Dijatuhkan secara Bersamaan

Jadi menurut Galileo semua benda, berat atau ringan, jatuh dengan percepatan yang sama, paling tidak jika tidak ada udara. Jika kita memegang selembar kertas secara horizontal pada satu tangan dan sebuah benda lain yang lebih berat di tangan yang lain, maka benda yang lebih berat akan lebih dulu mencapai tanah (Gambar 8.a). Tetapi jika percobaan tadi diulang dengan membentuk kertas menjadi gumpalan kecil (Gambar 8.b), maka kedua benda tersebut akan mencapai tanah pada saat yang hampir sama. Udara berperan penting sebagai hambatan untuk benda-benda yang sangat ringan yang memiliki permukaan yang luas. Akan tetapi dalam banyak kondisi umumnya hambatan udara ini diabaikan.

Benda jatuh bebas memiliki percepatan yang disebabkan oleh gaya berat dan diberi simbol g , yang besarnya kira-kira 32 ft/s^2 , atau $9,8 \text{ m/s}^2$,

atau 980 cm/s^2 . Sehingga dalam membahas kasus-kasus benda jatuh bebas kita bisa menggunakan persamaan-persamaan GLBB dengan menggunakan nilai g sebagai a . Selain itu karena benda jatuh bebas memiliki kecepatan awal nol, maka variabel v_0 dapat diabaikan. Begitu pula dengan istilah x untuk jarak akan diganti dengan h karena gerak jatuh bebas bergerak searah sumbu y .



Gambar 3.11 Percobaan Gerak Jatuh Bebas

- Sebuah bola dan selembar kertas yang ringan dijatuhkan bersamaan
- Sama dengan (a) tapi kertasnya berbentuk gulungan

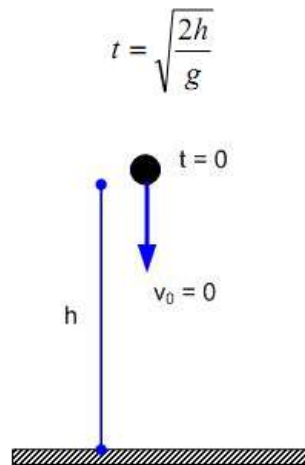
Berikut ini adalah beberapa persamaan GLBB yang telah disesuaikan dengan kasus gerak jatuh bebas:

$$v_t = gt$$

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

$$v_t^2 = 2gh$$

Dari persamaan (3.4) diperoleh persamaan:



Gambar 3.12 Gerak Jatuh Bebas

3.6. Gerak Vertikal ke Bawah

Jika sebuah benda dilemparkan dari ketinggian tertentu ke bawah dengan kecepatan awal tertentu ($v_0 \neq 0$), maka dapat dikatakan bahwa benda tersebut mengalami gerak vertikal ke bawah. Persamaan-persamaan gerak GLBB dapat digunakan untuk menyelesaikan kasus-kasus gerak vertikal ke bawah, dengan catatan $a = +g$, karena gerak benda dipengaruhi oleh percepatan gravitasi yang bernilai positif karena searah dengan arah gerak benda atau arah kecepatan awal. Oleh karena itu diperoleh beberapa persamaan sebagai berikut:

$$v_t = v_0 + gt$$

$$h = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2gh$$

3.7. Gerak Vertikal ke Atas

Gerak vertikal ke atas hampir sama dengan gerak jatuh bebas dan gerak vertikal ke bawah, akan tetapi pada kasus ini sebuah benda dilempar dari bawah ke atas dengan kecepatan awal tertentu ($v_0 \neq 0$). Persamaan-persamaan GLBB dapat digunakan untuk memecahkan kasus-kasus gerak vertikal ke atas, dengan nilai $a = -g$ karena berlawanan dengan arah gerak atau arah kecepatan awal. Berikut ini adalah beberapa persamaan yang dapat digunakan:

$$v_t = v_0 - gt$$

$$h = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$$

$$v_t^2 = v_0^2 - 2gh$$

3.8. Contoh Soal

1. Dalam PON yang diselenggarakan di Palembang seorang atlet berlari menempuh jarak 400 m dalam waktu 70 sekon, berapa kelajuan rata-ratanya.

Pembahasan:

$$\begin{aligned} \text{kelajuan rata-rata} &= \frac{\text{total jarak yang ditempuh}}{\text{total waktu yang diperlukan}} \\ &= 400 / 70 = 5,71 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2. Becak bergerak pada jalan lurus dan kedudukannya dapat dinyatakan $x = 3t^2 + t - 4$, x dalam meter dan t dalam sekon. Berapa kecepatan rata-rata becak antara $t = 1$ s dan $t = 3$ t

Pembahasan:

Hitung kedudukan becak pada $t = 1$ s dan $t = 3$ s, kemudian hitung kecepatan rata-ratanya. Persamaan kedudukan $x = 3t^2 + t - 4$

$$t = 1 \text{ s, } x = 3 \cdot 1^2 + 1 - 4 = 0 \text{ m}$$

$$t = 3 \text{ s, } x = 3 \cdot 3^2 + 3 - 4 = 26 \text{ m}$$

kecepatan rata-rata:
$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{26 - 0}{3 - 1} = 13 \text{ m}$$

3. Valentino Rossi dengan mengendarai motornya bergerak lurus beraturan dan memerlukan waktu 5 sekon untuk menempuh jarak 1,1 km. Berapa kecepatan motor yang dikendarainya?

Pembahasan:

Karena gerak lurus beraturan maka:

$$\Delta s = v \cdot t$$

$$\Delta s = 1,1 \text{ km} = 1100 \text{ m}$$

$$v = \Delta s / t$$

$$v = 1100 / 5 = 220 \text{ m/s}$$

4. Posisi seorang pelari sebagai fungsi waktu digambarkan sepanjang sumbu x dari suatu sistem koordinat, selama selang waktu 3s, posisi pelari berubah dari $x_1 = 50 \text{ m}$ menjadi $x_2 = 30,5 \text{ m}$ jika diukur dari pusat koordinat. Berapakah kecepatan rata-rata pelari tersebut?

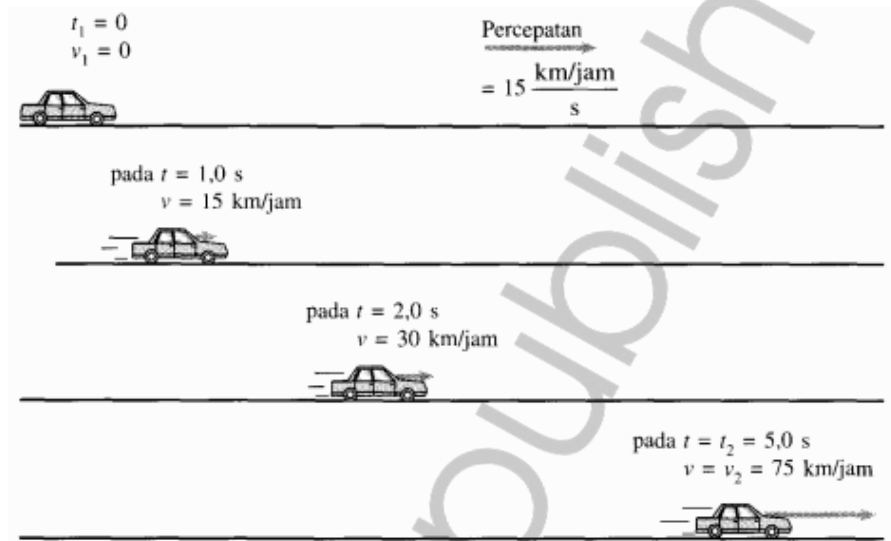
Pembahasan:

Kecepatan rata-rata pelari tersebut adalah

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{30,5 - 50}{3} = \frac{-19,5}{3} = -6,5 \text{ m/s}$$

Perpindahan dan kecepatan rata-rata bertanda negatif, berarti bahwa pelari tersebut bergerak ke arah kiri sepanjang sumbu x. Maka dapat dikatakan bahwa kecepatan rata-rata pelari tersebut adalah 6,5 m/s ke kiri.

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



Pembahasan:

Mobil tersebut mulai dari keadaan diam, berarti $v_1 = 0$.

Kecepatan akhir mobil adalah

$$\begin{aligned}
 v_2 &= 75 \text{ km / jam} \\
 &= \left(75 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \right) \left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \right) \left(\frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \right) \\
 &= 21 \text{ m / s}
 \end{aligned}$$

Maka percepatan rata-ratanya adalah:

$$\bar{a} = \frac{21 \text{ m / s} - 0 \text{ m / s}}{5 \text{ s}} = 4,2 \text{ m / s}^2$$

3.9. Rangkuman

1. Gerak adalah perubahan letak suatu partikel yang terus-menerus pada suatu lintasan tertentu.
2. Jarak adalah Panjang lintasan yang ditempuh suatu benda selama perpindahan posisi
3. Perpindahan adalah perubahan posisi suatu benda dari posisi awal ke posisi akhir.

4. Gerak Lurus Beraturan adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap.
5. Gerak Lurus Berubah Beraturan adalah gerak lurus yang percepatannya tidak berubah terhadap waktu.
6. Kelajuan adalah jarak yang ditempuh per satuan waktu.
7. Kecepatan adalah perpindahan suatu benda persatuan waktu dalam arah tertentu.
8. Percepatan adalah perbandingan antara perubahan kecepatan dengan selang waktu yang digunakan.

3.10. Soal-Soal Latihan

1. Berapakah selang waktu yang dibutuhkan sebuah mobil untuk menyebrangi persimpangan selebar 30 m setelah lampu lalu lintas berubah menjadi hijau, jika percepatannya dari keadaan diam adalah 2 m/s^2 secara konstan?
2. Kereta api bergerak pada rel lurus dengan kecepatan 40 m/s dapat direm hingga berhenti dalam waktu 60 detik. Berapakah jarak yang ditempuh kereta api saat mulai direm hingga berhenti sama sekali?
3. Sebuah bola dilepaskan dari ketinggian 70 m. Tentukanlah posisi dan kecepatan bola tersebut setelah 1s, 2s, dan 3s!
4. Seseorang melempar bola ke atas dengan kecepatan awal 15 m/s. Hitunglah:
 - a. Seberapa tinggi bola itu terlempar.
 - b. Berapa lama bola itu berada di udara sebelum kembali ke tangan orang tersebut.
5. Sebuah mobil dan sebuah truk bergerak dari keadaan diam pada saat yang sama, mula-mula mobil itu berada pada suatu jarak di belakang truk. Truk mempunyai percepatan konstan 4 m/s^2 dan percepatan mobil 6 m/s^2 . Mobil mendahului truk setelah truk bergerak sejauh 150 m.
 - a. Berapa waktu yang diperlukan mobil untuk menyusul truk itu?

- b. Berapa kecepatan masing-masing ketika keduanya berdampungan?
6. Sebuah kereta api dari keadaan diam bergerak dari sebuah stasiun dan selama 10 sekon percepatannya 4 m/s^2 . Kemudian kereta itu bergerak dengan kecepatan konstan selama 30 sekon, lalu diperlambat dengan 8 m/s^2 sampai berhenti di stasiun berikutnya. Berapa jarak total yang ditempuhnya?

3.11. Referensi

- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. *Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. *Physics for Engineers and Scientists: Edisi III*. USA: Norton & Co.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics: Edisi X*. USA: John Wiley.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics: Edisi X*. USA: Prentice Hall.

BAB 4.

HUKUM-HUKUM TENTANG GERAK

Benda-benda di alam raya bergerak, diam dan sebagainya tidak terjadi secara tiba-tiba. Tentu ada penyebab sehingga gerak tersebut terjadi dan proses gerak pun tidak terjadi secara bebas. Benda selalu bergerak mengikuti aturan yang sudah pasti, sebagaimana yang ditentukan oleh sang Pencipta. Benda yang dilepas dari ketinggian tertentu pasti bergerak jatuh kalau tidak ada dorongan lain yang membelokkan arah gerak tersebut. Benda yang dilempar dalam arah horizontal selalu bergerak melengkung ke bawah. Benda yang terbuat dari besi yang didekatkan ke magnet akan ditarik ke arah magnet tersebut. Bumi selalu bergerak mengelilingi matahari pada orbit yang sudah tertentu. Dengan kata lain gerak benda umumnya bersifat deterministik, artinya dapat diramalkan di mana lintasan yang akan diambil, ke mana arah kecepatan pada tiap titik di lintasan tersebut, dan berapa percepatan tiap saat.

Penerapan kaidah-kaidah atau ilmu-ilmu fisika dalam penyelesaian masalah-masalah sehari-hari khususnya tentang keteknikan maka tidak lepas dari hukum-hukum fisika tentang gerak. Oleh karena itu, pada bab ini akan dibahas tentang hukum-hukum yang digunakan dalam analisis gerak suatu benda. Pembahasan tersebut meliputi massa, gaya, hukum I Newton, hukum II Newton, dan hukum III Newton. Pembahasan tentang gaya terdiri dari gaya gravitasi, gaya normal, dan gaya gesek. Pada akhir bab ini, untuk membantu pemahaman mahasiswa tentang materi ini diberikan contoh soal, dan soal-soal latihan.

4.1. Massa

Massa adalah ukuran inersia suatu benda. Makin besar massa yang dimiliki sebuah benda, maka makin sulit mengubah keadaan geraknya. Lebih sulit menggerakkannya dari keadaan diam atau memberhentikannya

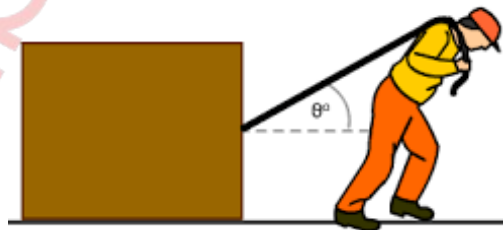
pada waktu sedang bergerak, bahkan sulit mengubah gerakannya untuk keluar dari lintasannya yang lurus. Sebuah truk misalnya, akan memiliki inersia yang lebih besar jika dibandingkan dengan sebuah mobil sedan, dan truk itu lebih sulit untuk dipercepat ataupun diperlambat gerakannya dibandingkan dengan mobil sedan tersebut. Dalam satuan SI, satuan massa adalah kilogram (kg).

Istilah massa dan berat merupakan dua istilah yang berbeda. Jika massa adalah jumlah zat dari suatu benda, maka berat adalah gaya, yaitu gaya gravitasi yang bekerja pada sebuah benda. Sebagai contoh misalnya sebuah benda di bawa ke Bulan. Maka benda tersebut akan mempunyai berat seperenam dari beratnya di bumi, karena gaya gravitasi di bulan lebih lemah, tetapi massa benda tersebut akan tetap sama. Benda tersebut akan tetap memiliki jumlah zat yang sama dan inersia yang sama.

4.2. Gaya

Jika kita mendorong atau menarik sebuah benda, maka dapat dikatakan bahwa kita melakukan gaya kepada benda tersebut. Tetapi gaya juga dapat dilakukan oleh benda-benda mati. Seperti pegas yang regang akan melakukan gaya kepada benda-benda yang dikaitkan ke ujung-ujungnya, atau sebuah lokomotif akan melakukan gaya kepada deretan gerbong-gerbong yang sedang ditariknya.

Sebuah gaya memiliki arah dan besar, sehingga gaya merupakan vektor yang mengikuti aturan-aturan penjumlahan vektor. Gaya dapat dinyatakan dengan sebuah garis yang bertanda panah di ujungnya sebagai arah dari gaya tersebut sedangkan panjang garis menyatakan besar gaya tersebut. Dalam satuan SI, satuan gaya adalah Newton (N) atau $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$.



Gambar 4.1 Gaya Tarik

4.2.1. Gaya Gravitasi

Benda-benda yang dijatuhkan di dekat permukaan bumi akan jatuh dengan percepatan yang sama yaitu sebesar percepatan gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2 = 9,8 \text{ N/kg}$ dalam satuan SI), jika hambatan udara dapat diabaikan. Gaya yang menyebabkan percepatan ini disebut dengan gaya gravitasi (F_G). Maka dapat dikatakan bahwa gaya gravitasi merupakan gaya yang dilakukan oleh bumi terhadap setiap benda yang berada di dekatnya.

Hukum gravitasi menyatakan bahwa gaya antara dua partikel yang mempunyai massa m_1 dan m_2 dan terpisah oleh jarak r adalah suatu gaya tarik menarik sepanjang garis yang menghubungkan kedua partikel tersebut dan mempunyai besar:

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \dots\dots\dots(4.1)$$

Di mana:

F_G = Gaya tarik-menarik antara kedua benda (N)

G = Tetapan gravitasi ($6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^{-2}$)

m_1, m_2 = Massa benda 1 (Kg)

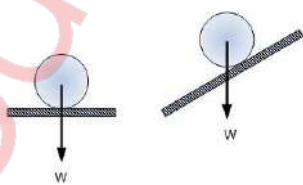
r = Jarak antara kedua benda (m)

Jika m_1 diasumsikan sebagai massa bumi (M) dan m_2 sebagai massa benda m yang berada di sekitar bumi dan memiliki jarak r dari titik pusat bumi, maka gaya tarik oleh bumi pada benda tersebut adalah:

$$W = F = G \frac{Mm}{r^2} \dots\dots\dots(4.2)$$

Gaya berat (W) tidak lain adalah gaya gravitasi yang bekerja antara bumi dengan benda. Arah gaya berat selalu ke bawah menuju pusat bumi (Gambar 4.2). Gaya berat pada sebuah benda besarnya:

$$W = m.g \dots\dots\dots(4.3)$$



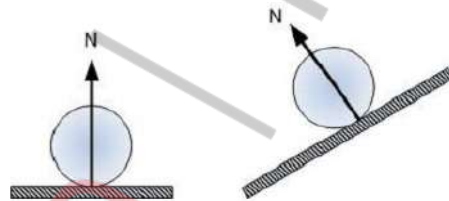
Gambar 4.2 Gaya Gravitasi

Sehingga percepatan gravitasi g dapat dituliskan sebagai:

$$g = G \frac{M}{r^2} \dots \dots \dots (4.4)$$

4.2.2. Gaya Normal

Gaya normal (N atau F_N) merupakan gaya yang timbul jika dua buah benda saling bersentuhan. Arah gaya normal selalu tegak lurus terhadap permukaan yang bersentuhan (bidang singgung) dengan benda tersebut (Gambar 4.3). Besar kecilnya gaya normal tergantung pada besar kecilnya gaya tekanan terhadap permukaan kontak (bidang singgung). Jadi jika tangan kita menekan permukaan sebuah meja dengan gaya tekan yang besar, maka gaya normal yang ditimbulkan akan besar. Sedangkan jika kita menekan dengan lembut, maka gaya normal yang ditimbulkan juga akan kecil.



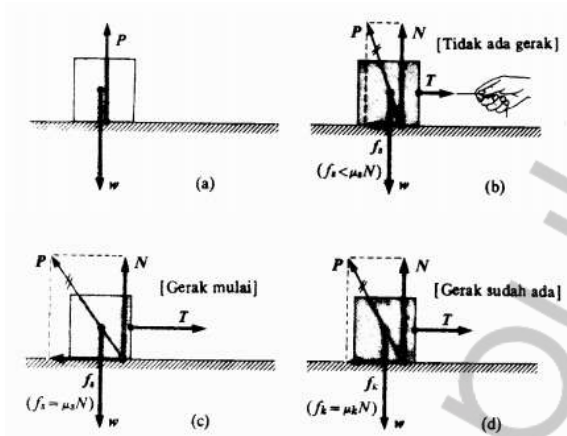
Gambar 4.3 Gaya Normal

4.2.3 Gaya Gesek

Sebuah benda yang diluncurkan di atas suatu permukaan rata horizontal, maka lajunya akan berkurang dan akhirnya berhenti. Jelas bahwa suatu gaya dalam arah horizontal bekerja pada benda tersebut, di mana arah gaya tersebut berlawanan dengan gerak benda. Gaya ini biasa disebut sebagai gaya gesek (f) yang bekerja pada benda tersebut dan disebabkan oleh permukaan itu.

Gaya gesek terjadi jika dua buah benda bergesekan, yaitu permukaan kedua benda tersebut saling bersinggungan pada waktu benda yang satu bergerak terhadap benda yang lainnya dan sejajar dengan permukaan yang saling bersinggungan tersebut. Arah gaya gesek selalu berlawanan arah dengan arah gerak dari benda yang bergerak (Gambar 4.4). Jadi jika sebuah balok bergerak dari kiri ke kanan di atas sebuah

lantai, maka sebuah gaya gesek dengan arah ke kiri akan bekerja pada balok tersebut.



Gambar 4.4 Gaya Gesek

Gaya gesek yang bekerja antara dua permukaan yang berada dalam keadaan diam relatif satu dengan lainnya disebut dengan gaya gesek statik (f_s). Gaya gesek statik maksimum adalah gaya terkecil yang menyebabkan benda bergerak. Untuk permukaan yang kering dan tidak diberi pelumas, diperoleh bahwa gaya gesek statik maksimum di antara dua permukaan tidak bergantung pada luas permukaan kontak yang saling bergesekan, tetapi sebanding dengan besarnya gaya normal di antara kedua benda yang saling bergesekan (Gambar 4.4.c).

$$f_s \leq \mu_s N \dots \dots \dots (4.5)$$

Di mana μ_s = koefisien gesek statik. Tanda sama dengan pada persamaan di atas berlaku jika f_s mencapai besar maksimum. Sekali benda mulai bergerak, gaya gesek yang bekerja akan berkurang besarnya sehingga untuk mempertahankan gerak lurus beraturan dibutuhkan gaya yang lebih kecil. Gaya yang bekerja di antara dua permukaan yang saling bergerak relatif disebut gaya gesek kinetik (f_k). Untuk permukaan yang kering dan tidak diberi pelumas, diperoleh bahwa gaya gesek kinetik tidak bergantung pada luas permukaan kontak atau pada kecepatan relatif antara

kedua permukaan yang saling bersinggungan, tetapi sebanding dengan besarnya gaya normal di antara kedua benda yang saling bergesekan (Gambar 4.4.d). Di mana μ_k = koefisien gesek kinetik.

$$f_k = \mu_k N \dots\dots\dots (4.6)$$

Pada Gambar 4.4.a tampak sebuah balok terletak diam di atas permukaan horizontal dalam keadaan setimbang di bawah pengaruh berat W dan gaya P ke atas yang dilakukan permukaan terhadapnya. Jika seutas tali diikatkan pada salah satu sisi balok (seperti pada Gambar 4.4.b), lalu diberi gaya pada tali itu tetapi tidak terlalu besar sehingga balok masih tetap diam. Gaya P yang dilakukan oleh permukaan terhadap balok miring ke kiri. Karena gaya P , T dan W harus konkuren, maka komponen gaya P yang sejajar dengan permukaan disebut dengan gaya gesek statis (f_s) dan komponen yang tegak lurus terhadap permukaan disebut gaya normal (N) yang dilakukan permukaan kepada balok (Gambar 4.4.b). Berdasarkan syarat kesetimbangan, maka f_s sama dengan T dan N sama dengan W . Jika T diperbesar terus, maka balok akan mulai bergerak pada suatu nilai T tertentu dan dengan kata lain f_s berada pada nilai maksimum (Gambar 4.4.c). Jika T diperbesar lagi sehingga balok tidak lagi setimbang, tetapi sudah bergerak. Maka gaya gesek mulai berkurang (Gambar 4.4.b).

Konstanta μ_s dan μ_k adalah besaran tanpa satuan. Biasanya $\mu_s > \mu_k$ untuk dua permukaan tertentu. Nilai kedua koefisien itu bergantung pada sifat kedua permukaan gesek. Semakin kasar suatu permukaan, maka nilai koefisiennya juga semakin besar dan nilainya akan kecil jika permukaannya licin. Biasanya nilainya lebih kecil dari 1, meskipun mungkin lebih besar dari satu.

Tabel 4.1 Koefisien Gesek

Bahan	μ_s	μ_k
Baja di atas baja	0,74	0,57
Aluminium di atas baja	0,61	0,47
Tembaga di atas baja	0,53	0,36
Kuningan di atas baja	0,51	0,44
Seng di atas besi tuang	0,85	0,21
Tembaga di atas besi tuang	1,05	0,29
Gelas di atas besi tuang	0,04	0,40

Bahan	μ_s	μ_k
Tembaga di atas gelas	0,68	0,53
Teflon di atas teflon	0,04	0,04
Teflon di atas baja	0,04	0,04

4.3. Hukum I Newton

Sir Isaac Newton dilahirkan di Woolstrophe Inggris, pada tanggal 25 Desember 1642. Beliau adalah salah satu ilmuwan yang paling hebat dalam sejarah. Newton merumuskan konsep dasar dan hukum mekanika, mengembangkan teori kedua kalkulus diferensial dan integral, dan teori gravitasi. Beliau juga menyusun teori tentang gaya berat, pembiasan cahaya. Sebagai kelanjutan karyanya dalam hal cahaya, ia merancang teleskop pantulan yang pertama. Newton mampu menjelaskan gerak planet, aliran pasang surut, dan berbagai hal tentang gerak Bumi dan Bulan. Ia menyusun teorinya dalam buku *Principia* yang merupakan salah satu buku ilmu pengetahuan paling hebat yang pernah ada. Berikut ini beberapa teori yang dikemukakannya. Pada saat mobil dijalankan agak cepat pertama kali, dan tidak disadari akan terdorong ke belakang. Pada saat mobil mendadak berhenti maka akan terdorong ke depan. Terdorongnya ke belakang pada saat mobil dijalankan agak cepat pada saat awal dan terdorongnya ke depan pada saat mobil mendadak berhenti ini menunjukkan bahwa hal tersebut dilakukan untuk tetap berusaha mempertahankan posisi semula. Sifat suatu benda untuk mempertahankan keadaan semula itu disebut sifat kelembaman suatu benda. Sifat kelembaman suatu benda ini oleh Newton disebut sebagai Hukum I Newton.

Hukum pertama Newton menyatakan bahwa “setiap benda akan tetap berada pada keadaan diam atau bergerak lurus dengan kecepatan tetap, kecuali jika benda itu dipaksa untuk mengubah keadaan tersebut oleh gaya-gaya yang dikerjakan padanya (diberi gaya total yang tidak nol)”. Atau, “Bila resultan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol atau tidak ada gaya yang bekerja pada benda, maka benda yang diam akan tetap diam atau benda yang bergerak lurus beraturan akan tetap bergerak lurus beraturan”. Hukum I Newton disebut juga sebagai Hukum Inersia

(Kelembaman), yaitu sifat kecenderungan untuk mempertahankan keadaan suatu benda.

Misalnya untuk mendorong sebuah benda melintasi meja dengan kecepatan tetap, dibutuhkan gaya dorong hanya untuk mengimbangi gaya gesek yang terjadi. Jika benda tersebut bergerak dengan kecepatan konstan, maka gaya dorong akan sama besarnya dengan gaya gesek. Akan tetapi kedua gaya itu memiliki arah yang berbeda, sehingga gaya total pada benda (jumlah vektor dari kedua gaya tersebut) adalah nol. Makin halus permukaan benda dan meja, maka makin kecil gaya gesekan yang terjadi sehingga makin kecil pula gaya dorong yang harus dikerjakan agar benda dapat bergerak tetap. Maka hukum pertama Newton dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\sum F = 0 \dots\dots\dots (4.7)$$

Artinya total gaya-gaya yang diproyeksikan pada setiap sumbu koordinat akan sama dengan nol.

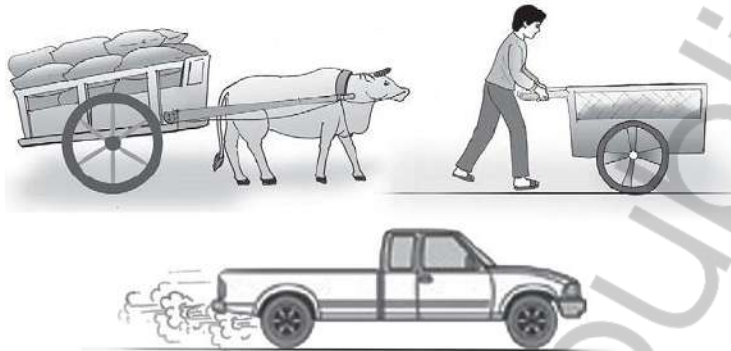
$$\sum F_x = \sum F_y = \sum F_z = 0 \dots\dots\dots (4.8)$$

4.4. Hukum II Newton

Dalam kehidupan sehari-hari kita melihat sebuah gerobak ditarik oleh seekor sapi, seseorang mendorong kereta sampah, dan mobil bergerak makin lama makin cepat.

Suatu gaya total yang diberikan pada sebuah benda mungkin akan menyebabkan kecepatannya bertambah. Atau jika gaya total itu arahnya berlawanan arah dengan arah gerak benda, maka gaya tersebut akan memperkecil kecepatan benda. Karena perubahan kecepatan merupakan percepatan, sehingga dapat dikatakan bahwa gaya total menyebabkan percepatan. Tetapi percepatan juga bergantung pada massa benda. Misalnya saja jika kita mendorong gerobak yang kosong dengan gaya yang sama ketika kita mendorong gerobak yang penuh, maka kita akan menemukan bahwa gerobak yang penuh mempunyai percepatan yang lebih lambat. Jadi makin besar massa makin kecil percepatan, meskipun gayanya sama. Dari fenomena-fenomena di atas akan muncul suatu pertanyaan bagaimana hubungan antara kecepatan, percepatan terhadap gaya sebagai

penyebab adanya gerakan-gerakan tersebut? Pertanyaan ini dijelaskan oleh Newton yang dikenal sebagai Hukum II Newton.



Gambar 4.5 Jenis-Jenis Tenaga Penggerak

Hukum kedua Newton menyatakan bahwa “percepatan sebuah benda berbanding lurus dengan gaya total yang bekerja padanya dan berbanding terbalik dengan massanya. Arah percepatan sama dengan arah gaya total yang bekerja padanya.” Bentuk persamaannya adalah:

$$\sum F = m.a \dots\dots\dots 4.9)$$

Artinya $\sum F \neq 0$ dan gaya merupakan sebuah aksi yang bisa mempercepat sebuah benda. Setiap gaya F adalah sebuah vektor yang memiliki besar dan arah. Sehingga persamaan (4.8) dapat ditulis dalam bentuk komponen-komponen vektor sebagai berikut:

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

4.5. Hukum III Newton

Kalau kita meletakkan sebuah buku di atas meja dalam kondisi tertentu buku tersebut diam di atas meja. Buku mempunyai massa dan gaya berat. Jika buku diam tentu ada sesuatu yang mengimbangi gaya berat buku tersebut. Gaya apa yang mengimbangi gaya berat buku tersebut? Masalah ini oleh Newton dijelaskan dalam Hukum III Newton. Apabila sebuah benda pertama mengerjakan gaya pada benda kedua, maka

benda kedua mengerjakan gaya pada benda pertama sama besar dan arahnya berlawanan dengan arah gaya pada benda pertama tersebut.

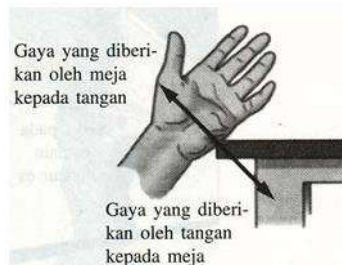


Gambar 4.6 Gaya Aksi Reaksi

Hukum ke tiga Newton menyatakan bahwa “ketika suatu benda memberikan gaya pada benda kedua, maka benda kedua tersebut memberikan gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah terhadap benda yang pertama.” Bentuk persamaannya yaitu:

$$\sum F_{AKSI} = - \sum F_{REAKSI} \dots\dots\dots (4.10)$$

Artinya untuk setiap aksi ada reaksi yang sama dan berlawanan arah. Tetapi perlu dipahami bahwa gaya aksi dan gaya reaksi bekerja pada benda yang berbeda. Gambar 4.7 menunjukkan jika tangan kita mendorong ujung meja (vektor gaya ke arah kanan bawah), maka meja mendorong tangan kita kembali (vektor ini digambarkan dengan arah yang berlawanan, untuk mengingatkan kita bahwa gaya ini bekerja pada benda yang berbeda).

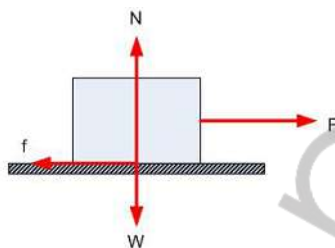


Gambar 4.7 Gaya Aksi Reaksi Tangan-Meja

4.6. Contoh Soal

1. Misal sebuah balok di atas permukaan horizontal kasar, ditarik oleh sebuah gaya F ke kanan. Maka gaya-gaya yang bekerja pada balok itu seperti yang ditunjukkan oleh gambar. Berapakah besar gaya F dan N pada saat balok tersebut belum bergerak dan pada saat telah bergerak dengan percepatan tertentu?

Pembahasan:



Pada saat balok tak bergerak atau belum bergerak:

$$\sum F_x = 0$$

$$F - f_s = 0$$

$$F - \mu_s N = 0$$

$$F = \mu_s N$$

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$N = m \cdot g$$

Pada saat balok sudah bergerak dengan percepatan tertentu:

$$\sum F_x = ma$$

$$F - f_k = ma$$

$$F - \mu_k N = ma$$

$$F = ma + \mu_k N$$

$$\sum F_y = 0$$

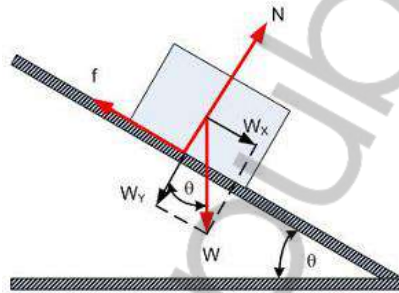
$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$N = m \cdot g$$

2. Misal sebuah balok meluncur ke bawah di atas permukaan horizontal kasar yang miring dan kemiringannya membentuk sudut θ dengan horizontal. Bagaimanakah analisis gaya-gaya yang bekerja pada balok itu?

Pembahasan:



Gaya-gaya yang bekerja pada balok dapat dilihat pada gambar di atas. Pada gambar tidak tampak gaya tarik atau gaya dorong F yang menyebabkan balok bergerak, karena balok diketahui meluncur begitu saja tanpa ada gaya tarik atau gaya dorong yang mempengaruhinya. Dan hasil analisis gaya-gaya yang bekerja pada balok adalah sebagai berikut:

Jika bidang miring tersebut diketahui kasar, maka komponen gaya pada sumbu x adalah sebagai berikut:

$$\sum F_x = ma \Rightarrow (a = a_x)$$

$$W_x - f = ma$$

$$W \sin \theta = ma + f$$

$$W = \frac{ma + f}{\sin \theta}$$

Komponen gaya pada sumbu y adalah:

$$\sum F_y = 0$$

$$N - W_y = 0$$

$$N = W_y$$

$$N = W \cos \theta$$

3. Misal dua buah balok saling diikat dengan seutas tali kemudian digantungkan pada sebuah katrol seperti yang tampak pada gambar. Jika diasumsikan $m_1 =$ massa balok 1 dan $m_2 =$ massa balok dua di mana diketahui bahwa $m_1 < m_2$, sehingga sistem tersebut bergerak seperti yang ditunjukkan oleh gambar. Jika massa katrol dan massa tali diabaikan, serta tegangan tali pada katrol juga diabaikan, bagaimanakah analisis sistem tersebut? Jika diasumsikan bahwa gaya-gaya dan gerak yang berada pada arah sumbu y positif akan bertanda positif pula, dan berlaku sebaliknya untuk yang berada pada sumbu y negatif.

Pembahasan:

Maka analisis gaya-gaya pada sistem tersebut adalah sebagai berikut:

Balok 1 :

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = ma$$

$$T_1 - W_1 = m_1 a$$

$$T_1 - m_1 g = m_1 a$$

$$T_1 = m_1 a + m_1 g$$

$$T_1 = m_1 (a + g)$$

Balok 2 :

$$\sum F_x = 0$$

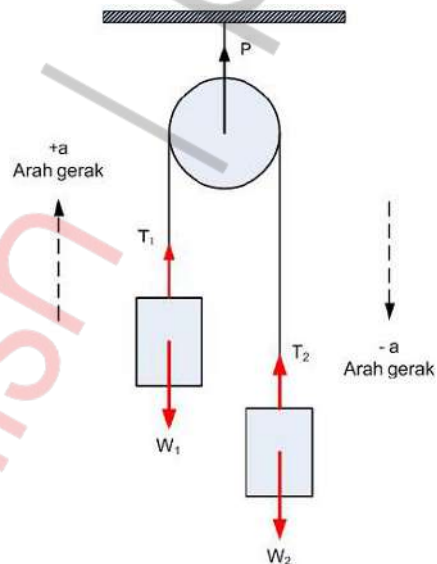
$$\sum F_y = -ma$$

$$T_2 - W_2 = -m_2 a$$

$$T_2 - m_2 g = -m_2 a$$

$$T_2 = -m_2 a + m_2 g$$

$$T_2 = m_2 (g - a)$$



Jika massa katrol diabaikan ($m_{\text{katrol}} \approx 0$), maka $T_1 = T_2 = T$, sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= T_2 \\
 m_1(a + g) &= m_2(g - a) \\
 m_1a + m_2a &= m_2g - m_1g \\
 a &= \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}g
 \end{aligned}$$

Percepatan pada tali yang menghubungkan kedua buah balok adalah sama, jika diasumsikan bahwa tali tersebut dalam keadaan tegang. Substitusi persamaan-persamaan di atas, sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 T_2 = T &= m_2g - m_2a \\
 &= m_2g - m_2\left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2}\right)g \\
 &= m_2g - \left(\frac{m_2^2g}{m_1 + m_2}\right) + \left(\frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}g\right) \\
 &= \left(m_2 - \frac{m_2^2}{m_1 + m_2} + \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}\right)g \\
 &= \left(\frac{m_2(m_1 + m_2)}{m_1 + m_2} - \frac{m_2^2}{m_1 + m_2} + \frac{m_1m_2}{m_1 + m_2}\right)g \\
 T &= \frac{2m_1m_2}{m_1 + m_2}g
 \end{aligned}$$

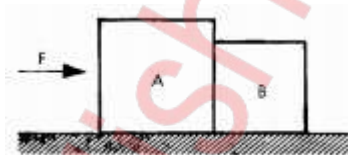
4.7. Rangkuman

1. Massa adalah ukuran inersia suatu benda. Makin besar massa yang dimiliki sebuah benda, maka makin sulit mengubah keadaan geraknya. Lebih sulit menggerakkannya dari keadaan diam atau memberhentikannya pada waktu sedang bergerak, bahkan sulit mengubah geraknya untuk keluar dari lintasannya yang lurus.
2. Gaya normal (N atau F_N) merupakan gaya yang timbul jika dua buah benda saling bersentuhan. Arah gaya normal selalu tegak lurus terhadap permukaan yang bersentuhan (bidang singgung) dengan benda tersebut.

3. Gaya gesek (f) adalah gaya yang bekerja pada benda yang disebabkan oleh permukaan itu, dan arahnya berlawanan dengan arah gerakan benda.
4. Hukum I Newton menyatakan bahwa Bila resultan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol atau tidak ada gaya yang bekerja pada benda, maka benda yang diam akan tetap diam atau benda yang bergerak lurus beraturan akan tetap bergerak lurus beraturan.
5. Hukum II Newton menyatakan bahwa percepatan suatu benda sebanding dengan gaya yang bekerja pada benda tersebut.

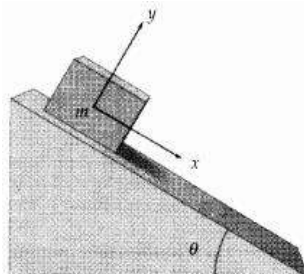
4.8. Soal-Soal Latihan

1. Dua buah balok bergerak di atas lantai horizontal seperti pada gambar. Koefisien gesekan lantai adalah 0,5. Balok A bermassa 2m dan balok B bermassa m. Kedua balok tersebut didorong dengan suatu gaya F. Bila diketahui dalam waktu 10 sekon kecepatan kedua balok ini mencapai 20 m/s^2 . Tentukan:
 - (a) Nilai F
 - (b) Gaya yang digunakan untuk mendorong balok B.



2. Sebuah balok beratnya 65 N, didorong ke atas sepanjang bidang yang miringnya 37° oleh gaya horizontal sebesar 100 N. Koefisien gesekan luncur 0,05. Andaikan semua gaya bekerja pada pusat balok. Tentukanlah:
 - (a) Percepatannya.
 - (b) Kecepatannya setelah menempuh jarak 20 m sepanjang bidang miring itu.
 - (c) Gaya normal yang dilakukan oleh bidang itu.

3. Berapakah gaya horizontal konstan yang diperlukan untuk menarik sebuah balok 16 N sepanjang permukaan horizontal dengan percepatan 4 m/s^2 jika koefisien gesekan luncur antara balok dan permukaan 0,5?
4. Jika koefisien gesekan kinetik antara peti 35 kg dan lantai adalah 0,3, berapakah gaya horizontal yang dibutuhkan untuk memindahkan peti dengan kecepatan tetap melintasi lantai? Berapa gaya horizontal yang dibutuhkan jika μ_k adalah nol?
5. Gaya 40 N dibutuhkan untuk mulai menggerakkan kotak 5 kg melintasi lantai beton horizontal.
 - (a) Berapa koefisien gesekan statik antara kotak dan lantai?
 - (b) Jika gaya 40 N tersebut terus diberikan, kotak dipercepat sebesar $0,7 \text{ m/s}^2$. Berapa koefisien gesek kinetik?
6. Sebuah kotak 18 kg dilepaskan pada bidang miring 37° dan menuruni bidang itu dengan percepatan $0,27 \text{ m/s}^2$. Hitung gaya gesekan yang mengganggu gerakannya. Berapa besar koefisien gesekan?
7. Balok yang ditunjukkan gambar berada pada bidang yang licin dengan sudut kemiringan 22° terhadap arah horizontal.
 - (a) Tentukan percepatan balok pada waktu meluncur turun.
 - (b) Jika balok itu mulai dari keadaan diam sejauh 9,1 m dari kaki bidang, berapa kecepatannya ketika mencapai bagian bawah bidang miring tersebut? Abaikan gesekan.



4.9. Referensi

- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. *Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Ewwn, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics: Edisi X*. USA: Prentice Hall.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. *Physics for Engineers and Scientists: Edisi III*. USA: Norton & Co.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics: Edisi X*. USA: John Weley.

BAB 5.

ENERGI DAN USAHA

Pada saat kendaraan melakukan perjalanan, maka lama kelamaan bahan bakar akan habis. Bahan bakar tersebut mengandung energi kimia kemudian diubah menjadi energi gerak (mekanik) dalam mesin (silinder), kemudian energi gerak tersebut digunakan oleh mesin kendaraan untuk melakukan kerja menyebabkan posisi kendaraan berubah. Perubahan posisi kendaraan tersebut karena mesin melakukan gaya. Timbulnya gaya dan perpindahan akan mengurangi energi yang terkandung dalam bahan bakar. Energi yang terkandung dalam bahan bakar merupakan besaran skalar dan hanya menyatakan jumlah (kuantitas). Sebaliknya, gaya dan perpindahan merupakan besaran yang bersifat dinamik, memiliki besar dan arah. Hal ini menunjukkan bahwa energi yang merupakan besaran statik memiliki keterkaitan dengan besaran dinamik. Sehingga perubahan besaran statik (perubahan energi) menghasilkan perubahan besaran dinamik.

Dalam bab ini akan dibahas tentang usaha, energi, hukum kekekalan energi, dan daya. Seperti pada bab-bab sebelumnya, pembahasan ini dilengkapi dengan beberapa contoh soal, dan soal latihan sebagai tugas mandiri bagi mahasiswa untuk mengetahui tingkat pemahaman mahasiswa tentang materi yang telah dipelajari.

5.1. Energi

Energi sering diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Misalnya, seseorang yang memiliki energi maka orang tersebut dapat melakukan kerja, demikian pula sebaliknya. Energi dapat berupa energi potensial, energi kinetik, energi panas, dan sebagainya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.1. Sedangkan Gambar 5.2 memperlihatkan seorang pesepeda menggunakan energi yang dimiliki yang bersumber dari

makanan atau minuman, pesawat udara yang mengangkasa menggunakan energi bahan bakar, kincir atau turbin angin mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang selanjutnya bisa diubah menjadi energi listrik, kemudian tiang-tiang listrik tegangan tinggi mendistribusikan energi listrik ke konsumen-konsumen. Jika suatu benda melakukan kerja, maka benda tersebut akan kehilangan energi yang sama dengan kerja yang dilakukannya. Hal ini bisa dilukiskan dalam bentuk persamaan:

$$\Sigma E_{\text{diberikan}} = \Sigma E_{\text{dilakukan}} \dots\dots\dots (5.1)$$



Gambar 5.1 Ilustrasi Bentuk-Bentuk Energi



Gambar 5.2 Sumber Energi dan Pemanfaat Energi

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

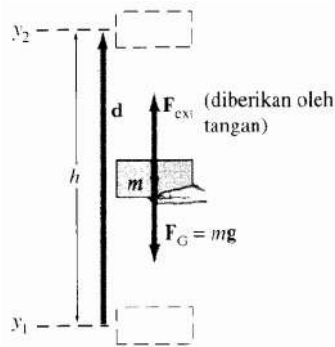
Selain dapat berubah bentuk, energi juga dapat dipindahkan dari satu benda ke benda lain. Perpindahan energi ini disebut transfer energi atau konversi energi. Misalnya kompor di dapur tadi, energi pembakaran yang ada dalam api dipindahkan ke air yang ada di dalam panci. Perpindahan energi seperti ini yang terjadi semata-mata karena perbedaan temperatur, disebut kalor. Energi juga dapat dipindahkan dari suatu sistem ke sistem yang lain melalui gaya yang menyebabkan perubahan posisi benda. Perpindahan energi semacam ini dikenal sebagai usaha.

Energi sebagai kebutuhan manusia telah disiapkan oleh sang Pencipta. Manusia tidak memiliki kemampuan untuk memusnahkan atau menciptakan energi. Manusia hanya mampu melakukan perubahan bentuk energi sebagaimana yang telah dijelaskan di atas. Oleh karena itu dikenal hukum kekekalan energi yaitu "*energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan tetapi dapat berubah bentuk*".

Energi merupakan besaran turunan yang memiliki satuan joule (J) atau Newton Meter (Nm).

5.2.1. Energi Potensial

Energi potensial adalah energi yang dimiliki atau yang tersimpan dalam benda karena kedudukan atau posisi benda tersebut. Berbagai jenis energi potensial dapat didefinisikan, dan setiap jenis dihubungkan dengan suatu gaya tertentu. Misalnya pegas pada jam yang diputar merupakan contoh energi potensial pegas. Pegas jam mendapatkan energi potensialnya karena dilakukan usaha padanya oleh orang yang memutar jam tersebut. Sementara pegas memutar balik, sehingga ia memberikan gaya dan melakukan usaha untuk memutar jarum jam.



Gambar 5.3 Seseorang Memberikan Gaya ke Atas untuk Mengangkat Batu Bata

Contoh lain ialah energi potensial gravitasi. Sebuah batu bata yang dipegang tinggi di udara mempunyai energi potensial karena posisi relatifnya terhadap bumi. Batu bata itu mempunyai kemampuan untuk melakukan usaha karena jika dilepaskan akan jatuh ke tanah karena adanya gaya gravitasi sehingga dapat melakukan usaha, katakanlah pada sebuah tiang yang dipancangkan dan menanamnya ke tanah seperti pada Gambar 5.3.

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

$$W_{ext} = F_{ext} \cdot d \cdot \cos 0^\circ = m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot (y_2 - y_1) \dots\dots\dots(5.2)$$

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

$$W_G = F_G \cdot d \cdot \cos \theta^\circ = m \cdot g \cdot h \cdot \cos 180^\circ = -m \cdot g \cdot h = -m \cdot g \cdot (y_2 - y_1) \dots\dots(5.3)$$

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

$$v^2 = v_0^2 + 2g \cdot h = 2 \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (5.4)$$

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 bisa 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:

$$E_p = m \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (5.5)$$

Di mana:

E_p = energi potensial (J)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h = tinggi/posisi benda dari acuan tertentu misalnya tanah (m)

Sebagaimana persamaan 5.5 di atas maka disimpulkan bahwa semakin tinggi suatu benda di atas tanah maka makin besar pula energi potensial yang dimilikinya.

$$W_{ext} = m \cdot g \cdot y_2 - m \cdot g \cdot y_1 = E_{p2} - E_{p1} = \Delta E_p \dots\dots\dots (5.6)$$

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

$$W_G = -m \cdot g (y_2 - y_1) = -\Delta E_p \dots\dots\dots (5.7)$$

Artinya usaha yang dilakukan 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.

5.2.2. Energi Kinetik

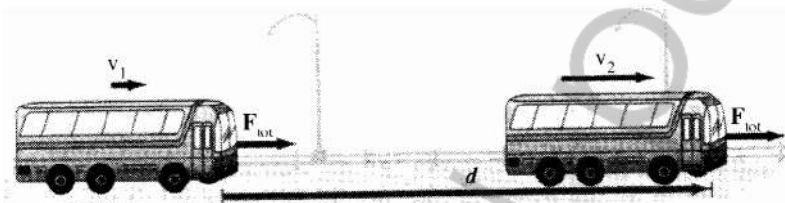
Sebuah benda yang sedang bergerak memiliki kemampuan untuk melakukan usaha maka dapat dikatakan mempunyai energi. Energi gerak disebut dengan energi kinetik yang berasal dari bahasa Yunani "*kinetos*"

yang berarti gerak. Jadi, energi kinetik merupakan energi yang dimiliki oleh benda karena geraknya atau kecepatannya. Jadi setiap benda yang bergerak mempunyai energi kinetik. Besarnya energi kinetik suatu benda ialah:

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \dots\dots\dots(5.8)$$

Di mana:

- E_K = energi kinetik (J)
- m = massa benda (kg)
- v = kecepatan benda (m/s)



Gambar 5.4 Gaya Total Mempercepat Bis

Energi kinetik yang dimaksud persamaan 5.8 merupakan energi kinetik translasi, untuk membedakan dari energi kinetik rotasi. Misalnya sebuah mobil yang bermassa m sedang bergerak pada garis lurus dengan kecepatan awal v_1 . Untuk mempercepat mobil tersebut secara beraturan hingga kecepatannya menjadi v_2 , maka diberikan padanya suatu gaya total konstan (F_{tot}) dengan arah yang sejajar dengan arah perpindahan mobil sejauh d seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.4. Maka energi kinetik yang dilakukan mobil tersebut ialah:

$$W_{tot} = F_{tot} \cdot d = m \cdot a \cdot d$$

$$E_K = W_{tot} = m \cdot a \cdot d$$

$$E_K = m \cdot \left[\frac{v_2^2 - v_1^2}{2d} \right] \cdot d$$

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 \dots\dots\dots(5.9)$$

Persamaan 5.9 di atas merupakan persamaan untuk gerak satu dimensi dan berlaku juga untuk gerak translasi tiga dimensi, bahkan untuk gaya yang tidak beraturan. Persamaan (5.9) dikenal sebagai teorema usaha-energi kinetik, yang dapat ditulis kembali menjadi persamaan:

$$W_{tot} = E_{K2} - E_{K1}$$

$$W_{tot} = \Delta E_K \dots\dots\dots (5.10)$$

Di mana E_{K1} adalah energi kinetik awal, dan E_{K2} adalah energi kinetik akhir. Dan persamaan (5.10) menunjukkan 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 yaitu 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 kinetik benda 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.

5.2. Usaha

Usaha (W) yang bisa juga disebut sebagai “kerja” dideskripsikan sebagai “perubahan yang terjadi pada benda yang diberikan gaya sehingga benda tersebut mengalami perubahan posisi atau bergerak dalam jarak tertentu”. Usaha yang dilakukan oleh gaya yang konstan (besar dan arah) pada sebuah benda, didefinisikan sebagai hasil perkalian antara gaya dan perpindahan di mana arah gaya searah dengan perubahan yang terjadi, sebagaimana pada persamaan berikut:

$$W = F_x \cdot S \dots\dots\dots (5.11)$$

Di mana F_x merupakan komponen gaya F pada arah horizontal (sumbu x) yang konstan dan sejajar dengan arah perpindahan S (Gambar 5.5) sehingga persamaan di atas menjadi:

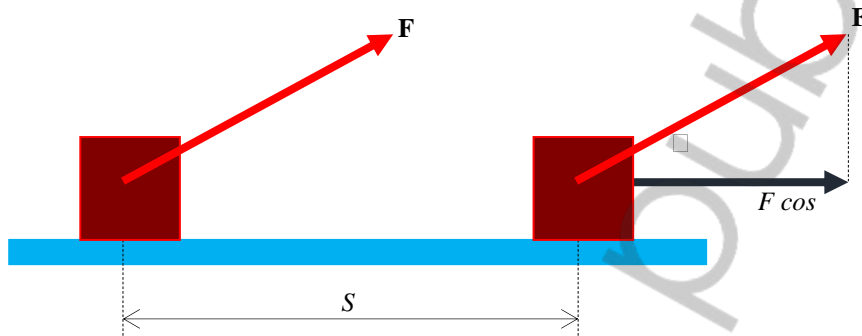
$$W = F \cos \theta \cdot S \dots\dots\dots(5.12)$$

Di mana:

F = besar gaya konstan (N)

θ = sudut antara arah gaya dan perpindahan

S = perpindahan benda (m)



Gambar 5.5 Sebuah Peti Ditarik dengan Gaya F Sepanjang S di Atas Permukaan Datar

Satuan usaha dalam sistem mks adalah Nm atau Joule. Di mana $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$. Sedangkan dalam sistem cgs, satuannya erg di mana $1 \text{ erg} = 1 \text{ dyne.cm}$. Usaha yang dilakukan oleh sebuah gaya didefinisikan sebagai hasil kali komponen gaya pada arah pergeseran dengan panjang pergeseran benda. Seseorang memegang benda seperti pada Gambar 5.6, di mana berat dalam keadaan diam (tidak berpindah posisi), maka dapat dikatakan bahwa orang tersebut tidak melakukan usaha padanya. Sebuah gaya memang diberikan, tetapi tidak terjadi perpindahan ($d = 0$) sehingga $W = 0$. Orang tersebut juga tidak melakukan usaha pada benda jika orang itu membawanya sementara dia berjalan horizontal melintasi lantai dengan kecepatan konstan (Gambar 5.6). Tidak ada gaya horizontal yang dibutuhkan untuk memindahkan tas belanja dengan kecepatan konstan. Meskipun diberikan gaya F ke atas pada tas tersebut yang sama dengan beratnya. Tetapi gaya ke atas F tegak lurus ($\theta = 90^\circ$) terhadap gerak horizontal dan dengan demikian tidak ada hubungannya dengan gerak. Artinya, gaya ke atas F tidak melakukan usaha ($W = 0$) karena $\cos 90^\circ = 0$.

Jadi ketika suatu gaya tertentu bekerja tegak lurus terhadap gerak, tidak ada usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut.



Gambar 5.6 Usaha yang Dilakukan pada Tas

Nilai usaha juga bisa bertanda negatif, hal ini berarti usaha yang dilakukan oleh gaya yang melawan perpindahan. Misalnya usaha yang dilakukan oleh gaya pengereman, usaha yang dilakukan oleh gaya gesekan permukaan benda, dan usaha yang dilakukan gaya berat terhadap benda yang bergerak ke atas. Karena usaha termasuk besaran skalar, maka usaha yang dilakukan oleh berbagai macam gaya yang bekerja pada suatu benda diperoleh dengan cara menjumlahkan secara aljabar biasa.

Kerja dapat bernilai positif dan negatif? Kerja yang bernilai positif memiliki makna bahwa kerja tersebut menambah energi benda. Ini terjadi jika proyeksi vektor gaya pada garis perpindahan memiliki arah yang sama dengan perpindahan ($\theta < 90^\circ$). Contoh spesifik kasus ini adalah gaya dan perpindahan yang memiliki arah sama. Kerja yang bernilai negatif bermakna bahwa kerja tersebut mengurangi energi benda. Ini terjadi jika proyeksi vektor gaya pada garis perpindahan memiliki arah berlawanan dengan perpindahan ($\theta > 90^\circ$). Contoh spesifik kasus ini adalah gaya dan perpindahan yang memiliki arah berlawanan. Contoh kerja yang bernilai negatif seperti kerja yang dilakukan gaya gesekan. Kerja yang dilakukan gaya gesekan menyebabkan energi gerak benda berkurang dan akhirnya berhenti.

5.3. Hukum Kekekalan Energi

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

$$E_M = E_K + E_P \dots\dots\dots(5.13)$$

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 pada proses apapun. Energi tersebut tetap konstan Atau dapat dinyatakan dalam persamaan:

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

Persamaan di atas dapat dituliskan sebagai:

$$E_{K1} + E_{P1} = E_{K2} + E_{P2}$$

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 \dots\dots\dots(5.14)$$

5.4. Daya

Daya didefinisikan sebagai kerja per satuan waktu atau kecepatan melakukan usaha atau kecepatan perubahan energi. Jadi daya adalah kemampuan melakukan usaha atau kerja dalam selang waktu tertentu, dan dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$$P = \frac{W}{t} \dots\dots\dots(5.15)$$

Di mana:

P = daya (Watt atau J/s; dengan $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$)

W = usaha (J)

t = waktu (s)

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 bisa diubah menjadi energi mekanik per satuan waktu. Karena usaha sama dengan gaya perpindahan ($W = F.s$), maka persamaan di atas dapat ditulis sebagai:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot v \dots\dots\dots (5.16)$$

Di mana:

F = gaya (N)

v = kecepatan (m/s)

Persamaan 5.16 di atas menunjukkan bahwa daya yang dikeluarkan sebuah kendaraan dipengaruhi oleh gaya dorong dan kecepatan kendaraan tersebut. Sedangkan gaya dorong merupakan hasil pembakaran bahan bakar dalam silinder. Artinya semakin banyak silinder suatu kendaraan maka semakin besar gaya yang dimiliki. Hubungan antara daya dan energi diperlihatkan pada persamaan berikut:

$$P \cdot t = W \dots\dots\dots (5.17)$$

Di mana:

P = daya (w)

T = waktu (s)

W = kerja atau energi (J)

Daya sama dengan energi per waktu atau *watt* sama dengan *joule per detik*:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$

Berdasarkan persamaan 5.17, *daya waktu* sama dengan *energi* atau *watt detik* sama dengan *joule*:

$$1 \text{ W} \cdot \text{s} = 1 \text{ J}$$

Di mana:

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ Watt}$$

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

Berarti:

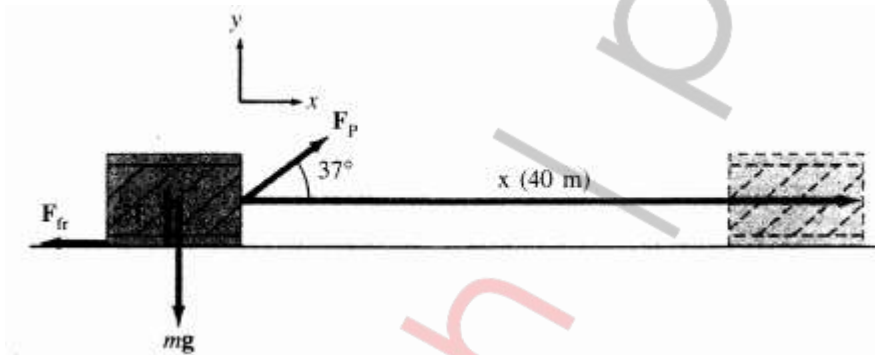
$$1 \text{ kWh} = (1000 \text{ W}) (3600 \text{ s}) = 3.600.000 \text{ W} \cdot \text{s}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ kJ} = 3,6 \text{ MJ}$$

Artinya daya listrik sebesar 1 kW yang digunakan selama 1 jam membutuhkan energi sebesar 3,6 MJ.

5.5. Contoh Soal

1. Sebuah peti dengan massa 50 kg ditarik sejauh 40 m sepanjang lantai horizontal dengan gaya konstan yang diberikan oleh seseorang sebesar $F_P = 100$ N yang bekerja membentuk 37° sebagaimana ditunjukkan pada gambar. Jika lantai tersebut kasar dan memberikan gaya gesekan $F_{fr} = 50$ N. Tentukan usaha yang dilakukan oleh setiap gaya yang bekerja pada peti tersebut dan usaha total yang dilakukan terhadap peti!



Pembahasan:

Ada empat gaya yang bekerja pada peti, yaitu gaya yang diberikan oleh seseorang (F_P), gaya gesek (F_{fr}), gaya gravitasi (F_G), dan gaya normal (F_N). Usaha yang dilakukan oleh masing-masing gaya adalah:

$$W_P = F_P \cdot x = F_P \cos 37^\circ \cdot x = 100 (\cos 37^\circ) 40 = 3.200 \text{ J}$$

$$W_{fr} = F_{fr} \cdot x = F_{fr} \cos 180^\circ \cdot x = 50 (\cos 180^\circ) 40 = 2.000 \text{ J}$$

$$W_G = F_G \cdot x = F_G \cos 270^\circ \cdot x = 0$$

$$W_N = F_N \cdot x = F_N \cos 90^\circ \cdot x = 0$$

Tidak perubahan posisi dalam arah 90° dan 270° sehingga tidak ada kerja yang dilakukan.

Usaha total yang dilakukan terhadap peti yaitu penjumlahan aljabar dari setiap usaha atau kerja yang dilakukan oleh masing-masing gaya, yaitu:

$$\begin{aligned}W_T &= W_P + W_{fr} + W_G + W_N \\W_T &= 3200 - 2000 + 0 + 0 \\W_T &= 1200 \text{ J} = 1,2 \text{ kJ}\end{aligned}$$

2. Sebuah mobil 1000 kg mendaki dengan kemiringan 10° dengan kecepatan 45 km/jam. Bila efisiensi mesin hanya 70%, maka berapa daya yang harus dikeluarkan mesin.

Pembahasannya:

$$\begin{aligned}P &= F \cdot v \\P &= F \cdot \cos 10^\circ \cdot v = m \cdot g \cdot \cos 10^\circ \cdot v \\P &= (1000 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)(0,985)(12,5 \text{ m/s}) \\P &= 123.100,969 \text{ W} = 123,1 \text{ kW}\end{aligned}$$

Karena efisiensi mesin hanya 70% (kurang dari 100%) berarti daya yang harus dikeluarkan mesin yaitu sebesar:

$$\begin{aligned}P_{0,7} &= \frac{P}{\eta} = \frac{123.101}{0,7} = 175.859 \text{ kW} \\P_{0,7} &= 175,859 \text{ kW}.\end{aligned}$$

3. Sebuah bola dengan massa 250 g ditendang dengan kecepatan 35 m/s.
- Berapakah energi kinetiknya?
 - Berapakah usaha yang dilakukan pada bola untuk mencapai kecepatan ini, jika dimulai dari keadaan diam?

Pembahasan:

- a. Energi kinetik:

$$\begin{aligned}E_K &= \frac{1}{2}mv^2 \\E_K &= \frac{1}{2}0,25(35)^2 = 153,125 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Usaha yang dilakukan pada bola:

$$W = E_{K2} - E_{K1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$W = \frac{1}{2}0,25(35)^2 - 0 = 153,125 \text{ J}$$

4. Berapakah usaha yang diperlukan untuk mempercepat sebuah mobil dengan massa 2000 kg dari 10 m/s hingga 30 m/s?

Pembahasan:

Usaha total yang dibutuhkan sama dengan penambahan energi kinetik:

$$W = E_{K2} - E_{K1} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$W = \frac{1}{2}(2000)(30)^2 - \frac{1}{2}(2000)(10)^2$$

$$W = 900000 - 100000$$

$$W = 800.000 \text{ J} = 800 \text{ kJ}$$

5.6. Rangkuman

1. Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja
2. Energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, hanya bisa diubah bentuknya dari bentuk yang satu ke bentuk lainnya. Misalnya energi kimia yang dikandung bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam silinder mesin, kemudian energi panas diubah menjadi energi mekanik oleh mekanisme piston-torak yang selanjutnya ditransmisikan menjadi energi kinetik pada roda-roda kendaraan.
3. Beberapa bentuk energi seperti: energi panas, energi bahan bakar, energi listrik, energi nuklir. Selain itu, energi bisa bermakna positif bisa juga negatif.
4. Jenis-jenis energi seperti: energi potensial, energi mekanik, energi kinetik, energi pegas.
5. Usaha atau kerja adalah hasil kali komponen gaya dengan panjang pergeseran benda, di mana arah gaya sama dengan arah perpindahan.

6. Daya adalah kerja per satuan waktu atau kemampuan melakukan kerja dalam selang waktu tertentu.

5.7. Soal Latihan

1. Sebuah benda bergerak lurus di atas lantai horizontal ditarik dengan tali. Massa benda adalah 5 kg, sedang koefisien gesekan lantai adalah 0,6. Akibat gaya-gaya yang bekerja, benda bergerak dengan percepatan 2 m/s^2 . Andaikan percepatan gravitasi adalah 10 m/s^2 .
 - (a) Berapa besar energi yang diberikan oleh orang yang menarik tali agar benda bergerak sejauh 2 m?
 - (b) Berapa besar energi yang hilang karena gesekan. Ke mana energi ini hilang?
2. Sebuah benda bergerak lurus di atas lantai horizontal ditarik dengan tali. Massa benda adalah 5 kg, sedang koefisien gesekan lantai adalah 0,6. Akibat gaya-gaya yang bekerja, benda bergerak dengan percepatan 2 m/s^2 . Andaikan percepatan gravitasi adalah 10 m/s^2 .
 - (a) Berapa besar energi yang diberikan oleh orang yang menarik tali agar benda bergerak sejauh 2 m?
 - (b) Berapa besar energi yang hilang karena gesekan. Ke mana energi ini hilang?
3. Sebuah mobil 1200 kg melaju dengan kecepatan 30 m/s. Tiba-tiba rem diinjak hingga mobil selip dan akhirnya berhenti. Jika gesekan antara ban mobil dan permukaan jalan adalah 6000 N. Sejauh berapakah mobil itu selip?
4. Hitung daya rata-rata sebuah mesin yang dapat mengangkat beban 500 kg setinggi 20 m dalam waktu 60 detik!
5. Berapa energi potensial sebuah elevator yang beratnya 1600 N di tingkat paling atas gedung pencakar langit yang tingginya 1248 m di atas permukaan jalan? Anggap energi potensial di muka jalan nol.

6. Berapa kenaikan energi potensial sebuah benda yang beratnya 1 kg apabila diangkat dari lantai ke atas meja yang tingginya 1 m?
7. Hitung daya rata-rata sebuah mesin yang dapat mengangkat beban 500 kg setinggi 20 m dalam waktu 60 detik!

5.8. Referensi

- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. *Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Kramer, L. 2008. *University Physics: 12th Edition*. USA: Pearson Education, Inc.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. *Physics for Engineers and Scientists: Edisi III*. USA: Norton & Co.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics: Edisi X*. USA: John Weley.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics: Edisi X*. USA: Prentice Hall.

BAB 6.

MOMENTUM DAN IMPULS

Salah satu besaran yang penting dalam fisika ialah momentum, dan setiap benda yang bergerak mempunyai momentum. Dari nilai momentum dan perubahan momentum dapat ditentukan besaran-besaran lain seperti kecepatan, percepatan dan gaya. Bahkan, gerak mesin roket lebih mudah diungkapkan dalam hukum kekekalan momentum. Materi dalam bab ini terdiri dari beberapa pokok bahasan yaitu momentum dan impuls, hukum kekekalan momentum, tumbukan lenting sempurna, tumbukan tak lenting sempurna, tumbukan dua dimensi, pendulum, dan pusat massa. Untuk membantu dan mengevaluasi pemahaman mahasiswa, maka di akhir bab juga dilengkapi dengan beberapa contoh soal dan soal latihan.

6.1. Momentum dan Impuls

Momentum linier (untuk selanjutnya disebut momentum) suatu benda didefinisikan sebagai hasil kali massa dengan kecepatannya. Momentum merupakan besaran vektor, sehingga penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor. Arah momentum sama dengan arah kecepatan sedangkan besar momentum yaitu:

$$p = m.v \dots\dots\dots (6.1)$$

Di mana:

p = momentum (kg.m/s)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan (m/s)

Persamaan 6.1 di atas memperlihatkan bahwa besar momentum ditentukan oleh massa dan kecepatan benda. Kapal tanker memiliki momentum sangat besar karena massanya sangat besar (Gambar 6.1a).

Pesawat memiliki momentum sangat besar karena kecepatannya sangat besar (Gambar 6.1b). Sebuah mobil dengan massa yang sama bergerak cepat akan mempunyai momentum yang lebih besar bila dibandingkan dengan mobil yang bergerak lambat. Demikian pula, sebuah truk yang berat akan mempunyai momentum yang lebih besar jika dibandingkan dengan sebuah mobil kecil yang berjalan dengan kecepatan yang sama. Makin besar momentum yang dimiliki suatu benda maka makin sulit untuk menghentikan benda tersebut, dan makin besar pula efek yang diakibatkannya jika diberhentikan dengan tabrakan atau tumbukan. Untuk mengubah momentum suatu benda (baik untuk menaikkan atau menurunkan dan sampai benda berhenti ataupun mengubah arah geraknya) dibutuhkan sebuah gaya.



Gambar 6.1 a. Kapal Tanker, b. Pesawat

Hukum Newton yang berkaitan dengan gerak suatu benda ialah Hukum Newton II menyatakan bahwa perubahan momentum suatu benda sama dengan gaya total yang diberikan padanya. Dan dapat ditulis dalam persamaan:

$$p = m.v$$

$$F = m.a$$

$$F.t = m.v$$

$$\Delta p = \Sigma F . \Delta t \dots\dots\dots(6.2)$$

Jika Δp adalah hasil perubahan momentum yang terjadi selama selang waktu Δt , maka persamaan 6.2 di atas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\Sigma F = \frac{mv_2 - mv_1}{\Delta t} = \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t} = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = m \cdot a \dots \dots \dots (6.3)$$

Impuls (I) didefinisikan sebagai hasil kali gaya dengan selang waktu dan gaya yang bekerja pada suatu benda. Impuls akan menyebabkan perubahan momentum, sehingga besar dan arahnya sama dengan besar dan arah perubahan momentum.

$$I = F \cdot \Delta t = m(v_2 - v_1) \dots \dots \dots (6.4)$$

6.2. Hukum Kekekalan Momentum

Jika ada sejumlah gaya yang bekerja pada sistem maka gaya yang digunakan dalam hukum II Newton merupakan gaya total dan momentum yang digunakan juga momentum total. Hukum II Newton memiliki bentuk yang umum.

Pada proses tumbukan apapun jenisnya, momentum selalu kekal selama tidak ada gaya luar yang bekerja ($\Sigma F_{T \text{ luar}} = 0$). Tetapi tidak demikian halnya dengan energi kinetik. Tumbukan biasanya diikuti munculnya panas pada permukaan dua benda yang melakukan kontak seperti pada Gambar 6.2. Panas tersebut berasal dari energi kinetik benda yang mengalami tumbukan. Akibatnya, setelah tumbukan terjadi, umumnya energi kinetik total lebih kecil daripada energi kinetik total sebelum tumbukan.



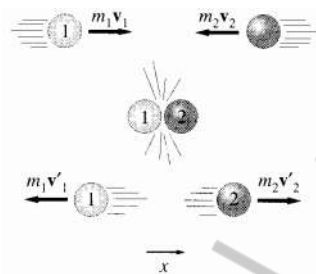
Gambar 6.2 Tumbukan Dua Benda Umumnya Diikuti Pelepasan Panas

Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa pada peristiwa tumbukan, jumlah momentum benda-benda sebelum dan sesudah tumbukan adalah tetap, asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada

benda-benda itu. Misalnya dua buah bola biliar masing-masing memiliki massa m_1 dan m_2 . Keduanya bergerak saling mendekati dengan kecepatan masing-masing v_1 dan v_2 (Gambar 6.3). Jika diasumsikan gaya eksternal total sistem dua bola ini adalah nol ($\sum F_i = 0$), artinya gaya yang signifikan hanyalah gaya yang diberikan tiap bola ke bola lainnya ketika terjadi tumbukan. Maka impuls untuk masing-masing bola adalah:

$$I_1 = F_1 \cdot \Delta t = \Delta p_1 = m_1(v_1' - v_1)$$

$$I_2 = F_2 \cdot \Delta t = \Delta p_2 = m_2(v_2' - v_2)$$



Gambar 6.3 Tumbukan Dua Bola Biliar

Pada saat kedua bola tersebut bertumbukan, maka ada gaya-gaya yang bekerja pada kedua bola itu (Gambar 6.4) dan berlaku Hukum III Newton yaitu hukum tentang aksi-reaksi sehingga diperoleh:

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

$$F_{12} = F_{21}$$

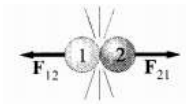
$$F_1 \cdot \Delta t = - F_2 \cdot \Delta t$$

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

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

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2' \dots\dots\dots(6.5)$$

$$\Sigma p_{sebelum\ tumbukan} = \Sigma p_{setelah\ tumbukan}$$



Gambar 6.4 Gaya-Gaya pada Bola Selama Tumbukan

6.3. Tumbukan

6.3.1. Tumbukan Lenting Sempurna

Jika dua buah bola biliar (Gambar 6.4) bertumbukan lurus (tumbukan sentral atau tumbukan lenting sempurna atau tumbukan elastis sempurna), dan setelah bertumbukan kedua bola tersebut saling menjauh dengan kecepatan masing-masing v_1' dan v_2' . Maka seluruh energi kinetik sebelum tumbukan seluruhnya berubah menjadi energi kinetik lagi, tanpa ada yang tersimpan menjadi energi potensial atau hilang sebagai kalor. Jadi pada tumbukan lenting sempurna energi kinetik sebelum dan setelah tumbukan adalah sama. Sehingga berlaku Hukum Kekekalan Momentum dan Hukum Kekekalan Energi Kinetik.

$$\begin{aligned} E_{K \text{ awal}} &= E_{K \text{ akhir}} \\ \sum \frac{1}{2} m v^2 &= \sum \frac{1}{2} m v'^2 \\ \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 &= \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2 \\ m_1 v_1^2 - m_1 v_1'^2 &= m_2 v_2'^2 - m_2 v_2^2 \\ m_1 (v_1^2 - v_1'^2) &= m_2 (v_2'^2 - v_2^2) \dots \dots \dots (6.6) \end{aligned}$$

6.3.2. Tumbukan Tak Lenting Sempurna

Tumbukan di mana energi kinetik tidak kekal disebut tumbukan tidak lenting sempurna atau tumbukan tak elastis sempurna. Pada tumbukan ini, setelah tumbukan kedua benda bergabung sehingga kedua benda memiliki kecepatan yang sama. Sebagian energi kinetik awal pada tumbukan seperti ini diubah menjadi energi jenis lain, seperti energi panas atau potensial sehingga terjadi pengurangan energi kinetik dan energi kinetik total sesudah tumbukan akan lebih kecil dari pada energi kinetik total sebelum tumbukan. Sehingga pada tumbukan ini tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik, namun hukum kekekalan momentum tetap berlaku. Setelah terjadi tumbukan kedua benda menjadi satu, sehingga persamaan kekekalan momentum menjadi:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' \dots \dots \dots (6.7)$$

Energi kinetik sebelum tumbukan:

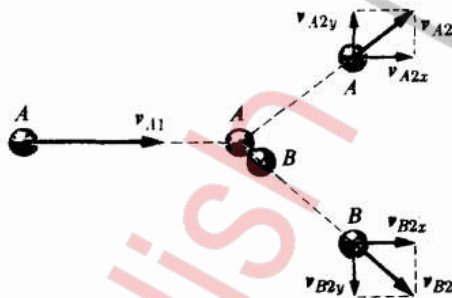
$$E_K = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 \dots\dots\dots(6.8)$$

Energi kinetik setelah tumbukan:

$$E_{K'} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v'^2 \dots\dots\dots(6.9)$$

6.3.3. Tumbukan Dua Dimensi

Tumbukan di mana energi kinetik tidak kekal disebut tumbukan tidak lenting sempurna. Pada tumbukan ini, setelah tumbukan kedua benda bergabung sehingga kedua benda memiliki kecepatan yang sama. Sebagian energi kinetik awal pada tumbukan seperti ini diubah menjadi energi jenis lain, seperti energi panas atau potensial sehingga terjadi pengurangan energi kinetik dan energi kinetik total sesudah tumbukan akan lebih kecil dari pada energi kinetik total sebelum tumbukan. Sehingga pada tumbukan ini tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik.



Gambar 6.5 Tumbukan Dua Dimensi

Momentum pada arah horizontal (sumbu X):

$$\begin{aligned} \Sigma p_{sebelum\ tumbukan} &= \Sigma p_{setelah\ tumbukan} \\ m_A v_{A1x} + m_B v_{B1x} &= m_A v_{A2x} + m_B v_{B2x} \\ m_A v_{A1x} &= m_A v_{A2x} + m_B v_{B2x} \dots\dots\dots(6.10) \end{aligned}$$

Momentum pada arah vertikal (sumbu y):

$$\Sigma p_{sebelum\ tumbukan} = \Sigma p_{setelah\ tumbukan}$$

$$m_A v_{A1y} + m_B v_{B1y} = m_A v_{A2y} - m_B v_{B2y}$$

$$0 = m_A v_{A2y} - m_B v_{B2y}$$

$$m_A v_{A2y} = m_B v_{B2y} \dots \dots \dots (6.11)$$

Keanyakan peristiwa tumbukan terjadi antara tumbukan lenting sempurna dan tidak lenting sempurna. Kedua benda terpisah setelah tumbukan, tetapi kecepatan relatif sebelum tumbukan tidak sama dengan kecepatan relatif setelah tumbukan. Energi kinetik setelah tumbukan lebih kecil dibandingkan dengan energi kinetik total sebelum tumbukan. Keelastikan suatu tumbukan diukur dari koefisien restitusinya yaitu e . Koefisien restitusi disebut juga koefisien elastisitas. Untuk tumbukan elastik sempurna $e = 1$, untuk tumbukan tak elastik sempurna $e = 0$. Kecepatan relatif adalah kecepatan v_2 dilihat dari benda 1. Koefisien restitusi dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 6.12 berikut.

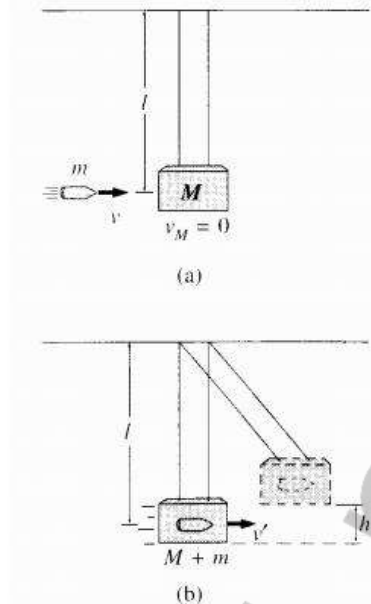
$$\text{Koefisien restitusi} = \frac{\text{kecepatan relatif setelah tumbukan}}{\text{kecepatan relatif sebelum tumbukan}}$$

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_2 - v_1} \dots \dots \dots (6.12)$$

6.4. Pendulum

Pendulum atau biasa juga disebut ayunan balistik, dulu digunakan untuk menentukan kecepatan gerak peluru. Akan tetapi, saat ini kecepatan peluru diukur dengan teknik yang modern. Waktu yang diperlukan peluru menempuh jarak tertentu dapat diukur dengan ketelitian sangat tinggi. Bahkan kecepatan cahaya yang merupakan kecepatan tertinggi di alam semesta dapat diukur dengan ketelitian yang sangat tinggi pula.

Pendulum balistik atau disebut juga sebagai bandul balistik merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan peluru. Peluru yang dilepaskan akan melakukan tumbukan tidak lenting sempurna dengan suatu benda yang massanya jauh lebih besar jika dibandingkan dengan massa peluru. Momentum sistem segera setelah tumbukan sama dengan momentum awal peluru itu, tetapi karena kecepatan jauh lebih kecil, maka kecepatan ini lebih mudah dapat ditentukan.



Gambar 6.6 Bandul Balistik

Gambar 6.6 menunjukkan sebuah peluru bermassa m bergerak dengan kecepatan awal v mendekati sebuah balok kayu yang digantung diam dengan massa M . Jika dianggap waktu tumbukan sangat singkat, sehingga peluru berhenti di dalam balok sebelum balok mulai bergerak dari posisinya langsung di bawah penggantungnya. Maka tidak ada gaya luar total dan momentum kekal.

$$\begin{aligned} \Sigma p_{\text{sebelum tumbukan}} &= \Sigma p_{\text{setelah tumbukan}} \\ mv + Mv_M &= mv' + Mv' \\ mv &= (m + M)v' \end{aligned}$$

$$v = \frac{(m+M)v'}{m} \dots\dots\dots(6.13)$$

Di mana v' adalah laju balok dan peluru yang berada di dalamnya persis setelah tumbukan, sebelum bergerak cukup jauh. Begitu bandul mulai bergerak (Gambar 6.6.b), akan ada gaya luar total (gravitasi yang cenderung menarik balok kembali ke posisi vertikalnya). Maka di sini tidak bisa menggunakan kekekalan momentum, tetapi bisa menggunakan

kekekalan energi mekanik karena energi potensial gravitasi ketika bandul mencapai ketinggian maksimumnya (h).

$$E_{K1} + E_{P1} = E_{K2} + E_{P2}$$

$$\frac{1}{2}(m + M)v'^2 + (m + M)gh = \frac{1}{2}(m + M)v'^2 + (m + M)gh$$

$$\frac{1}{2}(m + M)v'^2 = (m + M)gh$$

$$v' = \sqrt{gh} \dots \dots \dots (6.14)$$

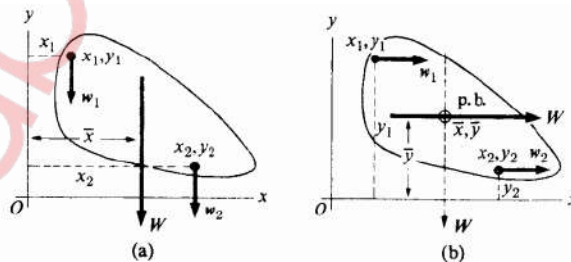
Gabungkan kedua persamaan hasil kekekalan momentum dengan kekekalan energi (persamaan 6.14 dan 6.13), sehingga diperoleh:

$$v = \frac{(m + M)v'}{m}$$

$$v = \frac{(m+M)}{m} \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (6.15)$$

6.5. Pusat Massa

Percepatan gravitasi bumi (g) akan mengakibatkan sebuah benda bermassa m mengalami gaya berat yang arahnya selalu ke bawah menuju pusat bumi. Maka semua partikel zat di dalam suatu benda juga mengalami gaya tarik bumi, dan gaya tunggal yang disebut gaya berat merupakan resultan semua gaya tarik tersebut. Arah gaya tiap-tiap partikel menuju pusat bumi. Tetapi karena jarak ke pusat bumi itu demikian sangat jauhnya, sehingga gaya dapat dianggap sejajar satu sama lain. Jadi berat suatu benda adalah resultan dari jumlah besar gaya sejajar.



Gambar 6.7 Resultan dan Gaya Paralel

Gambar 6.7(a) memperlihatkan sebuah benda tipis sembarang bentuk terletak salam bidang xy . Jika benda itu dibagi-bagi menjadi sejumlah besar partikel yang beratnya w_1, w_2 , dan seterusnya, dan jika diasumsikan koordinat partikel-partikel itu adalah x_1 dan y_1 , serta x_2 dan y_2 , dan begitu seterusnya. Maka berat total W benda itu adalah:

$$\Sigma W = w_1 + w_2 + \dots$$

Koordinat x garis kerja W adalah:

$$\bar{x} = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \dots}{w_1 + w_2 + \dots} = \frac{\Sigma wx}{\Sigma w} = \frac{\Sigma wx}{W} \dots \dots \dots (6.16)$$

Jika seandainya benda dan sumbu-sumbu pembandingnya (sumbu- x dan sumbu- y) diputar 90° berlawanan arah jarum jam, maka gaya gravitasi berputar 90° berlawanan jarum jam (Gambar 6.7b). Berat total W tidak berubah dan koordinat- y dari garis kerjanya adalah:

$$\bar{y} = \frac{w_1y_1 + w_2y_2 + \dots}{w_1 + w_2 + \dots} = \frac{\Sigma wy}{\Sigma w} = \frac{\Sigma wy}{W} \dots \dots \dots (6.17)$$

Titik perpotongan garis kerja W pada kedua bagian Gambar 6.7 mempunyai koordinat-koordinat x dan y dan dinamakan pusat berat benda itu. Dengan meninjau sembarang letak di benda tadi dapatlah ditunjukkan, bahwa garis kerja W senantiasa melalui pusat berat tadi. Jika pusat berat sejumlah benda sudah tertentu letaknya, semua koordinat pusat berat benda-benda tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan (6.15) dan (6.16) dengan w_1, w_2 , dan seterusnya adalah koordinat-koordinat pusat berat masing-masing benda. Simetri suatu benda sering berguna untuk menentukan letak pusat berat. Jadi pusat berat bola homogen, kubus, piringan bundar atau papan berbentuk persegi empat panjang berada di tengah-tengahnya. Pusat berat silinder atau kerucut tegak terletak di sumbu simetrinya. Jika diketahui $W = mg$, maka $w_1 = m_1g_1, w_2 = m_2g_2$, dan seterusnya. Sehingga persamaan (6.15) dan (6.16) menjadi:

$$\bar{x} = \frac{m_1g_1x_1 + m_2g_2x_2 + \dots}{m_1g_1 + m_2g_2 + \dots} = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} = \frac{\Sigma mx}{m}$$

$$\bar{y} = \frac{m_1g_1y_1 + m_2g_2y_2 + \dots}{m_1g_1 + m_2g_2 + \dots} = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} = \frac{\Sigma my}{m}$$

Jika diasumsikan $g = g_1 = g_2$ dan seterusnya.

6.6. Contoh Soal

1. Sebuah benda bermassa 2 kg bergerak dengan kecepatan 6 m/s. Berapa gaya F yang dapat menghentikan benda tersebut dalam waktu 7×10^{-4} s.

Pembahasan:

$$I = \Delta p$$

$$F\Delta t = mv - mv_0$$

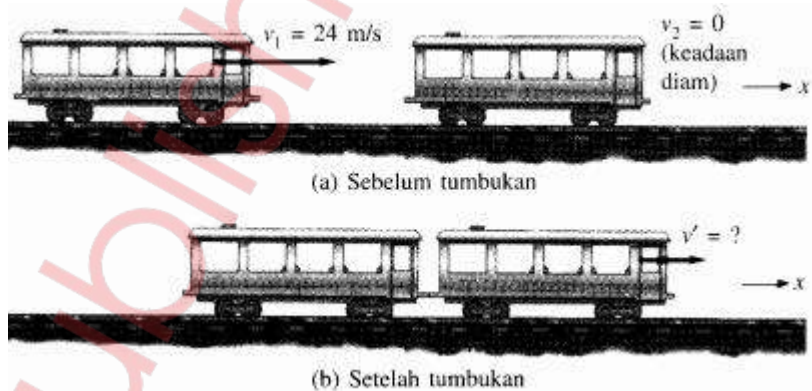
$$F(7 \times 10^{-4} \text{ s}) = 2 \text{ kg} (0 - 6 \text{ s})$$

$$F = -1,71 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

Jadi besar gaya yang menghambat gerak benda ialah $-1,71 \times 10^{-4}$ N

2. Sebuah gerbong kereta berjalan dengan kecepatan 24 m/s menabrak gerbong lain yang sejenis yang sedang dalam keadaan diam (Gambar a). Jika kedua gerbong tersebut tersambung sebagai akibat dari tumbukan (Gambar b).

- (a) Berapa kecepatan keduanya setelah terjadi tumbukan?
- (b) Berapa besar energi kinetik awal yang diubah menjadi energi panas atau bentuk energi lainnya?



Gambar 6.7 Gerbong Kereta Api

Pembahasan:

(a) Berlaku hukum kekekalan momentum:

$$\begin{aligned}m_1 v_1 + m_2 v_2 &= (m_1 + m_2) v' \\v' &= \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2} \\v' &= \frac{(10.000)kg(24)m/s + (10.000)kg(0)}{m_1 + m_1} \\v' &= \frac{2,5 \cdot 10^5 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}{2 \cdot 10^4 \text{ kg}} \\v' &= 12 \text{ m/s}\end{aligned}$$

(b) Energi Total adalah:

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} (10000 \text{ kg})(24 \text{ m/s})^2 = 2,88 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Setelah tumbukan, energi totalnya menjadi:

$$\frac{1}{2} (20000 \text{ kg})(12 \text{ m/s})^2 = 1,44 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Sehingga, energi yang diubah menjadi bentuk lain yaitu:

$$(2,88 \times 10^6) - (1,44 \times 10^6) = 1,44 \times 10^6 \text{ J}$$

Berarti setengah dari energi kinetik awalnya.

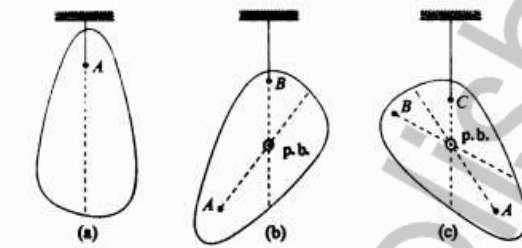
3. Tiga buah partikel diletakkan pada sistem koordinat xy sebagai berikut. Massa 1 kg di $(0,0)$, massa 2 kg di $(2,1)$, dan massa 3 kg di $(1,5)$, Dengan semua jarak diukur dalam meter. Di manakah letak titik berat sistem partikel itu?

Pembahasan:

Titik berat sistem ditentukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} = \frac{(1,0) + (2,2) + 3,1}{(1 + 2 + 3)} = \frac{7}{6} \\ \left(\frac{7}{6}; \frac{17}{6}\right) \bar{y} &= \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots} = \frac{(1,0) + (2,1) + 3,5}{(1 + 2 + 3)} = \frac{17}{6}\end{aligned}$$

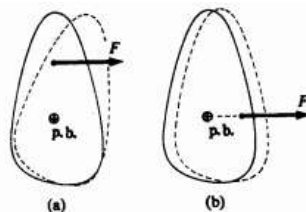
Jadi letak titik berat sistem adalah pada koordinat:



Gambar 6.8 Letak Pusat Berat Sebuah Benda Tipis

Pusat berat benda tipis dapat ditentukan dengan percobaan seperti yang ditunjukkan Gambar 6.8. Pada Gambar 6.8 (a) benda digantungkan di titik A sembarang, jika sudah dalam keadaan setimbang, pusat beratnya harus terletak pada garis vertikal lewat A. Bila benda digantungkan di titik B seperti Gambar 6.8 (b), pusat berat terletak pada garis vertikal lewat B, yaitu pada titik perpotongan garis ini dengan garis pertama. Jika sekarang benda digantungkan di titik C (Gambar 6.8.c), maka garis vertikal lewat C ternyata akan lewat titik perpotongan kedua garis yang pertama.

Ada lagi sifat lain dari pusat berat sesuatu benda. Suatu gaya F yang garis kerjanya terletak di sebelah mana saja dari pusat berat suatu benda (Gambar 6.8.a), akan mengubah gerak translasi dan gerak rotasi benda itu. Tetapi bila garis kerja tadi lewat pusat berat (Gambar 6.8.b), hanya gerak translasi saja yang terpengaruh, sedangkan benda tetap dalam keadaan setimbang rotasi. Jadi, jika suatu benda dilemparkan ke udara dengan lemparan berputar, maka benda itu akan terus berputar dengan kecepatan konstan, karena garis kerja dari beratnya lewat pusat beratnya.



Gambar 6.9 Benda pada Posisi Kestimbangan Rotasi

Begitu pula jika suatu benda terletak di atas atau meluncur pada benda lain, maka gaya normal dan gaya gesekannya merupakan seperangkat gaya sejajar yang merata pada seluruh bidang persentuhannya. Vektor tunggal yang digunakan untuk melukiskan masing-masing gaya ini sebenarnya ialah resultan dari seperangkat gaya sejajar.

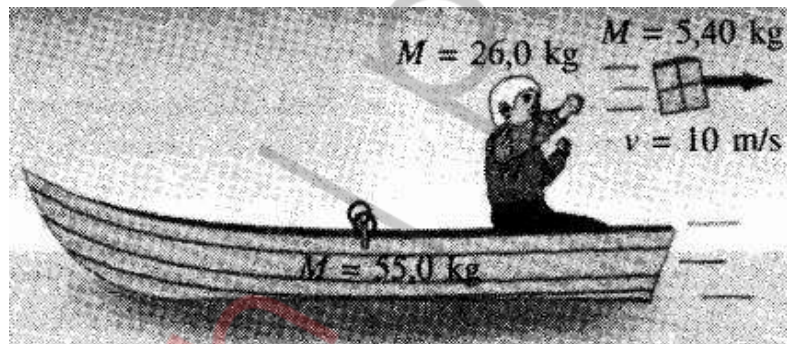
6.7. Rangkuman

1. Momentum adalah hasil kali antara massa dan kecepatannya, sedangkan Impuls adalah hasil kali antara gaya dengan selang waktu.
2. Hukum kekekalan momentum menyatakan bahwa pada peristiwa tumbukan, jumlah momentum sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama bila tidak ada gaya luar total yang bekerja pada benda tersebut.
3. Tumbukan lenting sempurna adalah tumbukan yang menghasilkan energi kinetik yang sama antara sebelum dan sesudah terjadinya tumbukan.
4. Tumbukan tak lenting sempurna adalah tumbukan yang menyebabkan kecepatan kedua benda yang bertumbukan sama setelah terjadinya tumbukan.
5. Pendulum adalah alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan peluru.

6.8. Soal-Soal Latihan

1. Sebuah bola bermassa 0,2 kg dipukul sehingga membalik. Bola datang dengan laju 2 m/s, dan laju setelah dipukul adalah 10 m/s.
 - (a) Hitung vektor impuls yang dilakukan pada alat pukul.
 - (b) Bila bola bersentuhan dengan alat pukul selama 0,1 sekon, hitung vektor gaya rata-rata pada bola.
2. Sebuah truk 40000 kg melaju dengan kecepatan 5 m/s sepanjang jalan sempit yang lurus dan bertabrakan dengan truk lain 30000 kg yang sedang mogok. Kedua truk itu menyatu. Berapakah laju kedua truk itu sesudah bertabrakan?

3. Sebuah truk 600 kg yang bergerak ke Utara dengan kecepatan 5 m/s bertabrakan dengan truk lain 4000 kg yang sedang melaju ke Barat dengan kecepatan 15 m/s. Sesudah bertabrakan kedua truk tetap menyatu. Berapakah besar dan arah kecepatannya sesudah bertabrakan?
4. Seorang anak dalam sebuah perahu melemparkan paket 5,4 kg horizontal keluar perahu dengan kecepatan 10 m/s. Hitung kecepatan perahu persis setelah lemparan tersebut, dengan menganggap keadaan awalnya ialah diam. Massa si anak 26 kg dan perahu 55 kg.



5. Tentukan koefisien elastisitas tumbukan dua benda yang bermassa 1,0 kg dan 2,0 kg. Benda pertama bergerak ke kanan dengan kecepatan 40,0 m/s. Benda kedua juga bergerak ke kanan dengan kecepatan 10 m/s. Setelah tumbukan, benda kedua bergerak ke kanan dengan kecepatan 25 m/s.
6. Di atas sebuah meja tanpa gesekan sebuah balok 3 kg yang bergerak dengan kecepatan 4 m/s ke kanan bertumbukan dengan balok 8 kg yang sedang bergerak dengan kecepatan 1,5 m/s ke kiri.
 - (a) Jika kedua balok itu melekat satu sama lain akibat tumbukan itu, berapa kecepatan akhir keduanya?
 - (b) Jika kedua balok melakukan tumbukan lurus secara elastik sempurna, berapa kecepatan akhir balok-balok itu?

- (c) Berapa energi mekanik hilang dalam tumbukan yang dimaksud pada poin (a)?

6.9. Referensi

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. *Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics: Edisi X*. USA: Prentice Hall.
- Kramer, L. 2008. *University Physics: 12th Edition*. USA: Pearson Education, Inc.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. *Physics for Engineers and Scientists: Edisi III*. USA: Norton & Co.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics: Edisi X*. USA: John Weley.

BAB 7.

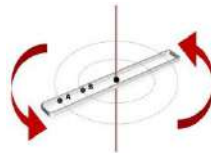
GERAK ROTASI

Benda tegar adalah benda yang dianggap sesuai dengan dimensi ukuran sesungguhnya di mana jarak antar partikel penyusunnya tetap. Ketika benda tegar mendapatkan gaya luar yang tidak tepat pada pusat massa, maka selain dimungkinkan gerak translasi benda juga bergerak rotasi terhadap sumbu rotasinya.

Pembahasan tentang gerak rotasi terdiri dari beberapa sub pokok bahasan yaitu gerak rotasi, momen gaya, momen inersia, energi kinetik rotasi, momentum sudut, contoh soal, soal latihan. Agar pemahaman mahasiswa terhadap materi ini maka diharapkan mahasiswa membaca tiap pokok bahasan secara tuntas dan runut, Dengan demikian mahasiswa tidak mendapat kesulitan pada saat menyelesaikan soal-soal latihan.

7.1. Gerak Rotasi

Sebuah benda yang bergerak membentuk suatu lingkaran dengan laju konstan maka benda tersebut mengalami gerak melingkar beraturan. Suatu benda dikatakan mengalami gerak melingkar jika lintasan gerakanya berupa lingkaran. Contoh gerak melingkar antara lain pergerakan roda kendaraan, gerak pada baling-baling kipas angin, dan gerak jarum jam. Sebuah benda tegar bergerak *rotasi murni* jika setiap partikel pada benda tersebut bergerak dalam lingkaran yang pusatnya terletak pada garis lurus yang disebut sumbu rotasi.

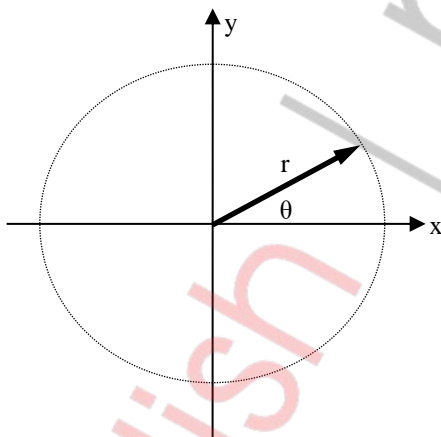


Gambar 7.1 Gerakan Rotasi

Benda disebut melakukan gerak rotasi jika setiap titik pada benda itu, kecuali titik-titik pada sumbu putar menempuh lintasan berbentuk lingkaran (Gambar 7.1). Sumbu Putar adalah suatu garis lurus yang melalui pusat lingkaran dan tegak lurus pada bidang lingkaran.

Posisi sudut menggambarkan kedudukan sudut dalam gerak melingkar beraturan. Pusat gerak melingkar dijadikan sebagai pusat titik acuan. Dalam gerak rotasi dilambangkan dengan θ (*theta*).

Kecepatan sudut adalah besarnya sudut yang ditempuh saat gerak melingkar tiap satuan waktu. Kecepatan sudut dilambangkan ω (*omega*). Besar sudut yang ditempuh dalam waktu satu periode T sama dengan 2π radian. Periode adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan satu kali putaran



Gambar 7.2 Kecepatan Sudut

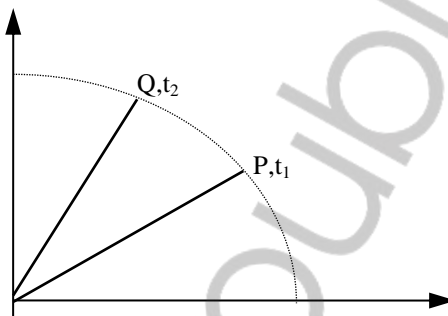
Gambar 7.2 di atas memperlihatkan sebuah benda pejal yang melakukan gerak rotasi murni dengan sumbu tetap (sumbu z) yang tegak lurus bidang xy . Setiap partikel mengalami gerak rotasi terhadap titik O . Oleh karena itu untuk menyatakan posisi titik P lebih baik digunakan koordinat polar (r, θ) . Dalam keadaan ini, r tetap konstan dan yang berubah adalah θ . Bila partikel bergerak dari $\theta = 0$ rad ke titik P partikel telah menempuh lintasan sejauh panjang busur s , di mana:

$$s = r \cdot \theta \dots \dots \dots (7.1)$$

atau

$$\theta = s/r$$

di mana θ dalam radian ($2\pi \text{ rad} = 360^\circ$ atau $1 \text{ rad} \approx 57,3^\circ$)



Gambar 7.3 Perubahan Posisi Partikel

Partikel bergerak dari P ke Q dalam selang waktu $\Delta t (= t_2 - t_1)$ telang menyapu sudut $\Delta\theta (= \theta_2 - \theta_1)$, maka kecepatan sudut rata-rata partikel adalah:

$$\frac{\theta_2 - \theta_1 = \Delta\theta}{t_2 - t_1 = \Delta t}$$

kecepatan sudut sesaat adalah:

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta\theta}{\Delta t} \right) = \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots (7.2)$$

Setiap partikel pada benda tersebut akan mempunyai kecepatan sudut yang sama. Jika kecepatan sudut sesaat dari benda tersebut berubah dari ω_1 ke ω_2 dalam selang waktu Δt , maka percepatan sudut rata-rata dari benda tersebut adalah

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

Percepatan sudut adalah laju perubahan kecepatan sudut yang terjadi tiap satuan waktu. Semakin besar perubahan kecepatan sudut pada gerak

melingkar maka semakin besar pula percepatan sudutnya. Diibandingkan dengan α (alpha).

Tabel 7.1 Hubungan Gerak Translasi dengan Gerak Rotasi

GLB + GLBB	Gerak Rotasi
<ul style="list-style-type: none"> • $s = v \cdot t$ • $s = V_0 + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ • $V_t = V_0 + 2 a \cdot t$ • $V_t^2 = V_0^2 + 2 a \cdot s$ • $s = \frac{1}{2} (V_{0t} + V_t)$ 	<ul style="list-style-type: none"> • $\theta = \omega \cdot t$ • $\theta = \omega_0 + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$ • $\omega_t = \omega_0 + 2 \alpha \cdot t$ • $\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2 \alpha \cdot \theta$ • $\theta = \frac{1}{2} (\omega_0 t + \omega_t)$

Untuk mendeskripsikan gerak rotasi, digunakan besaran-besaran yang sama dengan besaran-besaran pada gerak melingkar. Besaran-besaran itu di antaranya adalah kecepatan sudut dan percepatan sudut. Pada gerak translasi, kita memiliki beberapa persamaan penting yang menghubungkan percepatan, kecepatan dan jarak untuk situasi percepatan linier beraturan. Persamaan-persamaan tersebut diturunkan dari definisi kecepatan dan percepatan linier dengan menganggap percepatan konstan. Definisi kecepatan sudut dan percepatan sudut sama dengan kecepatan dan percepatan linier, kecuali bahwa θ menggantikan perpindahan linier x , ω menggantikan v , dan α menggantikan a . Dengan demikian, persamaan-persamaan sudut untuk percepatan sudut konstan akan analog dengan beberapa persamaan gerak linier. Tabel 2 menunjukkan beberapa persamaan gerak rotasi yang analog dengan persamaan gerak translasi.

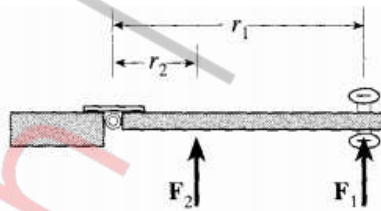
Tabel 2. Persamaan-Persamaan Sudut

Translasi	Rotasi
$v_t = v_0 + a \cdot t$	$\omega_t = \omega_0 + \alpha \cdot t$
$x = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$	$\theta = \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$
$v_t^2 = v_0^2 + 2 a \cdot x$	$\omega_t^2 = \omega_0^2 + 2 \alpha \cdot \theta$
$\bar{v} = \frac{v_t + v_0}{2} = \frac{1}{2} (v_t + v_0)$	$\bar{\omega} = \frac{\omega_t + \omega_0}{2} = \frac{1}{2} (\omega_t + \omega_0)$
$x = \bar{v} \cdot t$	$\theta = \bar{\omega} \cdot t$

7.2. Momen Gaya

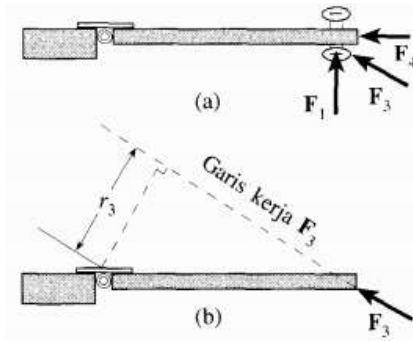
Pada gerak rotasi, sebuah benda hanya dapat berubah gerakannya dari diam menjadi berputar jika pada benda itu diterapkan sebuah gaya. Perubahan gerak pada gerak rotasi berupa perubahan kecepatan sudut. Perubahan gerak rotasi terjadi karena adanya “gaya pemutar” yang disebut dengan momen gaya (torsi).

Seperti yang telah jelaskan di atas, bahwa untuk membuat sebuah benda mulai berotasi sekitar sumbu, jelas diperlukan gaya. Tetapi arah gaya ini, dan di mana diberikannya merupakan hal yang penting. Pada Gambar 7.4 menunjukkan sebuah pintu yang dilihat dari atas. Jika gaya F_1 dan gaya F_2 diberikan tegak lurus terhadap pintu, maka makin besar nilai F_1 makin cepat pula pintu terbuka (diasumsikan jika gesekan pada engsel diabaikan). Jika diasumsikan $F_2 = F_1$, tetapi jaraknya lebih dekat ke engsel, maka pintu tidak terbuka sedemikian cepat karena efek gaya lebih kecil.



Gambar 7.4 Memberi Gaya-Gaya yang Sama dengan Lengan Gaya yang Berbeda

Lengan gaya didefinisikan sebagai jarak tegak lurus sumbu rotasi ke garis kerja gaya, yaitu jarak yang tegak lurus terhadap sumbu rotasi dan garis imajiner yang ditarik sepanjang arah gaya. Jelas bahwa gaya yang diberikan dengan suatu sudut seperti F_3 (Gambar 7.5) akan lebih tidak efektif daripada gaya dengan besar yang sama yang diberikan lurus seperti F_1 (Gambar 7.5a). Jika ujung pintu didorong sedemikian rupa sehingga gaya diarahkan pada engsel (sumbu rotasi), sebagaimana ditunjukkan oleh gaya F_4 , maka pintu tidak akan berotasi sama sekali.



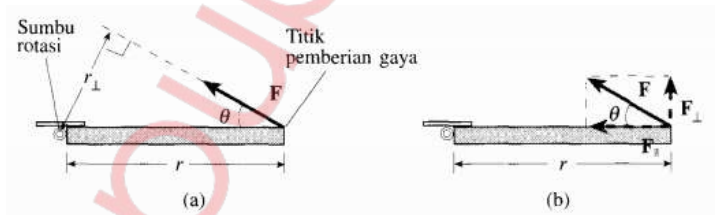
Gambar 7.5 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Gagang Pintu

Lengan gaya untuk gaya F_3 ditemukan dengan cara menarik garis sepanjang arah gaya F_3 (garis kerja F_3). Kemudian garis lain digambarkan tegak lurus terhadapnya, dan menuju sumbu. Panjang garis kedua ini merupakan lengan gaya untuk F_3 dan disebut sebagai r_3 (Gambar 7.5b). Lengan gaya tegak lurus terhadap garis kerja gaya dan di ujung yang lainnya tegak lurus terhadap sumbu rotasi.

Besar torsi didefinisikan sebagai hasil kali gaya dengan lengan gaya. Jika r_{\perp} adalah lengan gaya dan tanda tegak lurus (\perp) mengingatkan bahwa kita harus menggunakan jarak dari sumbu rotasi yang tegak lurus terhadap garis kerja gaya (Gambar 7.6a). Maka secara umum torsi dapat dituliskan:

$$\tau = r \dots\dots\dots(7.3)$$

Cara yang lain tetapi ekuivalen untuk menentukan torsi yang berhubungan dengan gaya adalah dengan menguraikan gaya menjadi komponen-komponen paralel dan tegak lurus terhadap garis yang menghubungkan titik kerja gaya dengan sumbu (Gambar 7.6b).



Gambar 7.6 Momen Gaya (Torsi)

Komponen $F_{||}$ tidak memberikan torsi karena diarahkan ke sumbu rotasi (lengan momennya adalah nol). Dengan demikian torsi akan sama dengan F_{\perp} dikalikan jarak r dari sumbu ke titik di mana gaya diberikan:

$$\tau = r.F_{\perp}$$

Dapat dilihat dari kenyataan bahwa $F_{\perp} = F \sin \theta$ dan $r_{\perp} = r \sin \theta$ (di mana θ adalah sudut antara arah F dan r). Jadi rumus di atas dapat dinyatakan sebagai:

$$\tau = r.F \sin \theta \dots\dots\dots (7.4)$$

7.3. Momen Inersia

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. Momen inersia (I) dari sebuah partikel bermassa m didefinisikan sebagai:

$$I = mr^2 \dots\dots\dots (7.4)$$

Dari persamaan di atas dapat dikatakan bahwa besar momen inersia sebuah partikel sebanding dengan massa partikel itu dan sebanding dengan kuadrat jarak partikel ke sumbu putarnya. Sebuah benda tegar disusun oleh banyak partikel yang terpisah satu dengan yang lain. Maka momen inersia sebuah benda terhadap suatu sumbu putar dapat dipandang sebagai jumlah aljabar momen-momen inersia partikel-partikel penyusunnya. Jika massa partikel-partikel penyusun itu adalah m_1, m_2, m_3, \dots dan jarak masing-masing partikel terhadap sumbu putarnya adalah r_1, r_2, r_3, \dots . Maka momen inersia benda terhadap sumbu tersebut adalah:

$$I \sum mr^2 = m_1r_1^2 + m_2r_2^2 + \dots \dots\dots (7.5)$$

Jika sebuah partikel dengan massa m berotasi membentuk lingkaran dengan radius r dari ujung sebuah tali yang massanya diabaikan. Anggap

gaya F bekerja pada partikel tersebut. Maka torsi yang mengakibatkan percepatan sudut adalah $\tau = rF$. Jika dikaitkan dengan Hukum II Newton $F = ma_t$, di mana $a_{tan} = r\alpha$, maka diperoleh:

$$F = mr\alpha$$

$$\frac{\tau}{r} = mr\alpha$$

$$\tau = mr^2\alpha$$

$$\tau = I\alpha \dots \dots \dots (7.6)$$

Tabel 3 Momen Inersia Beberapa Benda

Benda	Lokasi sumbu		Momen inersia
(a) Lingkaran tipis dengan radius R	Melalui pusat		MR^2
(b) Lingkaran tipis dengan radius R dan lebar W	Melalui diameter pusat		$\frac{1}{2}MR^2 + \frac{1}{12}MW^2$
(c) Silinder padat dengan radius R	Melalui pusat		$\frac{1}{2}MR^2$
(d) Silinder berongga dengan radius dalam R_1 dan radius luar R_2	Melalui pusat		$\frac{1}{2}M(R_1^2 + R_2^2)$
(e) Bola serba sama dengan radius R	Melalui pusat		$\frac{2}{5}MR^2$
(f) Batang serba sama panjang dengan panjang L	Melalui pusat		$\frac{1}{12}ML^2$
(g) Batang serba sama panjang dengan panjang L	Melalui ujung		$\frac{1}{3}ML^2$
(h) Lempengan persegi panjang tipis dengan panjang L dan lebar W	Melalui pusat		$\frac{1}{12}M(L^2 + W^2)$

7.4. Energi Kinetik Rotasi

Jika nilai $\frac{1}{2}mv^2$ merupakan energi kinetik benda yang mengalami gerak translasi, maka benda yang berotasi pada sebuah sumbu dikatakan memiliki energi kinetik rotasi yang dapat diturunkan dari energi kinetik translasi. Dengan mendefinisikan bahwa $v = r\omega$ dan $I = mr^2$, maka diperoleh:

$$E_{KR} = \frac{1}{2}m(r\omega)^2$$
$$E_{KR} = \frac{1}{2}mr^2\omega^2$$

$$E_{KR} = \frac{1}{2}I\omega^2 \dots\dots\dots (7.6)$$

Jika sebuah benda bergerak translasi sambil berotasi (menggeling), maka benda itu akan memiliki total energi kinetik yang sama dengan jumlah energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasinya.

$$E_{K.Tot} = E_{KT} + E_{KR} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \dots\dots\dots (7.7)$$

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

$$W = \tau \cdot \theta \dots\dots\dots (7.8)$$

Sedangkan daya yang dikeluarkan τ pada benda adalah:

$$P = \tau \cdot \omega \dots\dots\dots (7.9)$$

7.5. Momentum Sudut

Momentum sudut (L) untuk benda yang berotasi didefinisikan sebagai kuantitas atau ukuran gerak rotasi (kekuatan dari putaran). Karena pada gerak rotasi momen inersia (I) merupakan analogi dari massa (m) suatu benda dan kecepatan sudut (ω) pada gerak rotasi analogi dengan kecepatan linier (v) pada gerak translasi, maka momentum sudut dinyatakan:

$$L = I \cdot \omega \dots\dots\dots (7.10)$$

Satuan momentum sudut (L) yaitu $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$ dan arahnya searah dengan arah putaran atau rotasinya. Hukum kekekalan momentum sudut untuk benda yang berotasi menyatakan bahwa “momentum sudut total pada benda yang berotasi tetap konstan jika torsi total yang bekerja padanya sama dengan nol”. Pada gerak translasi berlaku Hukum II Newton, sebagai berikut:

$$F = m \cdot a = m \frac{dv}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = \frac{dp}{dt} \dots\dots\dots(7.11)$$

Hal tersebut berarti gaya adalah perubahan momentum per satuan waktu. Dapat berarti juga bahwa, jika ada gaya yang bekerja pada suatu benda, maka tidak ada perubahan momentum pada benda itu. Jika diketahui $\tau = I\alpha$, di mana:

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

$$L = I\omega$$

maka:

$$\tau = I\alpha = d\left(\frac{I\omega}{dt}\right) = \frac{dL}{dt}$$

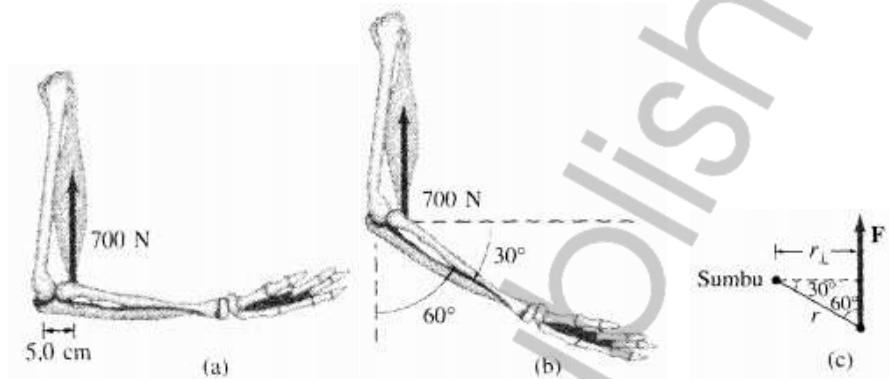
Sehingga

$$\tau = \frac{dL}{dt} \dots\dots\dots(7.11)$$

merupakan momen gaya hasil turunan pertama dari fungsi momentum sudut terhadap waktu.

7.6. Contoh Soal

1. Otot biseps memberikan gaya ke atas pada lengan bawah sebagaimana ditunjukkan Gambar (a) dan (b). Untuk masing-masing kasus, hitung torsi sekitar sumbu rotasi melalui sendi siku, dengan mengangap bahwa otot melekat 5 cm dari siku sebagaimana ditunjukkan gambar di bawah ini.



Pembahasan:

Untuk Gambar (a):

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

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

sehingga diperoleh:

$$\tau = r \cdot F = 0,05 (700) = 35 \text{ Nm}$$

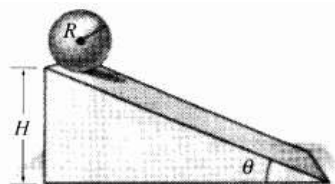
Untuk Gambar (b), oleh karena lengan membentuk sudut, maka lengan gaya lebih pendek:

$$r = 0,05 (\sin 60^\circ)$$

sehingga diperoleh

$$\tau = r \cdot F = 0,05 (\sin 60^\circ) (700) = 30 \text{ Nm}$$

2. Berapa laju bola padat dengan massa M dan radius R ketika mencapai kaki bidang miring jika mulai dari keadaan diam pada ketinggian vertikal H dan menggelinding ke bawah tanpa selip?



Pembahasan:

Gunakan hukum kekekalan energi dengan memperhitungkan energi kinetik rotasi. Energi total pada tiap titik dengan jarak y di atas dasar bidang miring adalah:

$$E_{K.Tot} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 + mgy$$

Jika pada posisi puncak bidang miring diketahui $y = h$ dan $v = \omega = 0$, sedangkan pada posisi dasar bidang miring diketahui $y = 0$, maka energi totalnya:

$$\begin{aligned} E_{Tot.Awal} &= E_{Tot.Akhir} \\ \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}I\omega_1^2 + mgh_1 &= \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}I\omega_2^2 + mgh_2 \\ 0 + 0 + mgh_1 &= \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}I\omega_2^2 + 0 \\ mgh &= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2 \end{aligned}$$

Momen inersia untuk bola padat di sekitar sumbu yang melalui pusat massanya adalah:

$$I = \frac{2}{5}MR^2$$

Karena bola menggelinding tanpa selip, kecepatan v pusat massa terhadap titik kontak (yang selama sesaat berada dalam keadaan diam) sama dengan kecepatan sebuah titik di sisi relatif terhadap pusat, maka $\omega = v/R$. Sehingga persamaan di atas menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}Mv^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{2}{5}MR^2\right)\left(\frac{v^2}{R^2}\right) &= Mgh \\ \frac{1}{2}v^2 + \frac{2}{10}v^2 &= gh \\ v &= \sqrt{\frac{10}{7}gh} \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas tampak bahwa nilai v tidak bergantung pada massa M maupun radius R dari bola tersebut.

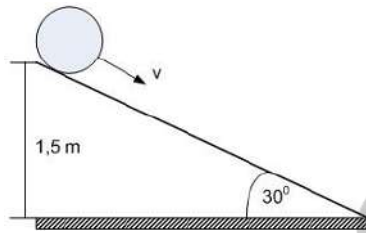
7.7. Rangkuman

1. Gerak melingkar adalah gerak sebuah benda yang membentuk lingkaran dengan laju konstan.
2. Gerak rotasi adalah gerak suatu benda yang setiap titik pada benda itu menempuh lintasan berbentuk lingkaran.
3. Lengan gaya adalah jarak tegak lurus terhadap sumbu rotasi dan garis imajiner yang ditarik sepanjang arah gaya.
4. Momen Inersia suatu benda sebanding dengan massa partikel dan kuadrat jaraknya.
5. Momentum sudut adalah kuantitas atau ukuran gerak rotasi.

7.8. Soal Latihan

1. Dua buah partikel masing-masing bermassa 1 kg dan 2 kg dihubungkan satu sama lain dengan sebuah batang yang massanya dapat diabaikan terhadap massa kedua partikel. Panjang batang 0,5 m. Bila batang diputar pada suatu sumbu yang jaraknya 0,2 m dari partikel yang bermassa 2 kg dengan kecepatan sudut 1 rad/s, berapakah besar momen inersia sistem itu?
2. 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?
3. 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 5 rad/s^2 . Berapakah energi kinetik bola itu setelah berputar selama 2 detik?
4. Sebuah bola pejal dengan massa 6 kg dan berjari-jari 20 cm, bergerak pada kelajuan 30 m/s sambil berputar. Berapakah total energi kinetiknya?

5. Sebuah silinder pejal homogen dengan jari-jari 20 cm dan massa 2 kg yang berada di puncak bidang miring yang licin meluncur menuruni bidang miring.
 - (a) Berapakah kecepatan benda pada saat tiba di dasar bidang miring?
 - (b) Berapakah kecepatan sudut benda itu di dasar bidang miring?



6. Sebuah roda 8 kg radius girasinya (jarak antara poros putaran benda dan suatu titik) 25 cm. Berapakah:
 - (a) Momen inersianya?
 - (b) Torsi yang dapat memberi percepatan sudut sebesar 3 rad/s^2 pada roda?
7. Sebuah bola pejal yang massanya 4 kg dan berjari-jari 15 cm menggelinding dari puncak bidang miring kasar yang membentuk sudut kemiringan 30° terhadap tanah. Jika jarak antara puncak dengan dasar bidang miring adalah 20 m dan bola dilepas tanpa kecepatan awal. Berapakah energi kinetik bola itu pada saat tiba di dasar bidang miring?

7.9. Referensi

-
- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. *Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics: Edisi X*. USA: Prentice Hall.
- Kramer, L. 2008. *University Physics: 12th Edition*. USA: Pearson Education, Inc.

- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. *Physics for Engineers and Scientists: Edisi III*. USA: Norton & Co.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics: Edisi X*. USA: John Weley.

BAB 8.

ELASTISITAS BAHAN

Elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan kepada benda itu dihilangkan (dibebaskan). Banyak benda yang 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. Tetapi banyak juga benda yang mengalami perubahan permanen, dan benda seperti ini disebut sebagai benda tidak elastik.

Materi yang akan dipelajari pada pokok bahasan ini meliputi: Tegangan, Modulus Elastis, Hukum Hooke, Energi Potensial Pegas, Gerak Harmonis Sederhana Pegas. Selain materi tersebut, juga dilengkapi dengan Contoh Soal, dan Soal-Soal Latihan.

8.1. Tegangan

Tegangan didefinisikan sebagai hasil bagi antara gaya yang bekerja pada suatu benda dengan luas penampangnya. Tegangan (stress) adalah gaya yang bekerja pada permukaan seluas satu satuan. Tegangan merupakan besaran skalar yang memiliki satuan $N.m^{-2}$ atau Pascal (Pa). Tegangan pada sebuah benda menyebabkan benda itu mengalami perubahan bentuk.

$$\text{Tegangan}(\sigma) = \frac{\text{gaya}}{\text{luas permukaan}} = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(8.1)$$

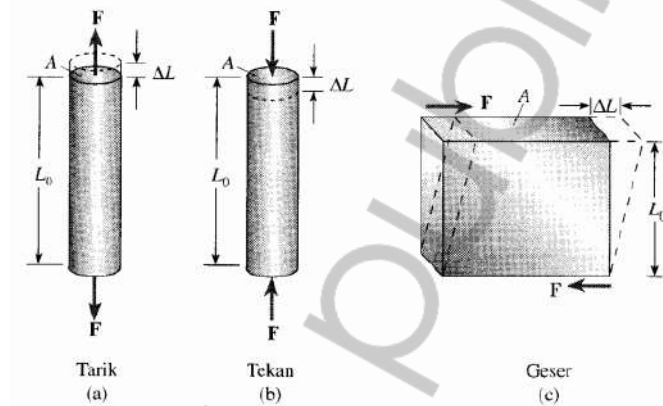
Di mana:

σ = tegangan (N/m^2)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m^2)

Ada tiga jenis tegangan, yaitu tegangan tarik yang menyebabkan pertambahan panjang (Gambar 8.1.a), tegangan tekan yang menyebabkan pengurangan atau penyusutan panjang (Gambar 8.1.b), dan tegangan geser yang menyebabkan perubahan bentuk (Gambar 8.1.c).



Gambar 8.1 Jenis Tegangan pada Benda Padat

Regangan (*strain*) adalah pertambahan panjang suatu benda yang disebabkan oleh dua gaya yang sama besar dengan arah berlawanan dan menjauhi ujung benda.

$$\text{regangan} = \frac{\text{perubahan panjang}}{\text{panjang awal}} = \frac{\Delta L}{L_0}$$

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

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (8.2)$$

Di mana:

ε = regangan (%)

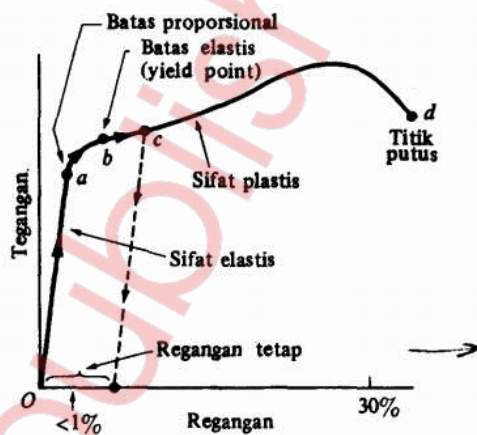
ΔL = perubahan panjang (m)

L_0 = panjang awal (m)

Tegangan tekan adalah memendeknya suatu benda yang disebabkan oleh dua gaya yang sama besar dengan arah berlawanan dan masing-

masing menuju tengah-tengah benda. Sedangkan tegangan geser adalah bergesernya permukaan suatu benda yang disebabkan oleh dua gaya yang sama besar dengan arah berlawanan dan masing-masing bekerja pada sisi benda.

Apabila suatu jenis tegangan digambarkan pada suatu diagram, maka akan diperoleh kurva yang bentuknya berbeda-beda yang sesuai dengan bahan yang diuji tegangannya. Gambar 8.2 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 batas proporsional. Kemudian pada satu titik tertentu benda itu sampai pada batas elastik di mana benda itu akan kembali ke panjang semula jika gaya dilepaskan. Jika benda diregangkan melewati batas elastik, maka akan memasuki daerah plastis di mana 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. Tabel 8.1 menunjukkan daftar kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan kekuatan geser maksimum untuk berbagai materi.



Gambar 8.2 Diagram Tegangan Regangan

Tabel 8.1 Kekuatan Maksimum Bahan

Bahan	Kekuatan Tarik (N/m ²)	Kekuatan Tekan (N/m ²)	Kekuatan Geser (N/m ²)
Besi, gips	170 × 10 ⁶	550 × 10 ⁶	170 × 10 ⁶
Baja	500 × 10 ⁶	500 × 10 ⁶	250 × 10 ⁶
Kuningan	250 × 10 ⁶	250 × 10 ⁶	200 × 10 ⁶
Aluminium	200 × 10 ⁶	200 × 10 ⁶	200 × 10 ⁶
Beton	2 × 10 ⁶	20 × 10 ⁶	2 × 10 ⁶
Batu bata		35 × 10 ⁶	
Marmer		80 × 10 ⁶	
Granit		170 × 10 ⁶	
Kayu (pinus)			
(sejajar dengan urat kayu)	40 × 10 ⁶	35 × 10 ⁶	5 × 10 ⁶
(tegak lurus terhadap urat kayu)		10 × 10 ⁶	
Nilon	500 × 10 ⁶		
Tulang (tungkai)	130 × 10 ⁶	170 × 10 ⁶	

8.2. Modulus Elastisitas

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

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

$$E = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}}$$

$$E = \frac{F L_0}{A \Delta L} \dots\dots\dots (8.3)$$

Di mana:

E = Modulus Elastis (N/m²)

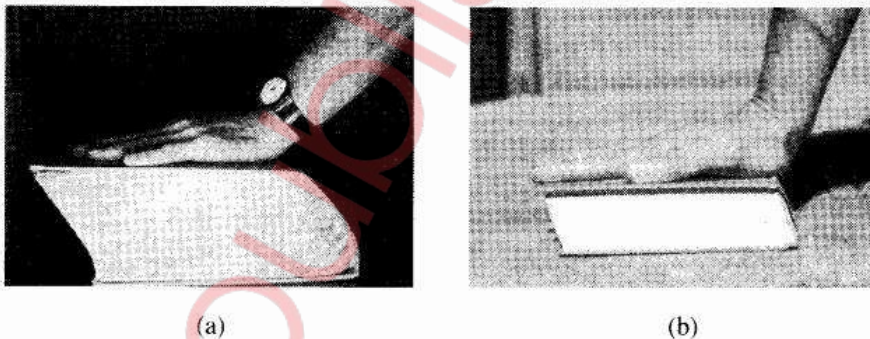
- F = gaya (N)
- L_0 = panjang awal (m)
- A = luas penampang (m^2)
- ΔL = perubahan panjang (m)

Modulus Luncur (G) atau modulus geser didefinisikan sebagai perbandingan tegangan luncur dengan regangan luncur. Modulus luncur suatu bahan dinyatakan sebagai gaya per satuan luas. Pada umumnya nilai modulus luncur suatu bahan mencapai setengah sampai sepertiga nilai modulus Young. Modulus luncur disebut juga modulus ketegaran (*modulus of rigidity*) atau modulus puntiran (*torsion modulus*).

$$G = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}}$$

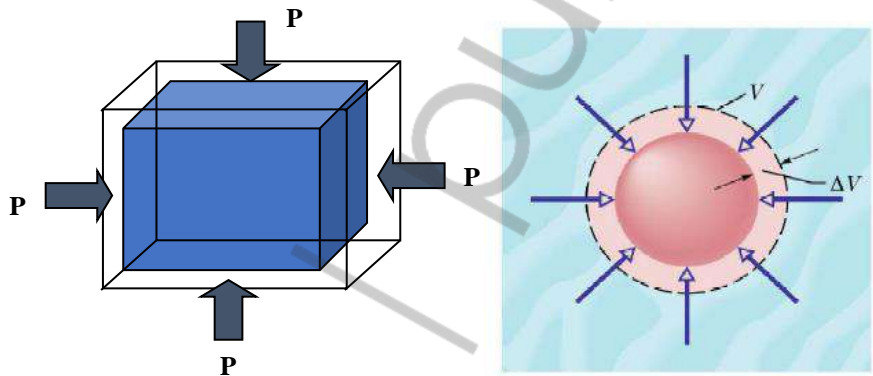
$$G = \frac{F L_0}{A \Delta L} \dots \dots \dots (8.4)$$

Di mana 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 seperti pada tarikan dan tekanan). Gambar 8.3 menunjukkan bahwa buku yang lebih tebal (Gambar 8.3.a) akan bergeser lebih jauh jika dibandingkan dengan buku yang lebih tipis (Gambar 8.3.b) untuk gaya geser yang sama besar.



Gambar 8.3 Perbandingan Pergeseran

Jika benda mengalami gaya internal dari semua sisi, maka volumenya akan berkurang. Pada umumnya benda jenis fluida mengalami hal di atas, karena fluida memberikan tekanan pada benda di semua arah seperti pada Gambar 8.4. Tekanan yang terjadi sebagai efek gaya per satuan luas merupakan ekuivalen dengan tegangan seperti pada persamaan 8.5. Maka dapat dikatakan perubahan volume ΔV sebanding dengan volume awal V_0 dan dengan penambahan tekanan ΔP . Maka persamaan modulus Bulk (B) diperlihatkan pada persamaan 8.6.



Gambar 8.4 Benda yang Menerima Tekanan Zat Cair dari Segala Arah

$$\sigma = B \frac{\Delta V}{V} \dots\dots\dots (8.5)$$

$$B = - \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V_0}} \dots\dots\dots (8.6)$$

Tanda minus menunjukkan bahwa volume berkurang terhadap penambahan tekanan. Nilai-nilai modulus Young, modulus geser dan modulus Bulk dapat dilihat pada Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Nilai Modulus Elastis

Bahan	Modulus Elastik, E (N/m ²)	Modulus Geser, G (N/m ²)	Modulus Bulk, B (N/m ²)
<i>Padat</i>			
Besi, gips	100×10^9	40×10^9	90×10^9
Baja	200×10^9	80×10^9	140×10^9
Kuningan	100×10^9	35×10^9	80×10^9
Aluminium	70×10^9	25×10^9	70×10^9
Beton	20×10^9		
Batu bata	14×10^9		
Marmar	50×10^9		70×10^9
Granit	45×10^9		45×10^9
Kayu (pinus)			
(sejajar dengan urat kayu)	10×10^9		
(tegak lurus terhadap urat kayu)	1×10^9		
Nilon	5×10^9		
Tulang (tungkai)	15×10^9	80×10^9	
<i>Cair</i>			
Air			2.0×10^9
Alkohol (ethyl)			1.0×10^9
Air raksa			2.5×10^9
<i>Gas[†]</i>			
Udara, H ₂ , He, CO ₂			1.01×10^9

[†]Pada tekanan atmosfer normal; tidak ada perubahan temperatur selama proses.

8.3. Hukum Hooke

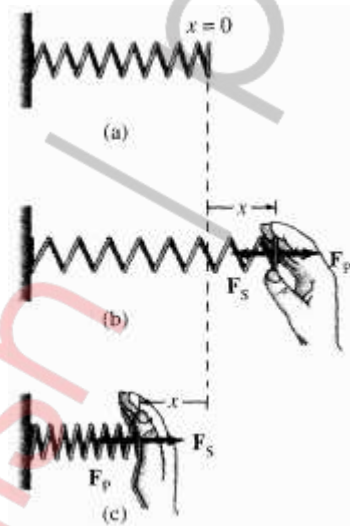
Jika pada awalnya pegas berada pada posisi normal (tidak teregang) memiliki panjang pegas x sama dengan nol karena dianggap sebagai titik acuan (Gambar 8.5.a). Kemudian pegas direntangkan oleh tangan seseorang yang memberikan gaya F_P ke kanan (arah positif), maka pegas akan menarik ke belakang dengan gaya F_S (Gambar 8.5.b). Jika tangan seseorang menekan pegas ($x < 0$), maka pegas akan mendorong kembali dengan gaya F_S di mana $F_S > 0$ karena $x < 0$ (Gambar 8.5.c). Hukum Hooke menyatakan bahwa bagi seseorang yang memegang pegas teregang atau tertekan sejauh x dari panjang normalnya (tidak teregang), dibutuhkan gaya F_P sebesar:

$$F_p = kx \dots\dots\dots (8.7)$$

Di mana konstanta perbandingan k disebut konstanta pegas (ukuran kekakuan pegas) yang nilainya pada umumnya berbeda untuk pegas yang berbeda. Pegas itu sendiri memberikan gaya dengan arah yang berlawanan, sebesar:

$$F_s = kx \dots\dots\dots (8.8)$$

Gaya F_s disebut sebagai gaya pemulihan karena pegas memberikan gayanya pada arah yang berlawanan dengan perpindahan (sehingga bertanda minus) dan bekerja untuk mengembalikan dirinya ke panjang normalnya.



Gambar 8.5 Gaya Pegas

8.4. Energi Potensial Pegas

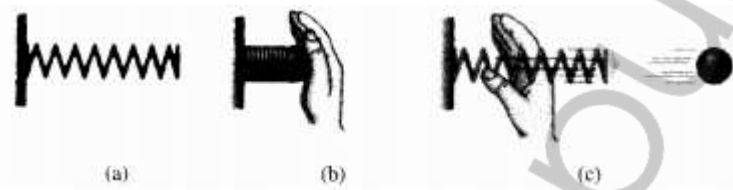
Energi potensial pegas merupakan salah satu jenis energi potensial yang berhubungan dengan bahan-bahan elastis. Misalnya saja sebuah pegas sederhana (Gambar 8.6) akan mempunyai energi potensial ketika ditekan (atau diregangkan), karena ketika dilepaskan, pegas itu dapat melakukan kerja pada sebuah bola seperti yang ditunjukkan oleh gambar.

Pada sebuah pegas yang teregang (Gambar 8.5.b), gaya F_p tidak konstan tetapi berubah-ubah sepanjang jarak x (secara linier berubah-ubah dari nol pada posisi tidak teregang sampai kx ketika teregang sepanjang x). Jika F diasumsikan sebagai gaya rata-ratanya, maka:

$$\overline{F_p} = \frac{1}{2}(0 + kx) = \frac{1}{2}kx \dots\dots\dots(8.9)$$

Maka usaha yang dilakukan oleh pegas adalah:

$$W = \overline{F_p}x = \frac{1}{2}kx \cdot x = \frac{1}{2}kx^2 \dots\dots\dots(8.10)$$



Gambar 8.6 Energi Potensial Pegas

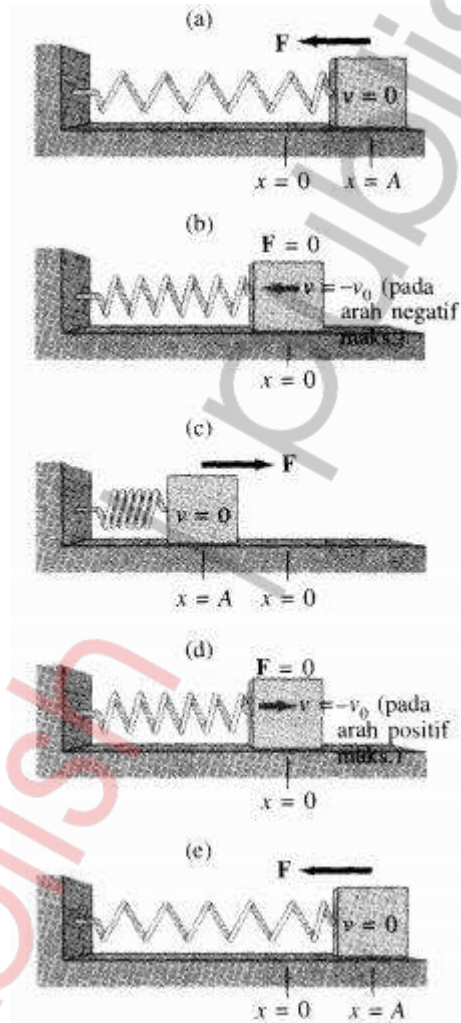
Di mana x adalah panjang tekanan atau rentangan pegas yang diukur dari posisi normal (posisi acuan $x = 0$). Sehingga diperoleh energi potensial pegas atau disebut sebagai energi potensial elastik berbanding lurus dengan kuadrat panjang rentangannya, yaitu:

$$E_{P \text{ Elastik}} = \frac{1}{2}kx^2 \dots\dots\dots(8.11)$$

8.5. Gerak Harmonis Sederhana Pegas

Ketika pegas pada awalnya diregangkan sampai jarak $x = A$ (Gambar 8.7.a) dan kemudian dilepaskan. Pegas akan memberikan gaya pada massa yang menariknya ke posisi setimbang. Tetapi karena massa telah dipercepat oleh gaya maka massa melewati posisi setimbang dengan laju cukup tinggi. Pada waktu massa mencapai posisi setimbang, gaya padanya turun sampai nol, tetapi lajunya pada titik ini maksimum (Gambar 8.7.b). Kemudian massa bergerak terus ke kiri, gaya padanya bekerja untuk memperlambat massa itu dan menghentikannya sejenak pada $x = -A$ (Gambar 8.7.c). Massa kemudian mulai bergerak kembali dengan arah yang berlawanan (Gambar 8.7.d) sampai mencapai titik awalnya $x = A$

(Gambar 8.7.e). Gerak ke depan dan ke belakang kemudian diulang kembali secara simetris antara $x = A$ dan $x = -A$.



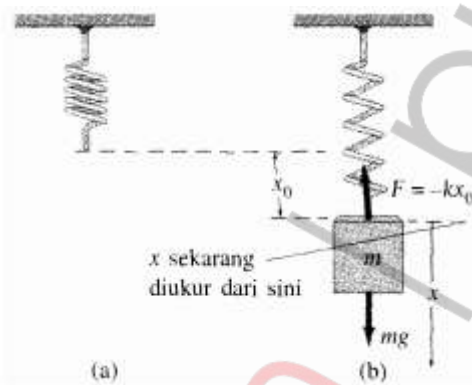
Gambar 8.7 Gerak Harmonis Pegas

Beberapa istilah yang perlu dipahami di sini di antaranya adalah jarak x massa dari titik setimbang pada setiap saat disebut simpangan. Simpangan maksimum adalah jarak terbesar dari titik setimbang dan biasa

disebut dengan 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) adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus lengkap. Dan frekuensi (f) adalah jumlah siklus lengkap per detik. Frekuensi biasanya dinyatakan dalam hertz (Hz), di mana $1 \text{ Hz} = 1$ siklus per detik. Hubungan antara frekuensi dan periode adalah sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(8.12)$$



Gambar 8.8 Pegas Tergantung Vertikal

Untuk pegas yang tergantung vertikal (Gambar 8.8.a), pada dasarnya sama seperti pegas yang terletak horizontal. Karena adanya gaya gravitasi, maka panjang pegas vertikal dalam posisi setimbang akan lebih panjang dari pada ketika posisinya horizontal (Gambar 8.8). Pegas berada dalam keadaan setimbang ketika

$$\Sigma F = 0 = mg - kx_0$$

(Gambar 8.8.b), sehingga pegas teregang dengan jarak tambahan $x_0 = mg/k$ agar setimbang. Jika x diukur dari posisi setimbang yang baru di atas, maka persamaan Hooke dapat digunakan langsung. Untuk meregangkan dan menekan pegas, harus dilakukan usaha. Maka energi potensial disimpan pada pegas yang teregang atau tertekan. Karena energi mekanik

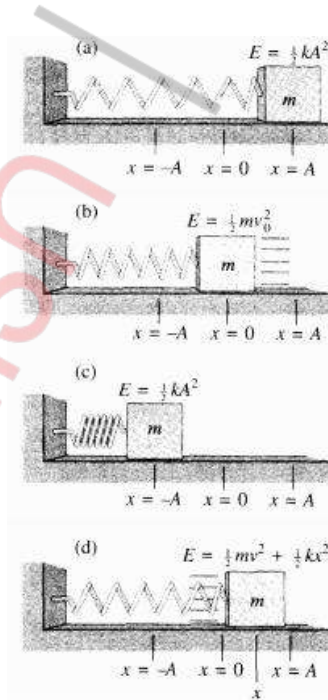
total E dari sistem masa-pegas merupakan jumlah energi kinetik dan energi potensial, maka diperoleh:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 \dots\dots\dots (8.13)$$

Di mana v adalah kecepatan massa m ketika berjarak x dari posisi setimbang. Selama tidak ada gesekan, energi mekanik total E tetap konstan. Pada titik ekstrem $x = A$ dan $x = -A$, semua energi tersimpan pada pegas sebagai energi potensial (dan tetap sama untuk ditekan atau diregangkan sampai amplitudo penuh). Pada titik itu, massa berhenti sebentar pada waktu berubah arah sehingga $v = 0$ (Gambar 8.9.a dan 8.9.c), dan diperoleh:

$$E = \frac{1}{2}m(0)^2 + \frac{1}{2}kA^2$$

$$E = \frac{1}{2}kA^2 \dots\dots\dots (8.14)$$



Gambar 8.9 Energi Total Pegas yang Berosilasi

Dapat dikatakan bahwa, energi mekanik total dari osilator harmonis sederhana sebanding dengan kuadrat amplitudonya. Pada titik setimbang ($x = 0$), semua energi merupakan energi kinetik (Gambar 8.9.b):

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 + \frac{1}{2}k(0)^2$$

$$E = \frac{1}{2}mv_0^2 \dots\dots\dots(8.15)$$

Di mana v_0 adalah kecepatan maksimum selama gerak (yang terjadi pada $x = 0$). Pada titik-titik pertengahan, energi berbentuk sebagian kinetik dan sebagian potensial. Dari persamaan (8.13), (8.14) dan (8.15) diperoleh:

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

$$v^2 = \frac{k}{m}(A^2 - x^2)$$

$$v^2 = \frac{k}{m}A^2 \left(1 - \frac{x^2}{A^2}\right)$$

Dari persamaan (8.14) dan (8.15) diketahui bahwa:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2}kA^2$$

$$v_0^2 = \frac{k}{m}A^2$$

Sehingga diperoleh persamaan:

$$v = \pm v_0 \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} \dots\dots\dots(8.16)$$

Persamaan di atas menyatakan kecepatan v massa m di semua posisi x , karena massa m bergerak bolak-balik sehingga arahnya dalam $+$ atau $-$ tetapi besarnya bergantung pada jarak x .

8.6. Contoh Soal

1. Dalam suatu percobaan untuk mengukur modulus Young, sebuah beban 1000 lb yang digantungkan pada kawat baja yang panjangnya 8 ft dan penampangnya 0,025 in², ternyata meregangkan kawat itu

sebesar 0,01 ft melebihi panjangnya sebelum diberi beban. Berapakah tegangan, regangan dan harga modulus Young bahan baja kawat itu?

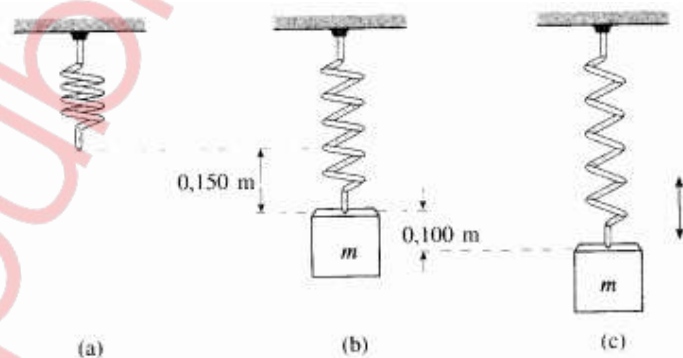
Pembahasan:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{1000 \text{ lb}}{0,025 \text{ in}^2} = 40.000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0,01 \text{ ft}}{8 \text{ ft}} = 0,00125$$

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{40.000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}}{0,00125} = 32 \cdot 10^6 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

2. Sebuah pegas diletakkan seperti gambar (a), kemudian pegas itu meregang 0,150 m ketika massa 0,3 kg digantung padanya (gambar b). Pegas kemudian diregangkan 0,1 m dari titik setimbang dan dilepaskan (gambar c). Tentukan:
- Konstanta pegas
 - Amplitudo isolasi
 - Kecepatan maksimum v_0
 - Besar kecepatan v ketika massa berada 0,05 m dari kesetimbangan
 - Besar percepatan maksimum massa itu
 - Energi totalnya
 - Energi kinetik dan potensial pada setengah amplitudo ($x = \pm \frac{1}{2} A$)



Pembahasan:

- (a) Karena pegas teregang 0,150 m ketika 0,3 kg digantungkan padanya, maka diperoleh nilai k sebagai berikut:

$$k = \frac{F}{x} = \frac{m \cdot g}{x} = \frac{(0,3 \text{ kg})(9,8 \frac{m}{s^2})}{0,150 \text{ m}} = 19,6 \frac{N}{m}$$

- (b) Karena pegas diregangkan 0,1 dari titik setimbang dan tidak diberi laju awal, maka $A = 0,1 \text{ m}$.
- (c) Kecepatan maksimum v_0 diperoleh ketika massa melewati titik setimbang di mana semua energi merupakan energi kinetik, dengan kekekalan energi sebagai berikut:

$$v_0 = A \sqrt{\frac{k}{m}} = (0,1 \text{ m}) \sqrt{\frac{19,6 \frac{N}{m}}{0,3 \text{ kg}}} = 0,808 \frac{m}{s}$$

- (d) Besar kecepatan v ketika berada di 0,05 m dari kesetimbangan adalah:

$$v = v_0 \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} = (0,808 \frac{m}{s}) \sqrt{1 - \frac{(0,05 \text{ m})^2}{(0,1)^2}} = 0,7 \frac{m}{s}$$

- (e) Berdasarkan hukum II Newton bahwa $F = ma$, maka percepatan maksimum terjadi gaya paling besar, yaitu ketika $x = A = 0,1 \text{ m}$. Sehingga

$$a = \frac{F}{m} = \frac{kA}{m} = \frac{(19,6 \frac{m}{s^2})(0,1 \text{ m})}{0,3 \text{ kg}} = 6,53 \frac{m}{s^2}$$

- (f) Karena $k = 19,6 \text{ N/m}$ dan $A = 0,1 \text{ m}$, maka energi totalnya adalah:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}(19,6 \frac{m}{s^2})(0,1 \text{ m})^2 = 9,8 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

- (g) Pada $x = \pm \frac{1}{2} A$, diperoleh:

$$E_P = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}k\left(\frac{1}{2}A\right)^2 = \frac{1}{2}(19,6 \frac{N}{m})\left(\frac{0,1 \text{ m}}{2}\right)^2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

$$E_K = E - E_P = 9,8 \cdot 10^{-2} \text{ J} - 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ J} = 7,3 \cdot 10^{-2} \text{ J}$$

8.7. Rangkuman

1. Tegangan adalah perbandingan antara gaya yang diberikan dengan luas penampang persatuan luas.
2. Regangan adalah perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang awal
3. Berdasarkan arah gaya yang berkerja maka tegangan terbagi atas 3 macam yaitu tegangan tarik, tegangan tekan, dan tegangan geser.
4. Tegangan tekan adalah memendeknya suatu benda yang disebabkan oleh dua gaya yang sama besar dengan arah berlawanan dan masing-masing menuju tengah-tengah benda.
5. Tegangan geser adalah bergesernya permukaan suatu benda yang disebabkan oleh dua gaya yang sama besar dengan arah berlawanan dan masing-masing bekerja pada sisi benda.
6. Modulus Elastis adalah perbandingan antara tegangan dan regangan.
7. Modulus Bulk adalah perbandingan antara perubahan tekanan hidrostatik dengan regangan volume yang terjadi.

8.8. Soal-Soal Latihan

1. Untuk menarik sebuah pegas sejauh 10 cm diperlukan gaya 10 N. Bila panjang pegas adalah 40 cm, dan pegas ditekan dan ditahan agar panjang menjadi 35 cm. Tentukan:
 - (a) Tetapan pegas
 - (b) Energi tersimpan dalam pegas yang ditekan.
2. Sebuah pegas mempunyai konstanta pegas k sebesar 440 N/m. Seberapa jauh pegas ini harus direntangkan untuk menyimpan energi potensial sebesar 25 J?
3. Pegas vertikal (abaikan massanya) yang konstanta pegasnya 900 N/m, dipasang di meja dan ditekan sepanjang 0,15 m.
 - (a) Berapa laju yang bisa ia berikan ke bola 0,3 kg ketika dilepaskan?
 - (b) Seberapa tinggi dari posisi awalnya (pegas tertekan) bola itu akan melayang

4. Sebuah pegas menggantung dalam keadaan normal panjangnya 25 cm. Bila pada ujung pegas digantungkan sebuah benda yang mempunyai massa 80 gr, panjang pegas menjadi 30 cm. Kemudian benda itu disimpangkan sejauh 5 cm. Berapakah energi potensial elastik pegas?
5. Sebuah massa 225 kg digantungkan pada ujung bawah sebuah batang sepanjang 4 m dan luas penampang 0,5 cm². Karena itu batang itu memanjang 1 mm. Hitung modulus Young batang tersebut!
6. Sebuah pegas memanjang 10 cm apabila massa 1,5 kg digantungkan padanya. Kalau massa 4 kg digantungkan dan diosilasikan pada pegas itu dengan amplitudo 12 cm. Tentukanlah:
 - (a) Tetapan pegasnya
 - (b) Gaya pemulih maksimal yang bekerja pada pegas.
 - (c) Periode getaran.
 - (d) Kecepatan maksimum dan percepatan maksimum yang dicapai massa itu.
 - (e) Kecepatan dan percepatan massa saat simpangannya 9 cm.

8.9. Daftar Pustaka

- Abdullah, M. 2016. *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. *Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal*. Jakarta: Erlangga.
- Course Note *FISIKA*, PEDC Bandung.
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. *Applied Physics: Edisi X*. USA: Prentice Hall.
- Francis W.Sears, 1991. *FISIKA UNIVERSITAS*. Jakarta: Erlangga
- Frederick J. Bueche, 1994. *FISIKA: Seri Buku Schaum*. Jakarta: Erlangga.
- Ganjanti Aby Saroyo, 2002. *MEKANIKA: Seri Fisika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Kramer, L. 2008. *University Physics: 12th Edition*. USA: Pearson Education, Inc.
- Lubis, Riani. 2008. *FISIKA DASAR 1*. Jakarta: Unikom.

- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. *Physics for Engineers and Scientists: Edisi III*. USA: Norton & Co.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. *Fundamentals of Physics: Edisi X*. USA: John Weley.

BAB 9.

KALOR

Seorang pengrajin logam, dalam pembuatan kerajinannya memerlukan kalor (panas) untuk meleburkan logam. Setelah logam melebur atau mencair, pengrajin logam dapat membuat kerajinan sesuai bentuk dan model yang diinginkan. Untuk meleburkan logam dibutuhkan panas yang sangat tinggi. Berdasarkan proses tersebut, bagaimanakah peran kalor dalam mengubah wujud suatu zat? Perubahan wujud apa yang terjadi pada peristiwa tersebut?

Perpindahan kalor akan terjadi bila ada perbedaan suhu antara dua sistem. Kalor akan berpindah dari sistem yang bersuhu tinggi ke sistem yang bersuhu rendah. Perpindahan kalor merupakan ilmu yang mempelajari tentang gerakan panas pada suatu zat atau berpindahnya kalor dari tempat asal ke tempat lain.

Materi yang akan dijelaskan pada pokok bahasan ini meliputi: Pengertian Kalor, Perpindahan Kalor. Selain itu, materi ini juga dilengkapi dengan Contoh Soal, dan Soal-Soal Latihan.

9.1. Kalor

Istilah kalor pertama kali diperkenalkan oleh Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), seorang ahli kimia berkebangsaan Prancis. Saat itu, kalor dianggap sebagai sejenis zat alir yang tidak dapat dilihat mata. Zat alir itu disebut *caloric*, dan satuan kalor yang ditetapkan yaitu kalori (kal), dimana satu kalori didefinisikan sebagai sejumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 gram air sebesar 1°C. *Caloric* mengalir dari suatu benda ke benda yang lain. Bila dua buah benda yang berbeda suhunya dicampur, *caloric* akan mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah.

Saat Benyamin Thompson atau Count Rumford (1753-1814) melakukan pengeboran, potongan-potongan logam yang diperoleh semua menjadi panas, padahal tidak dilakukan pemanasan (pembakaran). Untuk mengetahui hakikat kalor, Robert Mayer (1814-1878), ilmuwan yang berkebangsaan Jerman mengguncang-guncang air yang ada di dalam botol. Setelah diguncang-guncangkan, ternyata suhu air naik. Kenaikan suhu air tersebut menunjukkan bahwa jumlah kalor dalam air bertambah. Pertambahan kalor dalam air disebabkan oleh adanya guncangan yang berulang-ulang (energi kinetik). Berdasarkan kenyataan itu selanjutnya disimpulkan bahwa kalor merupakan salah satu bentuk energi.

Kalor dan suhu merupakan dua besaran yang sangat erat hubungannya, tetapi sama sekali berbeda. Dua bejana diisi air dengan jumlah berbeda kemudian dipanaskan dengan cara yang sama. Setelah beberapa saat, bejana yang berisi air sedikit memiliki ternyata suhu air jauh lebih tinggi dibandingkan dengan suhu air pada bejana yang berisi air banyak. Padahal, kedua air itu menerima jumlah kalor yang sama (dibakar dengan pembakar yang sama). Hal tersebut menunjukkan bahwa kalor dan suhu merupakan dua besaran yang berbeda. Kalor merupakan salah satu bentuk energi (energi panas), sedangkan suhu merupakan ukuran atau tingkat panas suatu benda.

Kalor adalah bentuk energi yang berpindah dari benda yang suhunya tinggi ke benda yang suhunya rendah ketika kedua benda tersebut bersentuhan. Jika suatu zat menyerap kalor, maka suhunya akan naik dan jika suatu zat melepaskan kalor, maka suhunya akan turun. Perhatikan Gambar 9.1. Bila air panas (Gambar 9.1.a) dimasukkan ke dalam es (Gambar 9.1.b) maka air panas akan melepaskan kalor sedangkan es akan menerima kalor sehingga air panas berubah menjadi air hangat (Gambar 9.1.c). Pada proses pencampuran tersebut, kalor yang dilepaskan oleh air panas diserap oleh es. Jadi, jumlah kalor yang dilepaskan sama dengan jumlah kalor yang diserap. Pernyataan ini selanjutnya dikenal sebagai *asas Black*. Jika jumlah kalor yang dilepaskan atau diserap dilambangkan Q , secara matematis asas Black dapat dituliskan:

$$Q_{lepas} = Q_{serap}$$

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa benda yang melepaskan kalor suhunya berkurang dan benda yang menyerap kalor suhunya bertambah.



Gambar 9.1 Perpindahan Kalor

Jumlah kalor (Q) yang diserap atau dilepaskan oleh suatu zat yaitu:

$$Q = m.c.\Delta T \dots\dots\dots(9.1)$$

Dimana:

- Q = jumlah kalor (J)
- m = massa zat (kg)
- c = kalor jenis zat (J/kg°C)
- ΔT = perubahan temperature (°C)

Satuan kalor ialah kalori (kal) atau dimana joule (J), 1 kal = 4,2 J atau 1 J = 0,24 kal.

Kalor jenis zat (c) adalah banyaknya kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 1 kg zat sebesar 1°C. Satuan kalor jenis zat dapat dinyatakan dalam satuan joule/kg°C atau kal/kg°C. Berdasarkan persmaan 9.1, maka kalor jenis suatu zat dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan berikut:

$$c = \frac{Q}{m.\Delta T} \dots\dots\dots(9.2)$$

Dimana:

- c = kalor jenis (J/kg°C)
- Q = Kalor (J)
- m = massa (kg)
- ΔT = Perbedaan suhu (°C)

Kalor jenis suatu zat dapat diukur dengan kalorimeter. Kalorimeter berupa bejana kecil yang terbuat dari tembaga. Bejana kecil itu ditempatkan di dalam bejana besar yang juga terbuat dari tembaga dengan diberi alas gabus (bahan isolator). Kemudian bejana besar diberi tutup berlubang dua yang terbuat dari kayu. Satu lubang untuk termometer dan lubang yang lain untuk pengaduk. Adapun prinsip pengukuran kalor jenis benda dengan menggunakan kalorimeter adalah sebagai berikut. Sejumlah air yang sudah diketahui massa dan suhunya dimasukkan ke dalam kalorimeter. Ke dalam kalorimeter itu selanjutnya dimasukkan pula benda yang sudah diketahui massa dan suhunya. Setelah panas merata, dengan menggunakan asas Black, kalor jenis benda dapat diketahui.

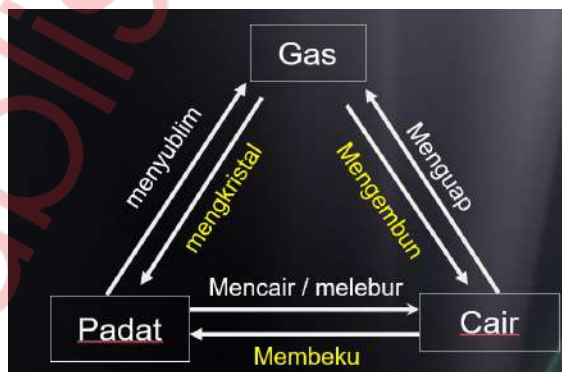
Kapasita Kalor (C) adalah kemampuan suatu zat menyerap kalor untuk menaikkan suhunya menjadi 1°C lebih tinggi. Kapasitas kalor dapat diketahui nilainya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C = m.c \dots\dots\dots (9.3)$$

Nilai c pada persamaan 9.2 dimasukkan ke dalam persamaan 9.3 sehingga diperoleh:

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

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \dots\dots\dots (9.4)$$



Gambar 9.2 Pengaruh Kalor terhadap Perubahan Wujud Zat

1. Perubahan wujud zat yang melepaskan kalor



Gambar 9.3 Perubahan Wujud Zat yang Melepaskan Kalor

2. Perubahan wujud zat yang memerlukan kalor



Gambar 9.4 Perubahan Wujud Zat yang Memerlukan Kalor

Kalor laten (L) adalah kalor yang dilepas atau diserap pada saat perubahan wujud zat. Satuannya ialah J/kg . Kalor laten terbagi menjadi:

1. Kalor Lebur
2. Kalor Uap

Kalor lebur adalah kalor yang diperlukan oleh satu satuan massa zat padat untuk mencair atau melebur pada titik leburnya. Sedangkan titik

lebur adalah suhu zat ketika melebur. Kalor beku adalah kalor yang diperlukan oleh satu satuan massa zat cair untuk membeku pada titik bekunya. Sedangkan titik beku adalah suhu zat ketika membeku. Kalor lebur dapat diketahui nilainya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = m.L$$

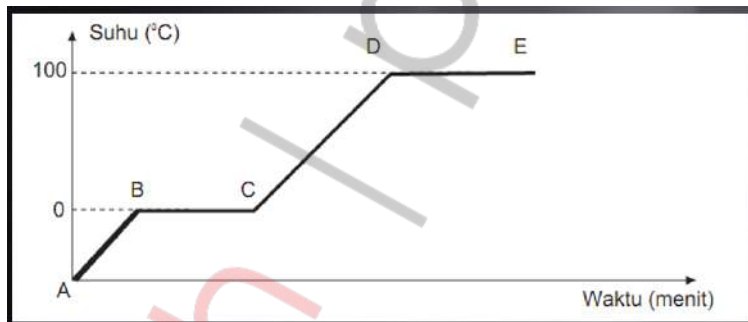
$$L = \frac{Q}{m} \dots \dots \dots (9.5)$$

Dimana:

Q = Kalor (J)

L = Kalor Laten (J/kg)

m = Jumlah zat (kg)



Gambar 9.5 Titik Lebur Es dan Titik Beku Air

Perhatikan Gambar 9.5. Pada gambar 9.5, Titik A menunjukkan temperatur es dibawah 0°C, kemudian dipanaskan hingga mencapai 0°C yaitu titik B, garis A-B menunjukkan wujud es (padat). Pada saat di titik B, es terus dipanaskan (diberikan kalor), suhu tetap yaitu 0°C hingga pada titik C. Maka, pada titik B-C, es mengalami proses pencairan atau melebur. Hal ini menunjukkan bahwa titik lebur es sama dengan titik beku air yaitu 0°C. Mencair (melebur) adalah proses perubahan wujud dari padat menjadi cair. Perubahan wujud tersebut dapat ditunjukkan dengan kegiatan seperti berikut. Kegiatan seperti di atas menunjukkan bahwa es akan cepat mencair jika dipanaskan. Hal itu merupakan bukti bahwa perubahan wujud dari padat ke cair memerlukan kalor. Kecepatan perubahan tersebut sebanding dengan banyaknya kalor yang diberikan. Sebelum dipanaskan,

suhu es dapat mencapai beberapa derajat di bawah $^{\circ}\text{C}$. Beberapa saat setelah dipanaskan, suhu es berangsur-angsur naik hingga mencapai 0°C . Pada suhu ini, air berada di dalam dua wujud, yaitu pada (es) dan cair. Suhu 0°C ini tetap bertahan sampai seluruh es mencair. Setelah itu, suhu air berangsur-angsur naik. Jadi, kalor yang diserap es pada suhu 0°C tidak digunakan untuk menaikkan suhu, tetapi digunakan untuk mengubah wujud zat (dari padat ke cair). Dalam hal ini, suhu 0°C dikatakan sebagai titik cair atau titik lebur es. Setiap zat memiliki titik lebur tertentu. titik lebur zat akan berubah jika pada zat itu diberi tekanan. Contohnya, titik lebur es akan turun jika diberi tekanan. Selain dengan memberi tekanan, titik lebur es dapat diturunkan dengan cara diberi garam. Titik lebur campuran es dan garam mencapai -3°C bahkan dapat lebih rendah lagi.

Membeku adalah proses perubahan wujud dari air menjadi padat. Misalnya pada perubahan lilin. Suhu lilin ketika mencair, lebih tinggi daripada ketika membeku (mengeras). Hal ini menunjukkan bahwa proses membeku melepaskan kalor. Itulah sebabnya, minyak goreng sering mengeras jika cuaca sangat dingin. Selama proses membeku berlangsung, suhu zat tetap. Pada saat itu, kalor yang dilepaskan tidak digunakan untuk menurunkan suhu, tetapi digunakan untuk mengubah wujud zat, dari cair ke padat. Suhu yang menyebabkan suatu zat mulai membeku disebut titik beku zat itu. Titik beku suatu zat sama dengan titik leburnya.

Menguap adalah perubahan wujud dari cair menjadi uap. Penguapan pada dasarnya pelepasan molekul suatu zat dari ikatan antar molekul zatnya. Proses penguapan air terjadi pada sembarang suhu. Proses penguapan akan terjadi lebih cepat jika dilakukan pemanasan, misalnya menjemur pakaian. Pakaian basah banyak mengandung air dan uap air, sedangkan pakaian kering sedikit (tidak) mengandung uap air. Pakaian basah tersebut akan lebih cepat kering jika dipanaskan pada panas matahari dan direntangkan (diperluas permukaannya) kita mengetahui bahwa proses pengeringan pakaian basah merupakan proses penguapan air. Adakah cara lain untuk mempercepat penguapan? Selain dengan pemanasan dan memperluas permukaan, proses penguapan juga dapat dipercepat dengan mengurangi tekanan di atas permukaan zat cair. Coba perhatikan orang yang meniup minuman kopi panas? Apakah tujuannya? Meskipun menurut ilmu Kesehatan tidak baik, dengan meniup, minuman

kopi panas yang ditiup akan terasa lebih cepat dingin. Hal ini terjadi karena panas pada permukaan zat diserap oleh udara di atasnya yang memiliki tekanan udara lebih rendah. Penyerapan kalor permukaan itu diikuti dengan lepasnya molekul zat dari kelompoknya. Hal itu lah yang menyebabkan meniup udara atau mengurangi tekanan udara di atas zat cair dapat mempercepat penguapan.

Menguap merupakan proses perubahan wujud yang menyerap kalor. Itulah sebabnya, tangan kita terasa dingin setelah ditetesi dengan alkohol. Demikian juga pada lemari es/lemari pendingin. Pipa lemari es diisi dengan zat cair yang mudah sekali menguap. Zat cair yang banyak digunakan adalah freon. Freon dialirkan ke seluruh jaringan pipa-pipa di dalam dan di luar lemari es menggunakan pompa. Di ruang pembeku, freon menguap setelah menyerap kalor dari sekelilingnya. Karena melepaskan kalor, suhu ruang pembeku makin lama makin rendah. Itulah sebabnya, air yang kita masukkan ke dalam ruang pembeku dapat berubah menjadi es. Selanjutnya, uap freon itu dialirkan ke pipa-pipa di bagian belakang lemari es. Dalam pipa-pipa itu, uap freon dimampatkan sehingga mengembun, Mengembun merupakan proses perubahan wujud yang melepaskan kalor. Itulah sebabnya, di bagian belakang lemari es terasa panas. Kemudian, freon cair hasil pengembunan itu dialirkan dengan menggunakan pompa ke pipa-pipa dalam lemari es, demikian seterusnya. Kalor yang dilepaskan freon saat mengembun, sebagian diserap oleh lingkungannya (udara di sekitarnya). Itulah sebabnya, jumlah freon berkurang secara berangsur-angsur dan akhirnya pada suatu saat akan habis.

Mengembun adalah proses perubahan wujud dari gas ke cair. Mengembun merupakan kebalikan dari menguap. Jika menguap memerlukan kalor, mengembun melepaskan kalor. Pengembunan sering kamu temukan pada tutup gelas berisi air panas. Jika kamu perhatikan, bagian dalam tutup gelas menjadi basah. Basahnya tutup gelas terjadi karena adanya pengembunan uap air. Karena suhu tutup gelas lebih rendah daripada suhu uap air, ketika menyentuh tutup gelas uap air melepaskan kalor. Itulah sebabnya, tutup gelas menjadi panas. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ketika mengembun, uap air melepaskan kalor. Adapun contoh peristiwa dalam kehidupan sehari-hari yang menunjukkan adanya

pengembunan adalah basahanya daun-daun atau rumput-rumput pada pagi hari, basahanya kaca mobil bagian dalam ketika berjalan di saat hujan, dan basahanya permukaan gelas bagian luar jika gelas tersebut berisi es. Untuk mencoba pengembunan, kamu dapat melakukan kegiatan berikut. Embuskan napas ke cermin atau kaca jendela. Tidak lama kemudian kamu akan melihat butiran-butiran air pada cermin atau kaca jendela itu. Pada saat itu proses mengembun berlangsung, suhu zat (gas) tetap. Kalor yang dilepaskan oleh zat tidak digunakan untuk menurunkan suhu zat, tetapi digunakan untuk mengubah wujud zat (dari gas ke cair). Suhu yang menyebabkan suatu zat mulai mengembun disebut *titik embun* zat itu. Titik embun suatu zat sama dengan titik didihnya. Sebagai contoh, air mendidih pada suhu 100°C. Dengan demikian, titik embun uap air adalah 100°C.

Kalor uap adalah kalor yang diperlukan oleh satu satuan massa zat cair untuk menguap pada titik didihnya. Sedangkan titik didih adalah suhu zat ketika mendidih. Kalor embun adalah kalor yang diperlukan oleh satu satuan massa gas untuk mengembun pada titik embunnya. Sedangkan titik embun adalah suhu zat ketika mengembun. Kalor uap dapat diketahui nilainya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = m.U$$

$$U = \frac{Q}{m} \dots\dots\dots(9.6)$$

Dimana:

Q = Kalor (J)

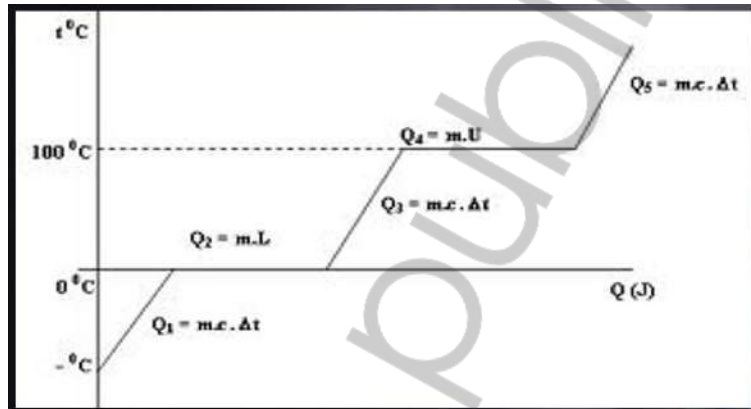
U = Kalor Laten (J/kg)

m = Jumlah zat (kg)

Sebagaimana yang diperlihatkan pada Gambar 9.5, saat air mulai mencair dan diberikan kalor secara terus menerus, maka suatu saat air akan memiliki temperature 100°C, seperti yang ditunjukkan oleh C-D dimana zat berwujud cair. Kemudian saat air berada pada titik D (100°C), dan diberikan kalor terus menerus, maka akan mulai menguap pada titik E. Jadi D-E merupakan daerah wujud air dan up. Hal ini menunjukkan bahwa titik uap air sama dengan titik embun uap yaitu 100°C.

Gambar 9.6 memperlihatkan jumlah kalor total yang dibutuhkan perubahan wujud dari es menjadi uap.

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \dots\dots\dots (9.7)$$



Gambar 9.6 Jumlah Kalor dalam Perubahan Wujud

Dimana:

Q_1 = Jumlah kalor yang diperlukan dari minus °C hingga 0°C (J)

Q_2 = Kalor lebur es (J)

Q_3 = Jumlah kalor yang diperlukan dari 0°C hingga 100°C (J)

Q_4 = Kalor uap air (J)

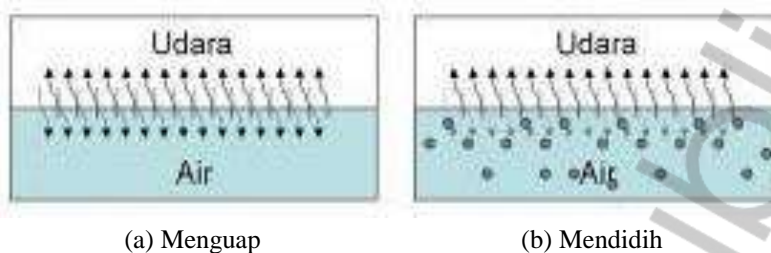
Q_5 = Jumlah kalor yang diperlukan dari 100°C hingga di atas 100°C (J)

Penguapan dapat dipercepat dengan beberapa cara yaitu:

1. Pemanasan atau menaikkan suhu misalnya menjemur pakaian di bawah sinar matahari
2. Memperluas permukaan zat cair misalnya menuang kopi panas di atas cawing, atau pakaian basah direntangkan
3. Mengalirkan udara di atas permukaan zat cair atau mengurangi tekanan udara pada permukaan zat cair misalnya meniup teh panas
4. Mendidih

Zat cair dikatakan mendidih jika gelembung-gelembung uap terjadi di seluruh zat cair dan dapat meninggalkan zat cair. Titik didih dipengaruhi

oleh tekanan udara di atas permukaan zat cair dan jenis zat. Perhatikan Gambar 9.7.



Gambar 9.7 Proses Mendidih dan Menguapnya Air

Jika kita mencampur segelas air panas dan segelas air dingin, campurannya menjadi hangat. Setelah bercampur, suhu kedua macam air tersebut sama. Dalam hal ini, air panas melepaskan kalor dan air dingin menerima kalor. Hal itulah yang Menyebabkan suhu air panas turun dan suhu air dingin naik setelah keduanya bercampur. Pada proses pencampuran tersebut, kalor yang dilepaskan oleh air panas diserap oleh air dingin. Jadi, jumlah kalor yang dilepaskan sama dengan jumlah kalor yang diserap. Pernyataan ini selanjutnya dikenal sebagai *asas Black*. Jika jumlah kalor yang dilepaskan atau diserap dilambangkan Q , secara matematis asas Black dapat dituliskan:

$$Q_{\text{lepas}} = Q_{\text{diterima}} \dots\dots\dots(9.8)$$

9.2. Perpindahan Kalor

Perpindahan kalor dapat terjadi dengan 3 cara, yaitu:

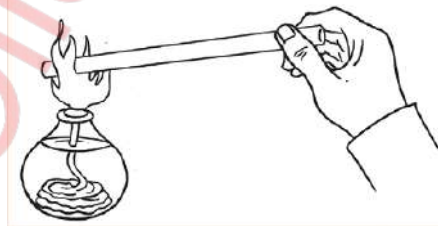
1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi



Gambar 9.8 Ilustrasi Perpindahan Panas

9.1.1. Konduksi

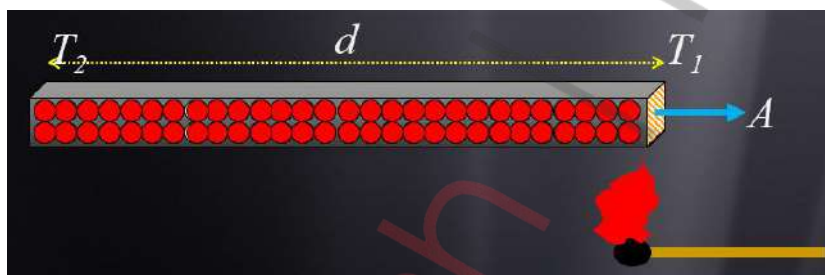
Konduksi adalah perpindahan kalor melalui suatu zat tanpa disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut, atau perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan partikel-partikel zat. Umumnya melalui zat padat. Misalnya memanaskan logam sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9.9. Penghantar kalor yang baik disebut konduktor. Contoh: besi, baja, tembaga, seng, dan aluminium (jenis logam). Sedangkan penghantar kalor yang jelek disebut isolator, misalnya: kayu, wool, kertas, kaca, plastic.



Gambar 9.9 Pemanasan Logam, Perpindahan Kalor secara Konduksi

Bila ujung sebatang besi dibakar seperti pada Gambar 9.9, beberapa saat kemudian ujung yang lain akan terasa panas jika dipegang. Hal itu menunjukkan bahwa kalor yang berasal dari api merambat sepanjang

batang besi dari satu ujung ke ujung lainnya. Perambatan kalor tersebut dinamakan konduksi. Dalam konduksi, kalor merambat dari satu partikel ke partikel lainnya tanpa diikuti perpindahan partikel-partikel tersebut. Jadi, pada konduksi yang berpindah adalah energinya, bukan mediumnya. Pada bagian yang panas, partikel-partikel bergetar lebih cepat. Getaran tersebut mempengaruhi partikel-partikel tetangganya sehingga getarannya menjadi lebih cepat. Hal tersebut menyebabkan pada bagian tersebut suhunya naik. Selanjutnya, pengatur getaran itu diteruskan ke seluruh bagian zat padat. Itulah sebabnya, bila salah satu ujung logam dipanasi, ujung yang lain terasa panas. Jumlah kalor yang merambat secara konduksi ditentukan oleh lima faktor, yaitu perbedaan suhu antara kedua ujung bahan, luas penampangnya, panjang bahan, lama kalor mengalir, dan jenis bahan. Jumlah kalor yang merambat persatuan waktu tersebut dapat ditentukan dengan menerapkan persamaan 9.9.



Gambar 9.10 Proses Perambatan Kalor Secara Konduksi

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju konduksi kalor yaitu:

1. Beda suhu antara kedua permukaan (ΔT) makin besar beda suhu, makin cepat perpindahan kalor.
2. Jarak antara kedua permukaan /tebal /panjang (l), makin tebal, makin lambat perpindahan kalor.
3. Luas permukaan (A), makin luas permukaan makin cepat perpindahan kalor.
4. Konduktivitas termal zat (k), merupakan ukuran kemampuan zat menghantarkan kalor; makin besar nilai k , makin cepat perpindahan kalor.

$$q = \frac{kA\Delta T}{d} \dots\dots\dots (9.9)$$

Dimana:

- q = laju aliran konduksi (J/s)
- k = konduktivitas termal zat (W/m^oK)
- A = luas permukaan (m²)
- d = ketebalan benda (m)
- ΔT = perbedaan suhu antara kedua ujung benda (°K)
- T_1 = suhu pada ujung awal (°K)
- T_2 = suhu pada ujung akhir (°K)

Perpindahan kalor dengan cara induksi terjadi pada zat padat. Setiap jenis zat padat mempunyai kemampuan menghantarkan (daya hantar) kalor yang berbeda-beda. Untuk menunjukkan bahwa kemampuan menghantarkan kalor setiap jenis zat padat berbeda-beda. Pada lapisan lilin pada ujung aluminium dan besi meleleh setelah dipanaskan beberapa saat. Akan tetapi, saat melelehnya tidak bersamaan. Hal ini menunjukkan bahwa daya hantar kalor aluminium dan besi berbeda. Adapun lapisan lilin pada kayu tidak meleleh meskipun ujung kayu dipanaskan sampai terbakar. Hal ini menunjukkan bahwa kayu sulit sekali menghantarkan kalor (daya hantar rendah). Berdasarkan kenyataan tersebut, zat dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu zat yang mudah menghantarkan kalor dan zat yang sulit menghantarkan kalor. Zat yang mudah menghantarkan kalor disebut konduktor, sedangkan zat yang sulit menghantarkan kalor disebut isolator. Konduktor biasanya berupa logam, seperti aluminium, besi, tembaga, dan baja; sedangkan isolator biasanya berupa bukan logam, seperti kaca, karet, kayu, plastik, air, dan udara.

Contoh peristiwa konduksi dalam kehidupan sehari-hari adalah saat menyetrika. Panas yang timbul pada setrika berasal dari energi listrik. Selanjutnya, panas tersebut dipindahkan ke pakaian secara konduksi. Artinya, setrika mengonduksi kalor pada pakaian yang sedang disetrika. Banyak kegunaan isolator dalam kehidupan sehari-hari. Jika tidur beralaskan tikar atau permadani, kalor dari tubuh akan tertahan oleh udara yang terdapat di dalam rongga-rongga udara pada tikar atau permadani. Itulah sebabnya, tidak dirasakan kedinginan. Hewan-hewan di daerah

dingin mempunyai bulu tebal, yang banyak mengandung rongga-rongga udara. Hal itu merupakan adaptasi hewan-hewan itu agar tubuhnya tetap hangat. Adapun contoh beberapa bahan konduktor dan isolator yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

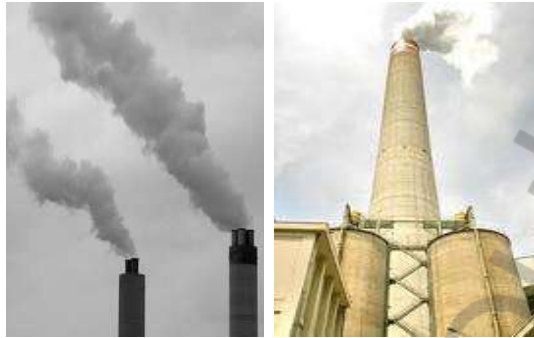
Tabel 9.1 Konduktivitas Panas Zat

No.	Nama Bahan	K, (W/m ^o K)
1	Emas	300
2	Besi	80
3	Aluminium	240
4	Kaca	0,9
5	Kayu	0,1 – 0,2
6	Beton	0,9
7	Air	0,6
8	Udara	0,024

9.1.2. Konveksi

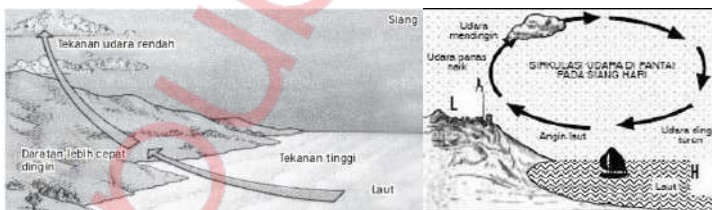
Telah dijelaskan sebelumnya bahwa air dan gas (udara) bersifat isolator, artinya penghantar panas yang jelek. Oleh karena itu, jika satu bagian dipanaskan, bagian yang lain seharusnya tidak menjadi panas. Namun, kenyataannya tidak demikian. Pada waktu merebus air, seluruh bagian air mempunyai panas yang sama; dan jika terjadi kebakaran, udara di sekitarnya menjadi lebih panas. Hal itu menunjukkan bahwa kalor dapat merambat dan berpindah melalui udara dan gas. Namun, cara merambatnya bukan secara konduksi. Perambatan kalor melalui air (zat cair) dan gas disebut *konveksi*. Konveksi diikuti oleh perpindahan partikel-partikel zat penyusun atau Konveksi adalah perpindahan kalor melalui zat disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut. Konveksi terjadi karena perbedaan massa jenis zat, konveksi terjadi dalam zat cair dan gas. Gambar 9.11 memperlihatkan proses perpindahan kalor secara konveksi. Jika suatu bagian air dipanasi, massa jenis partikel-partikel akan mengecil. Hal ini terjadi karena partikel-partikel tersebut memuai (volumenya bertambah). Partikel yang massa jenisnya lebih kecil bergerak ke atas, sedangkan partikel yang massa jenisnya lebih besar bergerak ke bawah. Perbedaan massa jenis itulah yang menyebabkan terjadinya aliran partikel-partikel air. Konveksi air dimanfaatkan dalam pembuatan sistem aliran air panas yang

- b. Udara di sekitar tungku pemanas pada pabrik-pabrik mempunyai suhu yang lebih tinggi daripada suhu udara luar. Itulah sebabnya, asap pabrik dapat naik melalui cerobong-cerobong pabrik.

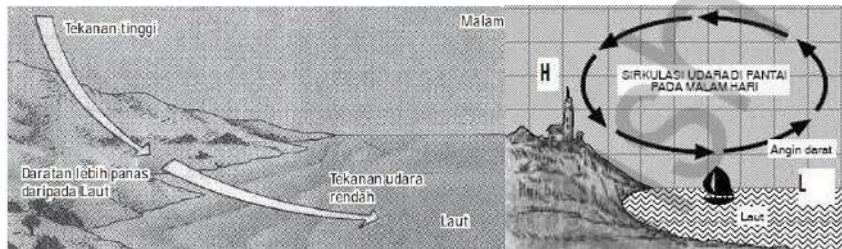


Gambar 9.13 Proses Perpindahan Kalor secara Konveksi pada Cerobong Asap

- c. Pada siang hari, suhu udara di darat lebih tinggi daripada di laut. Hal itu terjadi karena kalor jenis tanah (daratan) lebih kecil daripada air laut. Dengan kata lain, daratan lebih cepat panas daripada lautan. Oleh karena itu, terjadilah aliran udara (angin) dari laut ke darat yang disebut angin laut. Perhatikan Gambar 9.14. Aliran udara itu berlangsung dengan cara udara di atas daratan naik kemudian tempatnya diisi oleh udara dingin yang berasal dari laut. Sebaliknya, pada malam hari suhu udara di permukaan laut lebih tinggi daripada suhu udara di darat. Hal itu terjadi karena air laut lebih lama menahan panas daripada daratan. Keadaan inilah yang menyebabkan terjadinya aliran udara (angin) dari darat ke laut yang disebut angin darat. Perhatikan Gambar 9.15.



Gambar 9.14 Proses terjadinya Angin Laut (siang hari)



Gambar 9.15 Proses terjadinya Angin Laut (malam hari)

- d. Nyala lampu teplok atau lampu tempel berbahan bakal minyak akan lebih terang jika ditutup dengan semprong. Karena udara luar banyak mengandung oksigen, padahal sifat gas oksigen adalah penyelenggara proses pembakaran, terjadilah pembakaran udara di sekitar nyala api. Pembakaran udara luar itulah yang menyebabkan lampu menjadi lebih terang.

Perpindahan kalor secara konveksi adalah perpindahan kalor melalui zat perantara, diikuti perpindahan partikel-partikel zat. Umumnya melalui fluida, seperti: udara, gas, atau air. Perpindahan kalor secara konveksi dibedakan menjadi:

1. Konveksi alami yaitu proses perpindahan kalor yang tidak menggunakan alat
Contoh: angin darat, angin laut, aliran udara melalui ventilasi/ cerobong asap.
2. Konveksi paksa yaitu proses perpindahan kalor yang menggunakan alat seperti pompa.
Contoh: konveksi udara pada hair dryer, sistem pendingin mesin mobil, lemari es, AC.

Faktor-faktor yang mempengaruhi laju konveksi kalor:

1. Luas permukaan benda (A), semakin luas permukaan benda yang bersentuhan dengan fluida, semakin cepat kalor dipindahkan.
2. Perbedaan suhu (ΔT), semakin besar perbedaan suhu benda dengan permukaan fluida, semakin cepat kalor dipindahkan
3. Koefisien konveksi (h), bergantung pada bentuk, kedudukan permukaan dan diperoleh dengan percobaan.

Laju aliran konveksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan beriku:

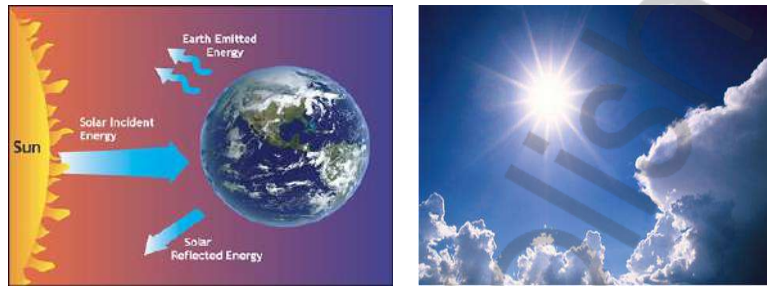
$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots (9.10)$$

Dimana:

- q = laju aliran kalor konveksi (J/s)
- A = luas permukaan (m^2)
- h = koefisien konveksi ($W/m^2\text{K}$)
- ΔT = Perbedaan temperature ($^{\circ}K$)

9.1.3. Radiasi

Radiasi (pancaran) adalah perpindahan kalor tanpa zat perantara (medium). Contoh: sinar matahari sampai ke bumi melalui radiasi. Perhatikan Gambar 9.16. Antara bumi dan matahari sebagian besar berupa ruang hampa. Hampir setiap hari, kita dapat merasakan panas matahari. Hal ini menunjukkan bahwa kalor dapat merambat melalui ruang hampa. Perambatan kalor melalui ruang hampa disebut *radiasi* (pancaran). Demikian pula secara alami bila berada di sekitar api unggun pada malam hari yang dingin. Kalor yang merambat secara radiasi pada umumnya berasal dari benda panas. Benda panas adalah benda yang mempunyai suhu lebih tinggi daripada lingkungannya. Benda panas ada yang berpijar dan ada yang tidak berpijar. Saat terik matahari, kita akan merasa nyaman jika berteduh di bawah pohon yang rindang atau di bawah suatu atap. Rasa nyaman tersebut menunjukkan bahwa energi panas (kalor) dari matahari yang mengenai kita berkurang intensitasnya. Dengan demikian, kita dapat mengatakan bahwa perambatan kalor secara radiasi dapat dikurangi atau dicegah dengan tabir (penghalang). Setiap tabir mempunyai kemampuan yang berbeda-beda dalam mengurangi atau mencegah radiasi panas matahari, bergantung pada jenis dan permukaan tabir. Pada saat siang hari, kita akan merasa lebih nyaman memakai baju berwarna putih daripada baju berwarna hitam. Namun, pada malam hari yang dingin kita akan merasa lebih hangat apabila mengenakan baju berwarna hitam daripada baju berwarna putih.



Gambar 9.16 Proses perambatan kalor secara radiasi

Permukaan hitam dan kusam merupakan penyerap dan pemancar radiasi yang baik, permukaan putih dan mengkilap merupakan penyerap dan pemancar radiasi yang buruk. Termoskop adalah alat yang digunakan untuk mengetahui adanya pemancaran kalor. Salah satu alat dalam kehidupan sehari-hari yang prinsip kerjanya berdasarkan pencegahan perpindahan kalor adalah termos. Prinsip kerja termos dapat dijelaskan sebagai berikut

- a) Lapisan perak mengkilap mencegah perpindahan kalor secara radiasi. Lapisan tersebut memantulkan radiasi kembali ke termos.
- b) Dinding gelas, sebagai konduktor jelek, tidak dapat memindahkan kalor secara konduksi.
- c) Ruang vakum di antara dua dinding mencegah perpindahan kalor baik secara konveksi maupun konduksi.
- d) Sumbat dibuat dari bahan isolator. Hal ini dilakukan agar konveksi dengan udara luar tidak terjadi.



Gambar 9.17 Termos air mencegah perambatan kalor

Perpindahan kalaur secara radiasi seperti pancaran panas matahari ke bumi, tubuh terasa panas di dekat api ungung, atau di dekat pengapian di rumah. Jumlah kalor yang berpindah secara radiasi dapat dihitung dengan persamaan:

$$q = e \cdot k \cdot A \cdot \Delta T \dots\dots\dots(9.11)$$

Dimana:

- q = laju aliran radiasi (J/s)
- e = emisivitas benda ($0 < e < 1$)
- k = konstanta Stefan ($5,6 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$)
- A = luas permukaan (m^2)
- ΔT = perbedaan suhu ($^{\circ}\text{K}$)

9.3. Contoh Soal

1. Berapakah kalor yang diperlukan untuk mendidihkan 1 kg air jika suhu awalnya 25°C sampai 100°C dan kalor jenis air $4,2 \times 10^3 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$?

- Dik: $m = 1 \text{ kg}$
 $c = 4,2 \times 10^3 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
 $T_1 = 25^{\circ}\text{C}$
 $T_2 = 100^{\circ}\text{C}$

Dit: $Q = \dots\dots\dots \text{ J} ?$

Jwb: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
 $= 1 \times 4,2 \times 10^3 \times (100-25)$
 $= 315 \times 10^3 \text{ J}$
 $= 315 \text{ kJ}$

2. Air dalam botol mineral sebanyak 660 ml memiliki suhu 27°C . Air tersebut dimasukkan dalam kulkas sehingga beberapa waktu berselang suhunya turun menjadi 4°C . Berapa kalor yang dilepas air?

Penyelesaian:

$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ g/ml}$ berarti massa 660 ml air = $660 \text{ ml} \times 1 \text{ g/ml} = 660 \text{ g}$.

Penurunan suhu air:

$$\Delta T = 27 - 4 = 23^{\circ}\text{C}.$$

Kalor yang dilepas air:

$$Q = 660 \times 23 = 15.180 \text{ kal}$$

$$Q = 15,18 \text{ kkal}.$$

3. Sebanyak 0,4 kg besi di tempat pandai besi dibakar atau dilebur dari suhu 30°C menjadi 450°C . Tentukan jumlah kalor yang diserap besi untuk menaikkan suhu tersebut?

Penyelesaian:

$$\text{Kalor jenis besi (c)} = 0,108 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C}.$$

$$\text{Massa besi (m)} = 0,4 \text{ kg} = 400 \text{ g}.$$

Maka kapasitas kalor besi:

$$C = m.c = 400 \times 0,108 = 43,2 \text{ kal}^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T = 450 - 30 = 420^{\circ}\text{C}$$

Jadi jumlah kalor yang diserap besi yaitu:

$$Q = C.\Delta T = 43,2 \times 420 = 18.144 \text{ kal}$$

$$Q = 18,144 \text{ kkal}.$$

4. Berapa kalor yang dibutuhkan untuk mengubah 50 g air yang bersuhu 50°C menjadi uap seluruhnya?

Penyelesaian:

- a. Jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu air dari 50°C menjadi 100°C dan mengubah air yang bersuhu 100°C menjadi uap yang bersuhu 100°C .

$$Q_1 = m.c.\Delta T$$

$$Q_1 = 50 \text{ g} \times 1 \text{ kal/g}^{\circ}\text{C} \times (100^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C})$$

$$Q_1 = 2.500 \text{ kal}$$

- b. Jumlah kalor untuk menguapkan air:

$$Q_2 = m.L_{\text{uap}}$$

$$Q_2 = 0,05 \text{ kg} \times 2.260 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_2 = 113.000 \text{ J} = 113 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = 27.000 \text{ kal}$$

Kalor total yang dibutuhkan ialah:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = 2.500 + 27.000 = 29.500 \text{ kal}$$

$$Q = 29,5 \text{ kkal}$$

5. Sebuah silinder tembaga memiliki panjang 10 cm dan jari-jari 5 cm. Satu ujung silinder disentuh ke air yang sedang mendidih dan ujung lainnya disentuh pada es yang sedang mencair. Tentukan:
- Laju perambatan kalor dalam batang.
 - Jumlah kalor yang dipindahkan selama 5 menit.

Penyelesaian:

$T_t = 100^\circ\text{C}$ (air mendidih) dan $T_r = 0^\circ\text{C}$ (es melebur).

$$A = \pi r^2 = 3,14 \times (0,05)^2 = 0,00785 \text{ m}^2.$$

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

$$k = 385 \text{ J/ms}^\circ\text{C}.$$

- a) Laju perambatan kalor dalam batang

$$q = kA \frac{T_t - T_r}{L}$$

$$q = 385(0,00785) \frac{100 - 00}{0,1}$$

$$q = 3.022 \text{ J/s}$$

- b) Jumlah kalor yang dipindahkan selama 5 menit

Selama selang waktu 5 menit = 300 s, jumlah kalor yang berpindah adalah

$$Q = 3.022 \times 300 = 906.675$$

$$Q = 0,907 \times 10^6 \text{ J}$$

9.4. Rangkuman

- Perpindahan kalor akan terjadi bila ada perbedaan suhu antara dua sistem. Kalor akan berpindah dari sistem yang bersuhu tinggi ke sistem yang bersuhu rendah.

2. Kalor adalah bentuk energi yang berpindah dari benda yang suhunya tinggi ke benda yang suhunya rendah ketika kedua benda tersebut bersentuhan
3. Jumlah kalor yang dilepaskan sama dengan jumlah kalor yang diserap. Pernyataan ini selanjutnya dikenal sebagai *asas Black*
4. Kapasitas Kalor (C) adalah kemampuan suatu zat menyerap kalor untuk menaikkan suhunya menjadi 1°C lebih tinggi
5. Kalor laten (L) adalah kalor yang dilepas atau diserap pada saat perubahan wujud zat
6. Kalor lebur adalah kalor yang diperlukan oleh satu satuan massa zat padat untuk mencair atau melebur pada titik leburnya.
7. Titik lebur adalah suhu zat ketika melebur.
8. Kalor beku adalah kalor yang diperlukan oleh satu satuan massa zat cair untuk membeku pada titik bekunya.
9. Titik beku adalah suhu zat ketika membeku.
10. Perpindahan kalor dapat terjadi dengan 3 cara, yaitu: Konduksi, Konveksi, dan Radiasi.
11. Konduksi adalah perpindahan kalor melalui suatu zat tanpa disertai perpindahan partikel-partikel zat tersebut, atau perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan partikel-partikel zat
12. Konveksi adalah perpindahan kalor melalui zat perantara, diikuti perpindahan partikel-partikel zat
13. Radiasi (pancaran) adalah perpindahan kalor tanpa zat perantara (medium)

9.5. Soal-Soal Latihan

1. Berapa kalor yang dibutuhkan untuk mengubah 5 L air yang bersuhu 50°C sehingga seluruhnya menjadi uap?
2. Jika 500 g tembaga yang bersuhu 50°C dimasukkan ke dalam 200 g air yang bersuhu 20°C , berapa suhu akhir ketika dua benda tersebut dalam keseimbangan (mencapai suhu yang sama)?
3. Tentukan kalor total yang diperlukan untuk mengubah 750 g es yang bersuhu -7°C menjadi air yang bersuhu 25°C .
4. Untuk memindahkan kalor dari air mendidih ke lokasi yang memiliki suhu 20°C digunakan sebuah batang aluminium. Jarak dua lokasi tersebut adalah 5 meter. Aluminium dibungkus dengan isolator ideal sehingga tidak ada kalor yang terbuang selama

perpindahan. Berapakah jari-jari batang aluminium (anggap berbentuk silinder) agar laju perpindahan kalor adalah 50 J/s.

9.6. Referensi

- Abdullah, M. 2016. Fisika Dasar 1. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal. Jakarta: Erlangga.
- Course Note *FISIKA*, PEDC Bandung
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. Applied physics: Edisi X. USA: Prentice Hall.
- Francis W.Sears, 1991. *FISIKA UNIVERSITAS*. Jakarta: Erlangga
- Frederick J. Bueche, 1994. *FISIK: seri buku schaum*. Jakarta: Erlangga.
- Ganjanti Aby Saroyo, 2002. *MEKANIKA: Seri Fisika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Kramer, L. 2008. University Physics: 12th Edition. USA: Pearson Education, Inc.
- Lubis, Riani. 2008. *FISIKA DASAR 1*. Jakarta: Unikom.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. Physics for Engineers and Scientists: Edisi III. USA: Norton & Co.
- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga.
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. Fundamentals of Physics: Edisi X. USA: John Weley.

BAB 10.

FLUIDA

Fluida merupakan sesuatu yang dapat mengalir sehingga sering disebut sebagai zat alir. Beberapa fenomena tentang fluida seperti:

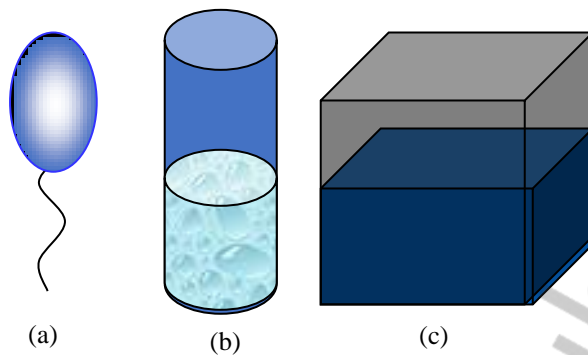
- Kenapa kayu-kayu yang besar dan banyak lebih mudah diangkat dalam air ?
- Mengapa balon gas bisa naik ke atas ?
- Mengapa telur bisa mengapung dalam air garam sementara dalam air murni tenggelam?
- Kenapa serangga kecil bisa bergerak diatas air dan tidak tenggelam?

Secara alami, fluida terbagi dua yaitu fluida statis (statik), dan fluida dinamis (dinamik). Fluida statis adalah fluida diam yang tidak mengalir, sedangkan fluida dinamis adalah fluida yang mengalir secara alami.



Gambar 9.18 Jenis-jenis Fluida

Fluida Statis merupakan fluida yang selalu mempunyai bentuk yang dapat berubah secara kontinyu seperti wadahnya, sebagai akibat gaya geser (tidak dapat menahan gaya geser).



Gambar 9.19 Fluida Statis

Secara garis besar, fluida terbagi 2 kelompok yaitu fluida dalam bentuk cair, dan dalam bentuk gas. Beberapa karakteristik fluida cair yaitu:

- Molekul-molekul terikat secara longgar namun tetap berdekatan
- Tekanan yg terjadi karena ada gaya gravitasi bumi yg bekerja padanya
- Tekanan terjadi secara tegak lurus pada bidang

Sedangkan karakteristik fluida dalam bentuk gas yaitu:

- Molekul bergerak bebas dan saling bertumbukan
- Tekanan gas bersumber pada perubahan momentum disebabkan tumbukan molekul gas pada dinding
- Tekanan terjadi tidak tegak lurus pada bidang

10.1. Massa Jenis

Kadang kalau diperhatikan banyak orang mengatakan bahwa buah manggis lebih berat daripada kapas atau besi lebih berat daripada plastik. Hal ini tidak seluruhnya benar karena semua itu tergantung ukuran dari masing - masing benda tersebut. Suatu sifat penting dari zat yaitu perbandingan antara massa terhadap volumenya dinamakan massa jenis. Nilai massa jenis suatu benda hanya tergantung pada jenis zat, tidak tergantung pada massa atau volume benda tersebut sehingga bisa dikatakan massa jenis suatu benda ialah tetap. Misalnya massa 1 liter air pada suhu 4°C ialah 1 kg. Jika volume air tersebut 2 liter, maka massanya pasti 2 kg,

demikian seterusnya. Nilai massa jenis suatu zat dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (10.1)$$

Dimana:

ρ = massa jenis (kg/m³)

m = massa (kg)

V = volume (m³)

Dalam bidang medis, satuan massa jenis (ρ) yang sering digunakan yaitu g/cc (gram per centimeter cubic). Jadi 1 g/cc = 1000 kg/m³. Dengan mengetahui massa jenis suatu benda maka jenis dan kemurnian benda tersebut dapat diketahui. Beberapa nilai massa jenis suatu benda diperlihatkan pada Tabel 10.1 berikut.

Tabel 10.1 Massa Jenis Beberapa Benda

No	Nama Benda	Wujud Benda	Massa Jenis (g/cm ³)
1	Nitrogen	Gas	0,00116
2	Oksigen	Gas	0,00133
3	Air	Cair	1,0
4	Alkohol	Cair	0,79
5	Raksa	Cair	13,55
6	Belerang	Padat	2,07
7	Aluminium	Padat	2,70
8	Seng	Padat	6,92
9	Besi	Padat	7,86
10	Tembaga	Padat	8,93
11	Timbal	Padat	11,4

Berat jenis (γ) suatu benda berbeda dengan massa jenisnya. Berat jenis (*specific gravity*) adalah perbandingan antara massa jenis benda tersebut terhadap massa jenis air. Sehingga, berat jenis merupakan massa jenis relative suatu benda, dimana berat jenis tak bersatuan.

$$\gamma_a = \frac{\rho_a}{\rho_{air}} \dots\dots\dots (10.2)$$

10.2. Tekanan

Pernahkah kamu merasakan tekanan? Untuk mencoba merasakannya, kamu dapat menyediakan sebuah pensil. Rautlah salah satu ujungnya hingga runcing, sedangkan ujung yang lain biarkan tumpul. Tekanlah ujung pensil itu dengan telapak tanganmu secara tegak lurus. Bedakah rasa tekanan ujung pensil yang runcing dengan ujung yang tumpul? Tekanan juga dapat kamu rasakan tanpa sengaja, misalnya ketika naik bus. Pada saat naik angkutan kota yang berdesak-desakan, kaki kita sering terinjak. Mana yang lebih sakit, terinjak seorang gadis yang memakai sepatu berhak tinggi atau terinjak seorang gadis yang memakai sandal? Kaki yang terinjak berarti kaki menerima tekanan. Kenapa ayam sulit berjalan di tanah yang lembek sedangkan itik relatif lebih mudah?

Sebelum Archimedes menemukan hukumnya, mungkin orang tidak menduga ada besi dapat terapung di air. Sepotong besi tua akan tenggelam jika dilempar ke laut. Namun, mengapa kapal selam yang terbuat dari besi dengan massa jauh lebih besar dapat terapung, melayang, dan tenggelam di laut? Untuk menjawab pertanyaan itu, kita memerlukan pengetahuan tekanan.

Jika kita menjatuhkan sebuah balok pada tanah yang lembek, balok tersebut akan meninggalkan bekas pada tanah. Bekas tersebut akan makin dalam jika balok dijatuhkan dari tempat yang lebih tinggi. Bekas tersebut menunjukkan bahwa tanah tertekan oleh balok yang jatuh. Tekanan tersebut makin besar apabila balok dijatuhkan dari tempat yang lebih tinggi. Bila kita menjatuhkan dua balok yang bermassa sama, tetapi luas penampangnya berbeda pada tanah yang lembek. Bekas yang ditimbulkan kedua balok berbeda. Balok berpenampang kecil memberikan bekas lebih dalam daripada balok berpenampang besar. Hal itu menunjukkan bahwa tekanan balok berpenampang kecil lebih besar daripada balok berpenampang besar. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa besar tekanan suatu benda berbanding terbalik dengan luas penampangnya. Itulah sebabnya, kita lebih mudah menancapkan paku yang runcing daripada yang tumpul; pisau tumpul harus diasah (dipersempit permukaannya) agar lebih tajam; pegangan ember harus diperbesar (dilapisi plastik) agar telapak tangan tidak sakit sewaktu mengangkat ember berisi air. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa tekanan suatu

benda berbanding lurus dengan gaya. Makin besar gaya, tekanan makin besar. Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa tekanan suatu benda merupakan hasil bagi gaya dengan luas permukaan tempat gaya tersebut bekerja.

$$P = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (10.3)$$

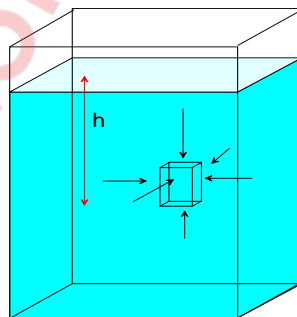
Dimana:

P = tekanan (N/m²)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m²)

Sejumlah air yang berada dalam bejana mempunyai berat tertentu. Selain itu, air pada bagian atas berusaha untuk mengalir ke tempat yang lebih rendah. Hal ini menyebabkan, dasar dan dinding bejana mendapat tekanan air. Tekanan itu akan makin besar jika air yang ada dalam bejana itu makin banyak. Hal itu menunjukkan bahwa di dalam air (zat cair) terdapat tekanan. Tekanan itu disebut *tekanan hidrostatik*. Demikian pula, benda yang tercelup ke dalam suatu cairan maka akan menerima gaya ke segala arah dengan besar yang sama. Semakin dalam benda tersebut tercelup maka semakin besar pula tekanan yang diterimanya.



Gambar 10.1 Tekanan dalam Fluida

Berdasarkan Persamaan (10.1), (10.2) dan Gambar 10.1 maka tekanan yang diterima suatu benda dalam cairan ialah:

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

$$P = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\rho \cdot V \cdot g}{A} = \rho \cdot g \frac{V}{A}$$

bila: $V = A \cdot h$

maka:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(10.3)$$

Dimana:

P = tekanan (N/m^2)

ρ = massa jenis cairan (kg/m^3)

h = jarak benda dari permukaan cairan (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

V = volume benda (m^3)

A = luas penampang (m^2)

Persamaan 10.3 memperlihatkan bahwa tekanan yang diterima suatu benda yang tercelup dipengaruhi oleh jenis cairan (ρ), dan kedalaman atau posisi ketinggian (h) benda yang tercelup. Itulah sebabnya, dinding bendungan air pada bagian bawah dibuat lebih tebal daripada bagian atasnya.

Alat untuk mengukur tekanan udara menggunakan cairan air raksa (mercuri, Hg) dengan massa jenis 13,6 gr/cc. Ketika digunakan mengukur tekanan di pantai, maka tinggi cairan barometer ialah 76 cm dengan percepatan gravitasi $9.8 m/s^2$ maka nilai tekanannya yaitu:

$$P = \rho \cdot g \cdot h = 13.600 kg/m^3 \times 9,8 m/s^2 \times 0,76 m$$

$$P = 101.300 Pa = 101,3 kPa = 1 Atm$$

Jadi $1 Atm = 101,3 kPa = 76 cmHg = 760 Torr$

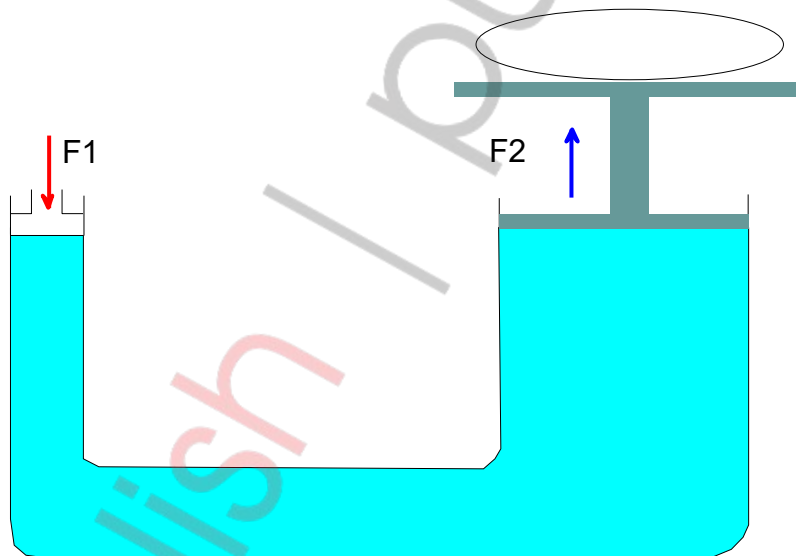
$$P = P_{atmosfir} + P_{ukur} \dots\dots\dots(10.4)$$

10.2.1. Teorema Pascal

Jika sebuah kantong plastik yang berisi air dilubangi dengan jarum di beberapa tempat, air akan memancar keluar. Pancaran tersebut akan

makin kuat jika bagian atas plastik ditekan (dipres). Hal ini menunjukkan bahwa tekanan tersebut diteruskan ke segala arah dalam air. Pernyataan tersebut terbukti dengan pancaran air yang makin kuat, artinya tekanan sama di setiap titik pada kedalaman yang sama.

Pernyataan di atas pertama kali dikemukakan oleh Blaise Pascal (1623-1662). Setelah melakukan percobaan dengan alat penyemprot (penyemprot Pascal), dia menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada suatu cairan yang tertutup akan diteruskan tanpa berkurang ke segala titik dalam fluida dan ke dinding bejana. Selanjutnya pernyataan tersebut dikena *hukum Pascal*.



Gambar 10.2 Prinsip Teorema Pascal pada Dongkrak Hidrolik

Bejana berhubungan pada Gambar 10.2 berisi suatu fluida (zat cair, misalnya oli). Kedua pipa pengisap ditutup rapat. Penampang pengisap kedua (A_2) dibuat lebih luas daripada pengisap pertama (A_1), $A_2 \gg A_1$. Menurut Pascal, gaya F_1 yang bekerja pada pengisap pipa 1 (A_1) akan menghasilkan tekanan (P_1). Tekanan itu akan diteruskan ke pipa 2 dengan sama besarnya. Dengan demikian, antara pengisap pertama dan kedua berlaku hubungan

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \dots\dots\dots(10.5)$$

Berdasarkan Gambar 10.2 dan teorema Pascal, bila diameter tabung besar 2 kali diameter tabung kecil maka gaya angkat pada tabung besar bisa ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{A_2}{A_1} = F_1 \cdot \frac{2A_1}{A_1}$$

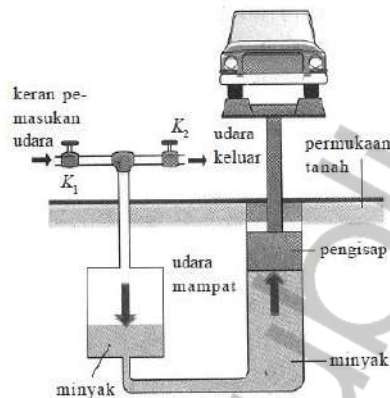
$$F_2 = 2 F_1 \dots\dots\dots 10.6$$

Persamaan 10.6 memperlihatkan bahwa gaya angkat (F_2) 2 kali lipat dari gaya tekan (F_1) bila diameter tabung besar 2 kali diameter tabung kecil. Hal ini menunjukkan bahwa makin besar perbandingan A_2 dan A_1 maka gaya angkat yang dihasilkan (F_2) akan makin besar.

Beberapa alat teknik dalam kehidupan sehari-hari yang prinsip kerjanya berdasarkan hukum Pascal, antara lain sebagai berikut.

a. Dongkrak Hidrolik

Dongkrak hidrolik digunakan untuk mengangkat beban berat dengan gaya kecil. Pada dongkrak hidrolik terdapat dua tabung dengan ukuran berbeda. Tabung I (pertama) berdiameter kecil dan tabung II (kedua) berdiameter besar, seperti yang ditunjukkan Gambar 10.2. Prinsip kerja dongkrak hidrolik yaitu: jika pengisap P_1 ditarik ke atas, klep K_1 terbuka dan klep K_2 tertutup. Akibatnya, minyak masuk ke tabung I. jika pengisap P_1 ditekan, klep K_1 menutup dan klep K_2 membuka. Akibatnya, minyak masuk ke tabung II. Selanjutnya, minyak dalam tabung II menekan pengisap P_2 dengan gaya sangat besar sehingga mampu menahan beban yang sangat berat. Untuk menurunkan beban, keran K dibuka. Jika keran K dibuka, minyak dalam tabung II akan turun dan secara otomatis pengisap P_2 (beban) juga akan turun. Tekanan yang kita berikan pada pengisap kecil diteruskan ke pengisap besar. Pada pengisap besar dihasilkan gaya angkat ke atas yang jauh lebih besar daripada gaya tekan pada pengisap kecil. Itulah sebabnya, dongkrak hidrolik dapat digunakan untuk mengangkat beban yang sangat berat seperti mengangkat/menahan mobil saat penggantian ban.



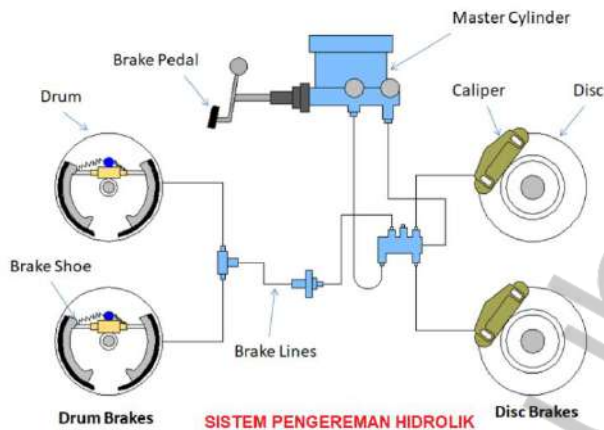
Gambar 10.3. Prinsip Kerja Alat Pengangkat Mobil

b. Alat Pengangkat Mobil

Alat pengangkat mobil banyak dijumpa pada bengkel-bengkel mobil yang besar, seperti yang ditunjukkan Gambar 10.3. Adapun prinsip kerjanya adalah sebagai berikut. Udara yang memiliki tekanan tinggi dimasukkan melalui keran K_1 yang selanjutnya dimampatkan dalam suatu ruangan. Udara yang mampat tersebut menghasilkan tekanan yang sangat besar. Tekanan yang besar itu diteruskan oleh minyak ke pengisap besar. Tekanan ini menghasilkan gaya angkat sangat besar yang mampu mengangkat mobil. Selanjutnya, untuk menurunkan mobil dilakukan dengan cara membuang udara mampat melalui keran K_2 .

c. Rem Hidrolik

Bagian-bagian utama rem hidrolik adalah pedal rem, silinder master, sepatu penjepit, dan minyak rem. Pada saat pedal rem ditekan dengan kaki, tekanan tersebut diteruskan oleh minyak rem ke sepatu penjepit melalui silinder master (ada empat buah silinder rem, dua di depan dan dua di belakang). Pada sepatu penjepit dihasilkan gaya gesek (hambat) yang sangat besar sehingga mampu menghentikan putaran roda mobil. Hal ini disebabkan luas pengisap silinder rem jauh lebih besar daripada luas pengisap silinder master (ingat hukum Pascal).



Gambar 10.3. Prinsip Kerja Alat Pengangkat Mobil

10.2.2. Teorema Archimedes

Dalam kehidupan sehari-hari, sering kita jumpai: kayu-kayu yang besar dan banyak lebih mudah diangkat dalam air, balon gas helium (He) bisa naik ke atas, bila lompat masuk kolam renang, seperti ada yang menahan laju pergerakan tubuh.

Hal yang sama juga dapat dirasakan ketika menimba air dari dalam sumur. Timba terasa ringan sewaktu ember masih di dalam air dan terasa berat ketika muncul ke permukaan air. Hal itu menunjukkan bahwa berat benda dalam air lebih ringan daripada di udara. Karena berat benda merupakan gaya yang arahnya ke bawah (menuju pusat bumi), pasti ada gaya yang arahnya ke atas dalam air. Gaya inilah yang menyebabkan benda dalam air (zat cair) menjadi lebih ringan. Sebuah benda yang tenggelam seluruhnya atau sebagian dalam suatu fluida akan mendapatkan gaya angkat ke atas yang sama besar dengan berat fluida yang dipindahkan. Hal inilah yang dikenal sebagai Teorema Archimedes.

Berat benda ketika di udara sebesar 10 N. Pada saat berada di dalam suatu zat cair beratnya menjadi 8 N. Sementara itu, berat tumpahan air akibat tercelupnya benda sebesar 2 N. Hal itu berarti berat benda di udara dan di dalam zat cair mempunyai selisih sebesar 2 N. Dengan kata lain ketika berada di dalam zat cair (tercelup), benda mendapat gaya ke atas. Gaya ke atas itu seberat volume zat cair yang dipindahkan benda. Suatu

benda yang dicelupkan sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkan oleh benda tersebut. Gaya itu disebut gaya Archimedes. Secara sederhana, hukum Archimedes dapat ditulis dalam bentuk persamaan berikut.

Gaya Archimedes = berat zat cair yang dipindahkan

$$F_A = W_c$$

$$F_A = m_c \times g \dots\dots\dots (10.7)$$

Dari persamaan massa jenis:

$$m_c = \rho_c V_c \text{ (ingat rumus massa jenis)}$$

dimana;

F_A = gaya Archimedes (N)

ρ_c = massa jenis zat cair (kg/m³)

V_c = volume zat cair yang dipindah (m³)

g = percepatan gravitasi bumi (m/s²)

Volume zat cair akan sama dengan volume benda ($V_c = V_{benda}$) jika seluruh bagian benda tercelup ke dalam zat cair.

Adanya hukum Archimedes dalam zat cair menyebabkan benda yang dicelupkan ke dalamnya mengalami tiga kemungkinan, yaitu terapung, melayang, dan tenggelam.

1. Terapung

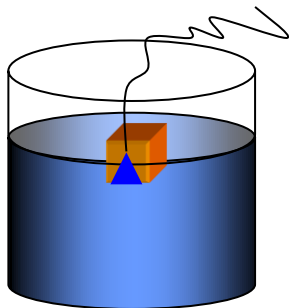
Peristiwa terapung terjadi jika sebuah benda yang dicelupkan dalam zat cair sebagian muncul di permukaan. Hal itu terjadi karena gaya Archimedes lebih besar daripada berat benda (jika seluruh benda tercelup dalam zat cair). Namun, perlu diketahui bahwa saat benda telah terapung, besar gaya Archimedes sama dengan berat benda.

$F_A > W$; pada saat benda diletakkan di tengah

$$\rho_c V_c g > \rho_b V_b g \dots\dots\dots (10.8)$$

dalam hal ini volume zat cair maksimum sama dengan volume benda (V_b)

Jadi benda akan terapung dalam zat cair jika massa jenis benda ρ_b lebih kecil daripada massa jenis zat cair (ρ_c).



Gambar 10.4. Terapung

2. Melayang

Benda dikatakan melayang dalam zat cair jika terletak di antara permukaan dan dasar air. Resultan gaya pada benda adalah nol. Hal ini terjadi karena gaya Archimedes sama dengan berat benda.

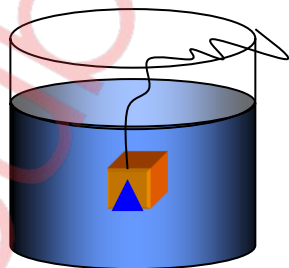
$$F_A = W$$

$$\rho_c V_c g = \rho_b V_b g; \dots\dots\dots(10.9)$$

$$V_c = V_b$$

$$\rho_c = \rho_b$$

Jadi benda akan melayang dalam zat cair jika massa jenis benda (ρ_b) sama dengan massa jenis zat cair (ρ_c).



Gambar 10.5. Melayang

3. Tenggelam

Benda dikatakan tenggelam dalam zat cair jika berat benda lebih besar daripada gaya Archimedes.

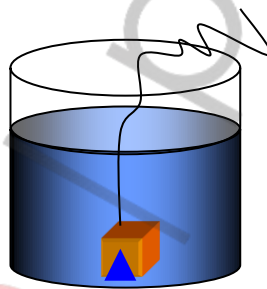
$$W > F_A \text{ (pada saat benda diletakkan di tengah)}$$

$$\rho_b V_b g > \rho_c V_c g; \dots \dots \dots (10.10)$$

$$V_b > V_c$$

$$\rho_b > \rho_c$$

Jadi, sebuah benda akan tenggelam dalam zat cair jika massa jenis benda (ρ_b) lebih besar daripada massa jenis zat cair (ρ_c).



Gambar 10.6 Tenggelam

Massa jenis besi lebih besar daripada massa jenis air. Itulah yang menyebabkan paku tenggelam dalam air. Namun, kapal besar yang terbuat dari besi dapat terapung dalam air. Hal itu menunjukkan bahwa besar gaya Archimedes dapat diperbesar dengan cara memodifikasi bentuk benda. Beberapa contoh penerapan hukum Archimedes dalam kehidupan sehari-hari sebagaimana dijelaskan berikut ini.

1. Kapal Laut

Badan kapal laut dibuat berongga. Adanya rongga itu menyebabkan kapal laut dapat memindahkan air laut dengan volume yang lebih besar. Karena gaya ke atas sebanding dengan volume air yang dipindahkan, adanya rongga tersebut menyebabkan gaya ke atas menjadi sangat besar. Gaya yang besar itulah yang dapat menahan berat kapal sehingga dapat terapung. Misalnya, berat kapal 1 juta

ton. Agar kapal terapung, air yang didesak kapal harus mempunyai berat minimal satu juga ton. Jika diisi muatan, kapal makin turun ke dalam air. Akibatnya, air yang didesak kapal juga makin banyak. Jika air yang didesak makin banyak, gaya ke atas yang dialami kapal makin besar. Penambahan gaya ke atas itulah yang mengimbangi berat muatan sehingga kapal tetap terapung.

Kapal laut dapat terapung karena massa jenisnya lebih kecil daripada massa jenis air laut. Mengapa demikian? Adanya rongga menyebabkan massa jenis kapal menjadi kecil. Massa jenis kapal yang dimaksud merupakan rata-rata dari massa jenis besi (bahan kapal), massa jenis muatan kapal (penumpang), dan massa jenis udara yang terdapat dalam rongga kapal.

2. Galangan Kapal

Untuk memperbaiki bagian bawah kapal yang rusak, digunakan galangan kapal. Galangan kapal adalah alat yang digunakan untuk mengangkat kapal ke atas permukaan air. Prinsip kerja alat ini juga berdasarkan hukum Archimedes. Kapal yang akan diperbaiki dimasukkan ke galangan kapal yang sebagian besar berada di dalam air laut. Selanjutnya, air dalam galangan dipompa keluar sehingga galangan itu naik ke permukaan air. Dengan demikian, kapal juga ikut naik ke permukaan air sehingga bagian bawah yang rusak dapat diperbaiki.

3. Kapal Selam

Badan kapal selam dilengkapi tangki pemberat yang terletak di antara lambung dalam dan lambung luar. Jika kapal akan menyelam, tangki pemberat diisi oleh air laut. Jika tangki pemberat berisi penuh dengan air laut, massa jenis rata-rata kapal menjadi lebih besar daripada massa jenis air laut. Hal inilah yang menyebabkan kapal tenggelam (menyelam). Sebaliknya, jika akan mengapung, air laut yang berada dalam tangki pemberat dikeluarkan. Pada keadaan ini, tangki pemberat berisi udara. Akibatnya, massa jenis rata-rata kapal kurang dari massa jenis air laut. Hal inilah yang menyebabkan kapal terapung. Sementara itu, kedalaman menyelam kapal diatur dengan cara mengatur volume air dalam tangki pemberat.

4. Jembatan Ponton

Dalam keadaan darurat, orang sering menggunakan drum-drum kosong sebagai jembatan. Drum-drum tersebut diletakkan sejajar dan di atasnya diberi papan penyebrangan. Jembatan seperti inilah yang disebut jembatan ponton.

5. Hidrometer

Hidrometer adalah alat untuk mengukur massa jenis relatif zat cair. Massa jenis relatif adalah massa jenis satu zat cair dibandingkan dengan massa jenis air (massa jenis air 1 g/cm^3 atau 1000 kg/m^3). Dalam zat cair yang berbeda, hidrometer akan mengapung dengan kedalaman yang berbeda. Makin besar massa jenis zat cair, makin tinggi tangkai kaca yang muncul. Oleh karena itu, skala hidrometer dibuat makin ke bawah makin besar angkanya. Montir mobil memakai hidrometer aki untuk mengetahui massa jenis cairan asam pengisi aki mobil. Cairan yang pekat memiliki massa jenis lebih besar daripada cairan encer. Jika sudah pekat, cairan aki harus diencerkan lagi. Hidrometer juga banyak dipakai untuk mengukur massa jenis susu, alkohol, dan larutan gula.

6. Balon Udara

Sebagaimana pada zat cair, pada udara juga terdapat gaya ke atas. Gaya ke atas yang dialami benda sebanding dengan volume udara yang dipindahkan benda itu. Suatu benda akan naik ke angkasa jika beratnya lebih kecil daripada gaya angkat udara. Balon udara akan berhenti naik (melayang) jika gaya ke atas oleh udara sama dengan berat total balon udara. Agar dapat naik lebih tinggi lagi, udara panas dalam balon harus dipanaskan lagi. Sebaliknya, untuk menurunkan balon, udara panas dalam balon harus didinginkan sedikit demi sedikit sampai akhirnya berat balon lebih besar daripada gaya angkat udara.

10.2.3. Tekanan pada Gas

1. Tekanan Atmosfer

Telah dikemukakan bahwa dalam zat cair terdapat tekanan. Besar tekanan tersebut sebanding dengan kedalamannya. Demikian pula dalam udara terbuka (atmosfer bumi). Tekanan udara di permukaan laut lebih

besar daripada tekanan udara di pegunungan. Tekanan udara maksimum terdapat di permukaan laut. Besar tekanan udara di permukaan laut didefinisikan sama dengan 1 atmosfer (1 atm). Atmosfir dapat tetap berada di sekeliling bumi karena ditahan oleh gaya gravitasi bumi. Misalnya: sebuah botol diisi dengan air sampai penuh, kemudian ditutup rapat-rapat dengan karton. Jika karton kita pegang kemudian botol kita balik, karton tidak jatuh meskipun pegangan kita lepaskan. Hal ini terjadi karena tekanan udara mampu menopang karton dan air dalam botol. Sebenarnya tubuh manusia menerima tekanan udara. Akan tetapi, hal tersebut tidak dirasakan. Hal ini terjadi karena tekanan udara yang mengenai tubuh manusia diimbangi oleh tekanan darah dalam tubuh. Bahkan, tekanan darah dalam tubuh tersebut sedikit lebih besar daripada tekanan udara.

Keberadaan tekanan udara juga dapat diamati pada sebuah kaleng bekas yang dipanaskan dan didinginkan secara tiba-tiba. Sebuah kaleng (bukan dari bahan plastik) diisi sedikit air dan dipanaskan. Setelah air menguap, kaleng ditutup rapat dan disiram air. Apa yang terjadi setelah itu? Selama pemanasan, banyak molekul udara yang keluar dari kaleng karena terdesak oleh uap air. Ketika kaleng didinginkan secara tiba-tiba (disiram air dingin), sebagian besar uap air dalam kaleng mengembun kembali menjadi air. Akibatnya, terjadi perbedaan tekanan yang cukup besar antara udara di dalam kaleng dan udara di luar kaleng. Itulah sebabnya kaleng menjadi penyok (ringsek).

Untuk lebih memahami keberadaan tekanan udara, dapat dilakukan beberapa kegiatan berikut.

a. Percobaan Torricelli

Meskipun sudah lama diketahui bahwa udara luar mempunyai tekanan, besar tekanan pada suatu tempat belum dapat diukur. Baru pada sekitar tahun 1643, Evangelista Torricelli (1608-1647) seorang ahli fisika Italia berhasil menciptakan alat pengukur tekanan udara yang disebut barometer setelah melakukan beberapa kali percobaan. Percobaan yang dilakukan oleh Torricelli adalah sebagai berikut: Dalam melakukan percobaannya, Torricelli menggunakan tabung kaca yang panjangnya kira-kira 1 m dan salah satu ujungnya tertutup. Tabung tersebut mula-mula diisi raksa sampai penuh, kemudian ujung yang terbuka ditutup dengan jari. Selanjutnya,

ujung tersebut dibalik dengan cepat dan dimasukkan ke bejana yang berisi raksa. Pada percobaan dapat diketahui bahwa tinggi raksa dalam tabung 76 cm dan ruang tabung bagian atas merupakan ruang hampa. Tinggi raksa tersebut tidak berubah walau tabung dimiringkan atau diganti dengan tabung yang berdiameter lebih besar. Jadi, tinggi raksa dalam tabung tidak bergantung pada diameter dan posisi tabung. Namun, jika kemiringan itu menyebabkan tinggi tabung kurang dari 76 cm, tabung terisi penuh dengan raksa. Karena percobaan tersebut dilakukan di atas permukaan laut, dapat disimpulkan bahwa tekanan raksa setinggi 76 cmHg sama dengan tekanan udara 1 atm.

Selain dinyatakan dalam bentuk atm, tekanan udara dapat juga dinyatakan dalam satuan pascal (Pa) atau N/m^2 . Hubungan kedua satuan tersebut dapat diturunkan sebagai berikut. Telah kita ketahui bersama bahwa tekanan dalam zat cair dirumuskan

$$p = \rho g h; \dots\dots\dots (10.11)$$

dimana:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{raksa}} &= 13.6 \text{ g/cm}^3 = 13.600 \text{ kg/m}^3 \\ g &= 9,8 \text{ N/kg (m/s}^2) \\ h_{\text{raksa}} &= 76 \text{ cm} = 0,76 \text{ m} \\ p &= 13.600 \text{ kg/m}^3 \times 9,8 \text{ N/kg} \times 0,76 \text{ m} \\ &= 101.300 \text{ N/m}^2 \text{ (dibulatkan)} = 101.300 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Dalam meteorologi, satuan tekanan yang sering digunakan ialah bar, dimana 1 bar sama dengan 100.000 Pa (1 bar = 1×10^5 Pa).

b. Hubungan Tinggi Tempat dan Tekanan Udara

Dalam zat cair, tekanan akan makin besar pada tempat yang lebih dalam. Demikian pula dalam udara. Tekanan udara paling besar terdapat di permukaan laut. Tekanan tersebut berangsur-angsur berkurang seiring dengan kenaikan tinggi tempat. Dengan barometer dapat diketahui bahwa setiap kenaikan tinggi tempat sebesar 100 m, tinggi permukaan raksa pada barometer turun 1 cm. Misalnya, jika tinggi permukaan raksa pada barometer di suatu kota 70 cm, tinggi

kota itu adalah 600 m dari permukaan laut. Dengan demikian, tinggi suatu tempat dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$h = (p_o - p) 100 \frac{m}{cmHg} \dots\dots\dots(10.12)$$

- h = tinggi suatu tempat (m)
- p = tekanan udara suatu tempat (cmHg)
- p_o = tekanan udara barometer (76 cmHg)

Barometer raksa kurang efisien digunakan. Hal ini disebabkan oleh ukurannya terlalu besar (panjang) dan mudah pecah sehingga sulit dibawa ke mana-mana. Untuk mengatasi hal itu, diciptakanlah barometer aneroid. Bagian utama barometer aneroid adalah kotak logam kecil yang berisi udara dengan tekanan sangat rendah. Permukaan kotak tersebut dibuat bergelombang dengan maksud agar lebih sensitif terhadap tekanan udara yang mengenainya. Jika tekanan udara bertambah, kotak tersebut akan mengempis (tertekan). Hal itu menyebabkan rantai tertarik ke kiri. Akibatnya, penunjuk skala menyimpang ke arah skala yang lebih besar. Sebaliknya, jika tekanan udara lebih kecil (berkurang), kotak logam tersebut akan mengembang. Hal itu menyebabkan rantai tertarik ke kanan. Akibatnya, jarum penunjuk menyimpang ke arah skala yang lebih kecil. Selain digunakan untuk mengukur tekanan udara, barometer aneroid juga sering digunakan oleh para pendaki gunung dan pilot untuk mengukur ketinggian tempat. Dalam hal ini, barometer aneroid berfungsi sebagai altimeter. Altimeter adalah alat untuk mengukur ketinggian suatu tempat.

2. Tekanan Gas dalam Ruang Tertutup

Telah kita ketahui bersama bahwa zat cair yang berbeda dalam sebuah bejana menekan dinding bejana ke segala arah. Demikian juga gas yang berada dalam ruang tertutup. Misalnya, bila sebuah balon ditiup maka balon tersebut akan mengembang atau mengembang. Jika balon yang telah mengembang tersebut dilubangi, udara dalam balon keluar melalui lubang tersebut. Dengan demikian, terbukti bahwa udara yang

berada dalam ruang tertutup melakukan tekanan pada dinding ke segala arah.

Adapun alat yang digunakan untuk mengukur tekanan gas dalam ruang tertutup adalah manometer. Sebagaimana barometer, manometer juga dapat dibedakan menjadi dua, yaitu manometer zat cair (raksa) dan manometer logam (aneroid).

a. Manometer Zat Cair

Manometer zat cair yang akan kita bahas di sini adalah manometer terbuka. Manometer ini terdiri atas sebuah tabung U yang diisi zat cair. Salah satu ujung tabung U terbuka (berhubungan dengan udara luar), sedangkan ujung yang lain dihubungkan dengan ruang gas yang akan diukur tekanannya. Sebelum tabung dihubungkan dengan ruang gas, tekanan udara luar bekerja pada tabung A dan B sehingga tinggi permukaan zat cair pada kedua tabung sama. Jika tabung A dihubungkan ke ruang gas, gas akan melakukan tekanan terhadap permukaan zat cair dalam tabung A. Akibatnya, permukaan zat cair dalam tabung A turun dan permukaan zat cair dalam tabung B naik. Selisih ketinggian permukaan zat cair (raksa) itulah yang menunjukkan seberapa besar tekanan gas dalam ruang. Namun, hal itu dapat terjadi dengan syarat tekanan gas dalam ruang lebih besar daripada tekanan udara luar.

$$p_{\text{gas}} = p_o + h; \dots\dots\dots (10.13)$$

dimana:

$$p_o = \text{tekanan udara luar (cmHg)}$$

$$h = \text{selisih tinggi raksa (cm)}$$

Selisih ketinggian raksa sulit untuk diukur dengan teliti karena terlalu kecil. Oleh karena itu, raksa dapat diganti dengan air. Karena massa jenis raksa sebesar $13,6 \text{ g/cm}^3$ dan massa jenis air 1 g/cm^3 , rumus tekanan gas untuk manometer air menjadi

$$p_{\text{gas}} = (p_o + \frac{h'}{13,6}) \text{ cmHg};$$

$$h' = \text{selisih ketinggian air (cm)}$$

b. Manometer Logam

Manometer logam yang akan kita bahas adalah jenis manometer Bourdon. Bagian utama manometer Bourdon adalah pipa logam yang melengkung. Manometer ini digunakan untuk mengukur tekanan gas yang sangat tinggi. Adapun prinsip kerjanya adalah sebagai berikut. Jika manometer Bourdon dihubungkan dengan tangki gas yang akan diukur tekanannya, gas tersebut masuk ke pipa logam. Hal itu menyebabkan pipa logam yang melengkung berusaha untuk meluruskan diri. Makin besar tekanan gas yang masuk ke pipa, makin besar usaha pipa untuk meluruskan diri. Usaha yang dilakukan pipa tersebut menyebabkan jarum penunjuk bergerak ke arah skala yang lebih besar searah jarum jam. Jadi, makin besar usaha pipa untuk meluruskan diri, makin besar pula skala yang ditunjuk oleh jarum penunjuk. Skala yang ditunjuk itulah yang menyatakan besar tekanan gas dalam ruang. Di bengkel-bengkel mobil, kita sering melihat orang mengukur tekanan udara dalam bang mobil dengan alat pengukur tekanan ban. Alat itu termasuk manometer logam. Adapun prinsip kerjanya adalah sebagai berikut.

Jika lubang pada alat tersebut ditempelkan pada bang kemudian ditekan, pentil ban terbuka. Akibatnya, udara dalam ban masuk ke alat tersebut. Hal ini menyebabkan silinder berskala pada alat tersebut tersodok (terdorong) keluar. Makin besar tekanan gas yang masuk ke alat tersebut makin panjang bagian silinder skala yang tersodok keluar. Besar tekanan gas dalam ban ditunjukkan oleh nilai skala yang berimpit dengan tepi tabung alat tersebut.

3. Hukum Boyle

Pernahkah kamu memperhatikan ban sepeda motor dan ban sepeda? Volume ban sepeda motor dan sepeda tidak sama. Jika ke dalam dua macam ban tersebut diisi dengan sejumlah gas dengan volume yang sama, tekanan gas di dalam kedua macam ban tersebut tidak sama. Gas dalam ban sepeda tentunya mempunyai tekanan yang lebih tinggi daripada gas dalam ban sepeda motor. Hal ini menunjukkan bahwa ada hubungan antara tekanan gas dan volume dalam ruang tertutup.

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa besar tekanan udara berbanding terbalik dengan volumenya. Artinya, jika volume gas diperkecil, tekanannya makin besar; dan jika volume gas diperbesar, tekanannya makin kecil. Ingat, gas merupakan zat yang mudah diubah-ubah volumenya (mudah dimampatkan). Jika tekanan dikalikan dengan volumenya akan dihasilkan nilai tetap (konstanta). Karena percobaan dilakukan pada suhu tetap, berdasarkan hasil percobaan tersebut di atas dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut.

Hasil kali tekanan dan volume gas dalam ruang tertutup bernilai tetap, asalkan suhunya tetap. Secara matematis, kesimpulan di atas dapat ditulis

$$p V = c; \dots\dots\dots (10.14)$$

c = konstanta atau

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = p_3 V_3 = \dots$$

Kesimpulan di atas pertama kali dikemukakan oleh Robert Boyle (1627-1691), seorang ilmuwan berkebangsaan Inggris. Oleh karena itu, kesimpulan tersebut dikenal sebagai hukum Boyle. Berdasarkan hukum Boyle inilah akhirnya pompa ditemukan dan dikembangkan para ilmuwan.

Pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan zat cair atau gas. Berdasarkan prinsip kerjanya, pompa dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu pompa tekan dan pompa isap. Contoh pompa tekan adalah pompa sepeda. Adapun contoh pompa isap adalah pompa air.

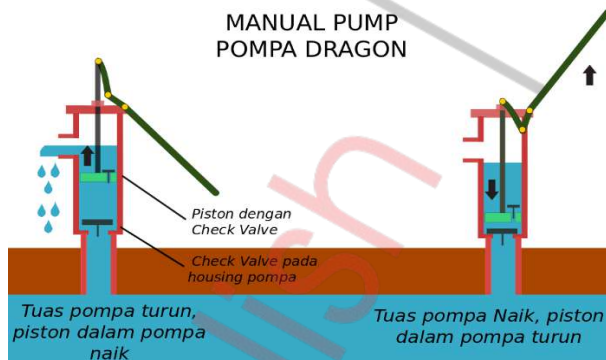
a. Pompa Sepeda

Bagi pengendara sepeda, pompa sangat penting. Dengan pompa, seorang dapat mengisikan udara ke dalam ban sepeda. Prinsip kerja pompa dapat diterangkan seperti berikut. Jika pengisap ditarik, udara luar masuk ke badan pompa melalui katup masukan. Jika pengisap ditekan, katup masukan agak mengembang sehingga udara dalam badan pompa tidak dapat keluar. Jika pengisap ditekan terus, udara dalam badan pompa akan memaksa katup keluaran agar terbuka dan masuk ke dalam ban. Sekali udara terperangkap dalam ban, udara tersebut tidak dapat keluar melalui katup keluaran. Jadi,

memompa ban sepeda artinya memasukkan udara luar ke dalam ban sepeda.

b. Pompa Air

Sekarang ini masih banyak ditemukan orang menggunakan sumur pompa. Sumur ini tidak memerlukan tempat yang luas, dibandingkan dengan sumur timba. Sumur pompa terdiri atas pengisap yang dihubungkan ke sumber air. Pompa jenis ini memanfaatkan tenaga manusia untuk menjalankannya. Salah satu contoh pompa ini ialah pompa dragon yang banyak ditemukan di desa sekitar tahun 1980an. Pompa ini tidak menggunakan energi listrik, melainkan tenaga manusia untuk menggerakkan pompa. Pompa air ini memanfaatkan piston untuk mengisap air dari bawah tanah ke permukaan. Prosesnya yaitu tuas yang terpasang digerakkan naik turun, sehingga plunyer pompa mengisap air ke atas, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10.7



Gambar 10.7 Cara Kerja Pompa Dragon

10.3. Karakteristik Aliran Fluida Bergerak

1. Aliran Laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan – lapisan, atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar . Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecendrungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi hukum viskositas Newton.

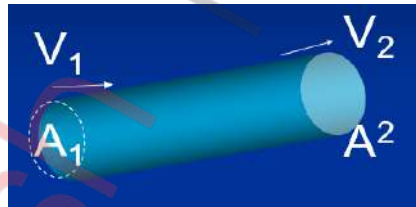
2. Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian – kerugian aliran.

3. Hukum Bernoulli

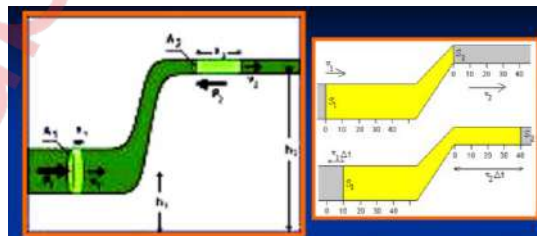
Syarat fluida ideal (Bernoulli):

- Zat cair tanpa adanya geseran dalam (cairan tidak viskous)
- Zat cair mengalir secara stasioner (tidak berubah) dalam hal kecepatan, arah maupun besarnya (selalu konstan)
- Zat cair mengalir secara steady yaitu melalui lintasan tertentu
- Zat cair tidak termampatkan (incompressible) dan mengalir sejumlah cairan yang sama besarnya (kontinuitas)



Gambar 10.8 Hukum Bernoulli

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots (10.15)$$

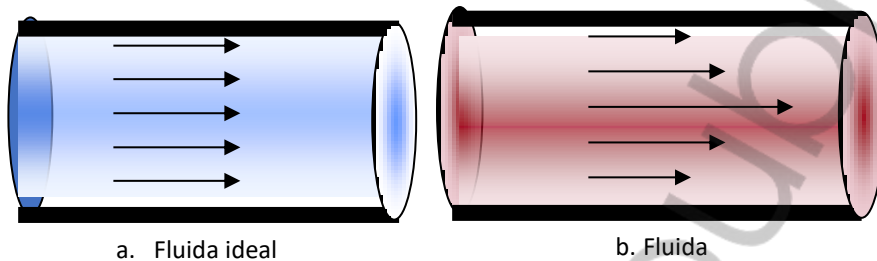


Gambar 10.9 Hukum Bernoulli

Berdasarkan Gambar 10.9 dan konsep kerja-energi:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstan}$$

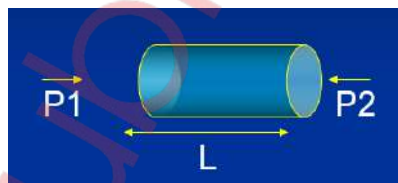
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2 \dots \dots \dots (10.16)$$



Gambar 10.10 Aliran Fluida

4. Viskositas

Viskositas adalah kemampuan suatu fluida untuk mengalir atau viskositas adalah ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besarnya gaya gesekan di dalam fluida. Viskositas biasa juga disebut kekentalan. Viskositas disebabkan adanya gaya kohesi atau gaya tarik-menarik antara molekul sejenis. Sedangkan dalam zat gas, viskositas disebabkan oleh tumbukan antara molekul. Oleh karena itu, air yang “tipis”, memiliki viskositas lebih rendah. Sedangkan madu yang “tebal”, memiliki viskositas yang lebih tinggi. Sederhananya, semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar juga pergerakan dari fluida tersebut.



Gambar 10.10 Aliran Viskositas

Berdasarkan persamaan debit aliran, nilai viskositas suatu zat dapat diketahui seperti yang diperlihatkan persamaan berikut ini.

$$Q = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8\delta L} \dots\dots\dots (10.17)$$

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi r^4 (P_1 - P_2)}{8\delta L} \dots\dots\dots (10.18)$$

$$\delta = \frac{\pi r^4 t (P_1 - P_2)}{8LV} \dots\dots\dots (10.19)$$

Dimana:

Q = Debit aliran (m^3/s)

r = jari-jari (m)

V = volume (m^3)

t = waktu yang dibutuhkan (s)

P_1 = Tekanan pada sisi masuk (N/m^2)

P_2 = Tekanan pada sisi keluar (N/m^2)

L = Panjang pipa (L)

δ = viskositas

10.4. Contoh Soal

1. Air dan alkohol masing-masing dengan volum 200 mL dan 100 mL dicampur. Jika dianggap tidak ada perubahan volum selama pencampuran, berapa massa jenis rata-rata hasil pencampuran?

Penyelesaian:

Diketahui $\rho_1 = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \text{ g}/\text{mL}$ dan

$\rho_2 = 790 \text{ kg}/\text{m}^3 = 0,79 \text{ g}/\text{mL}$.

Massa jenis rata-rata campuran ialah:

$$\rho = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

$$\rho = \frac{(1 \times 200) + (0,79 \times 100)}{(200 + 100)}$$

$$\rho = 0,93 \text{ g}/\text{mL} = 930 \text{ kg}/\text{m}^3$$

2. Pencarian penumpang pesawat yang jatuh di Selat Makassar mengharuskan tim SAR menyelam ke dasar laut hingga kedalaman 50 meter. Bila massa jenis air laut dianggap sama dengan massa

jenis air biasa (1.000 kg/m^3), berapa tekanan total yang dialami penyelam ketika mencapai dasar laut tersebut?

Penyelesaian:

Tekanan hidrostatik di dasar laut yaitu:

$$\rho gh = 1.000 \times 10 \times 50 = 500.000 \text{ Pa.}$$

Di permukaan laut sudah ada tekanan atmosfer sebesar 100.000 Pa .

Berarti tekanan total di dasar laut tersebut ialah $500.000 + 100.000 = 600.000 \text{ Pa.} = 600 \text{ kPa}$.

3. Pada pompa air memiliki *discharge head* (DH) dan *suction head* (SH). DH artinya adalah ketinggian maksimum air yang dapat didorong pompa sedangkan SH adalah kemampuan pompa untuk menyedot air. Jika sebuah pompa memiliki DH 25 meter, berapakah tekanan dorong yang dihasilkan pompa, bila $1 \text{ atm} = 100.000 \text{ Pa}$.

Penyelesaian:

Diketahui $DH = 21$ meter. Dan air yang didorong tersebut berada di bawah pengaruh tekanan atmosfer.

Tekanan dorong yang dihasilkan pompa yaitu:

$$P = P_0 + \rho gh = 100.000 + (1.000 \times 10 \times 25) = 350.000 \text{ Pa} = 3,5 \text{ atm.}$$

10.5. Rangkuman

1. Fluida merupakan sesuatu yang dapat mengalir sehingga sering disebut sebagai zat alir.
2. Secara alami, fluida terbagi dua yaitu fluida statis (statik), dan fluida dinamis (dinamik). Fluida statis adalah fluida diam yang tidak mengalir, sedangkan fluida dinamis adalah fluida yang mengalir secara alami
3. Massa jenis adalah perbandingan antara massa terhadap volumenya
4. Berat jenis (*specific gravity*) adalah perbandingan antara massa jenis benda tersebut terhadap massa jenis air.
5. Tekanan suatu benda merupakan hasil bagi gaya dengan luas permukaan tempat gaya tersebut bekerja

6. Tekanan yang diterima suatu benda yang tercelup dipengaruhi oleh jenis cairan (ρ), dan kedalaman atau posisi ketinggian (h) benda yang tercelup.
7. Teorema Pascal menyatakan bahwa tekanan yang diberikan pada suatu cairan yang tertutup akan diteruskan tanpa berkurang ke segala titik dalam fluida dan ke dinding bejana
8. Teorema Archimedes menyatakan bahwa sebuah benda yang tenggelam seluruhnya atau sebagian dalam suatu fluida akan mendapatkan gaya angkat ke atas yang sama besar dengan berat fluida yang dipindahkan
9. Aliran Laminer adalah aliran fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan, atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lencer
10. Aliran Turbulen adalah Aliran partikel–partikel fluida yang sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar.
11. Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar.
12. Semakin rendah viskositas suatu fluida, semakin besar juga pergerakan dari fluida tersebut.

10.6. Soal-Soal Latihan

1. Suatu benda yang massanya 1 kg dimasukan dalam suatu tabung (diameter 0.5 m) yang berisi air dengan ketinggian 1 m sehingga permukaan air meningkat 0.7 m. Berapakah massa jenis benda tersebut?
2. Hitunglah tekanan total yang dialami sebuah benda yang tercelup dalam sumur pada ke dalaman 10 m dari permukaan air sumur. Jika percepatan gravitasi di daerah itu adalah sebesar 10 m/s^2
3. Berapa tekanan yang dialami penyelam yang berada pada posisi 100 m di atas dasar laut ? (kedalaman laut = 1 km, massa jenis air laut: $1,025 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)
2. Sebuah pipa berbentuk u yang memiliki luas penampang kakinya berbeda digunakan untuk mengangkat beban. Berapakah beban

- maksimum yang dapat diangkat olehnya jika luas penampang yang kecil, $A = 1 \text{ m}^2$, diberikan gaya 10^4 N dengan luas penampang yang besar adalah 5 m^2 ?
3. Tentukan keaslian mahkota raja terbuat dari emas atautkah bukan? Emas memiliki specific gravity 19.3. massa mahkota tersebut 14.7 kg ketika di udara dan 13.4 kg ketika berada di dalam air. Apakah mahkota tersebut terbuat dari emas murni?
 4. kecepatan darah melalui pembuluh aorta berjari-jari 1 cm ialah 30 cm/s. Hitunglah kecepatan rata-rata darah tersebut ketika melalui pembuluh kapiler yang masing-masing berjari-jari $4 \times 10^{-4} \text{ cm}$ dan luas permukaan total 2000 cm^2
 5. Air dipompa dengan kecepatan 0,5 m/s melalui pipa berdiameter 4 cm di lantai dasar dengan tekanan 3 atm. Berapakah kecepatan dan tekanan air di dalam pipa berdiameter 2,6 cm di lantai atas yang tingginya 5 m ?
 6. Oli mesin dengan viskositas 0,2 N.s/m² dilewatkan pada sebuah pipa berdiameter 1,8 mm dengan panjang 5,5 cm. Hitunglah beda tekanan yang diperlukan untuk menjaga agar laju alirannya 5,6 mL/menit !

10.7. Referensi

- Abdullah, M. 2016. Fisika Dasar 1. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal. Jakarta: Erlangga.
- Course Note *FISIKA*, PEDC Bandung
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. Applied physics: Edisi X. USA: Prentice Hall.
- Francis W.Sears, 1991. *FISIKA UNIVERSITAS*. Jakarta: Erlangga
- Frederick J. Bueche, 1994. *FISIK: seri buku schaum*. Jakarta: Erlangga.
- Ganjanti Aby Saroyo, 2002. *MEKANIKA: Seri Fisika Dasar*. Jakarta: Salemba Teknika.
- Kramer, L. 2008. University Physics: 12th Edition. USA: Pearson Education, Inc.
- Lubis, Riani. 2008. *FISIKA DASAR 1*. Jakarta: Unikom.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. Physics for Engineers and Scientists: Edisi III. USA: Norton & Co.

Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991.
Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga.

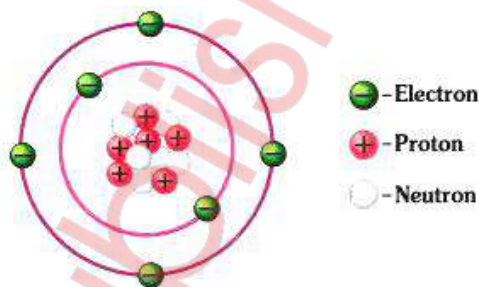
Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. Fundamentals of Physics: Edisi
X. USA: John Weley.

BAB 11.

DASAR-DASAR KELISTRIKAN

11.1. Arus Listrik

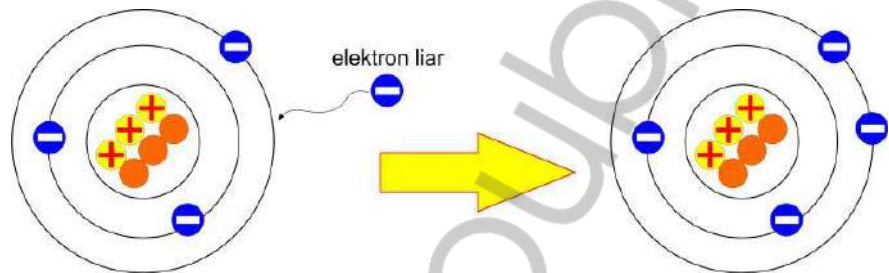
Setiap benda terdiri dari bagian-bagian yang sangat kecil, yang disebut molekul. Apabila molekul ini dibagi lagi menjadi bagian yang lebih kecil, bagian-bagian kecil ini disebut atom. Tiap-tiap atom mempunyai satu inti yang tersusun proton dan neutron. Proton mempunyai listrik yang bermuatan positif(+), dan dalam keadaan tidak bergerak (diam), sedangkan neutron merupakan partikel yang tidak bermuatan listrik atau netral. Proton ini dikelilingi oleh satu atau beberapa benda yang sangat kecil, dan benda ini disebut elektron. Elektron ini mengandung muatan listrik negatif (-) dan berputar mengelilingi proton dengan kecepatan kira-kira 300.000 km/detik seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.1.



Gambar 11.1 Atom: elektron, proton, dan neutron

Elektron yang berada pada lapisan terluar (orbit) disebut electron bebas. Elektron bebas ini cenderung dan mudah sekali untuk berpindah ke atom lain yang berada disekitarnya, dimana selanjutnya elektron ini turut berputar mengelilingi proton dari atom yang bersangkutan. Akibat dari

perpindahan elektron bebas itu, maka terjadi kekosongan di dalam atom yang ditinggalkan dan diisi oleh elektron-elektron bebas yang berasal dari atom lain. Apabila pergerakan dari elektron bebas ini teratur ke satu arah (disebut aliran elektron), maka timbul aliran listrik (muatan listrik), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.2.



Gambar 11.2 Perpindahan Elektron dari orbit satu ke orbit lainnya

Arus listrik timbul karena adanya aliran elektron. Arus listrik diluar sumbernya mengalir dari kutub positif ke kutub negatif dan di dalam sumbernya dari kutub negatif ke kutub positif. Jadi aliran arus listrik adalah kebalikan dari arah aliran elektron. Listrik mengalir sebagai arus listrik seperti air dan melakukan kerja. Benda yang mudah mengalirkan listrik disebut penghantar. Benda yang sukar mengalirkan listrik disebut isolator. Dan benda yang dapat digunakan sebagai penghantar dan isolator disebut semikonduktor. Arus listrik akan bereaksi jika mengalir. Itu termasuk panas, magnetik dan gerak kimiawi. Dan disebut *three action* dari aliran listrik.

1. Reaksi panas

Ketika arus listrik mengalir pada konduktor, arus tersebut mengalami tahanan. Akibat tahanan, aliran arus listrik menghasilkan panas di dalam konduktor. Makin besar tahanan arus listrik, makin besar panas yang dihasilkan.

2. Reaksi magnet

Arus listrik yang mengalir, menembus konduktor dan menghasilkan garis gaya magnet, bisa dilihat dengan mengadakan percobaan sederhana yaitu taburkan serbuk besi diatas selembar kertas, kemudian alirkan arus listrik pada kawat menembus kertas.

3. Reaksi kimia

Ketika arus listrik mengalir dalam asam balerang, melalui elektroda platina asam balerang terurai menjadi O_2 dan H_2 dinamakan Elektrolisa, yang mana merupakan gerak kimia dari arus listrik. Baterai, elektro plating dan polising menggunakan gerak kimiawi dari arus listrik.

Ketika baterai dihubungkan dengan lampu senter menggunakan kabel, maka di dalam kabel timbul arus listrik. Arus listrik ini timbul karena ada elektron yang mengalir di dalam kabel. Meskipun arus listrik ditimbulkan oleh elektron yang bergerak, namun arah arus listrik berlawanan dengan arah gerak elektron. Arus listrik bergerak dari kutub positif (potensial tinggi) menuju kutub negatif baterai (potensial rendah). Arah arus listrik ini disebut *arah arus listrik konvensional*. Sebaliknya, elektron bergerak dari kutub negatif menuju kutub positif baterai. Kuat arus listrik menyatakan jumlah muatan listrik (muatan elektron) yang mengalir melewati penampang kawat setiap sekon. Kuat arus listrik dilambangkan dengan huruf I dan dirumuskan sebagai

$$I = \frac{q}{t} \dots\dots\dots(11.1)$$

Dimana: I = arus listrik (A)
 Q = muatan listrik (C)
 t = waktu (s).

Satuan kuat arus listrik adalah *coulomb per sekon* atau disingkat $\frac{C}{s}$. Satuan ini juga dikenal dengan nama *ampere* (A). Satuan kuat arus yang lebih kecil disebut *miliampere* (mA) dan *mikroampere* (μA);

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$$
$$1 \text{ } \mu\text{A} = 0,000 \text{ 001 A}$$

Sebagaimana yang diperlihatkan Persamaan 11.1, nampak bahwa kuat arus listrik 1 ampere dihasilkan bila muatan listrik 1 coulomb mengalir selama 1 sekon. Dengan menggunakan persamaan kuat arus listrik (11.1), kita juga dapat mengetahui banyaknya muatan yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik:

$$q = I \times t \dots\dots\dots(11.2)$$

Kuat arus listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian dapat diukur dengan alat yang disebut *amperemeter*.

Jika kutub positif (+) dari baterai dihubungkan dengan kutub negatif (-), melalui konduktor, maka arus mengalir. Aliran arus listrik bisa dianalogikan dengan aliran air. Jika ada reservoir (penampung) air, A dan B, penampung A lebih tinggi dari B dan dihubungkan dengan pipa, maka air mengalir dari penampung A ke penampung B. Jika permukaan air di penampung A lebih tinggi dari penampung B maka akan dihasilkan tekanan air. Sebab air mengalir ke bawah. Aliran listrik terjadi seperti aliran air, dari positif (+) ke negatif (-). Jika potensial positif (+) lebih tinggi dari pada potensial kutub negatif (-) dan ini tegangan antara terminal yang berseberangan. Listrik tidak akan mengalir jika tidak ada perbedaan potensial (sama halnya dengan air) antara sumber dan kutub yang lain. Aliran listrik ini disebut arus listrik sama dengan aliran air yang disebut dengan aliran air.

Arus listrik digolongkan menjadi dua yaitu Arus Bolak-Balik (AC, Alternating Current), dan Arus Searah (DC, Direct Current). Dalam AC atau DC tersebut memiliki perbedaan yaitu pada molekul elektronnya. Di dalam elektron DC dimana arus terus mengalir dengan searah, sedangkan di dalam elektron AC arus akan mengalir tapi terkadang mengalami bolak-balik. Arus AC yang bolak-balik mempengaruhi tegangannya karena arusnya tidak stabil begitupun tegangannya. Sebagian besar elektronik menggunakan arus DC, tapi tidak sedikit juga yang menggunakan arus AC, penggunaan arus AC sangat penting untuk rumah tangga karna akan menyalurkan aliran listrik yang tunggal dari trafo untuk kemudian di alirkan ke tempat yang lebih jauh lagi. Arus AC mempunyai keuntungan bahwa voltage dapat bervariasi dengan voltage transformers. Kerugiannya adalah bahwa arus AC tidak bisa disimpan dan jika digunakan untuk motor, ini tidak bisa menggunakan torsi yang besar pada saat distart. Secara umum arus AC di alirkan dari PLN untuk kemudian digunakan pada rumah tangga, perkantoran, industri, dan lain sebagainya. Arus AC bisa meningkat atau menurun tergantung penggunaan pada transformatornya.

Pada arus DC, aliran arusnya sangat stabil sehingga sangat mudah untuk diketahui, karena arus ini mengalirkan arus dari medan negatif ke

medan positif dengan konstan tanpa ada perubahan. Arus DC biasanya terdapat pada baterai yang biasanya di jual di supermarket, toko mainan, ataupun warung kelontong. Fungsi baterai tersebut dapat menghidupkan suatu mainan seperti mobil – mobilan, jam dinding, dan lain sebagainya. Selain untuk mainan arus DC juga digunakan pada laptop, radio, televisi, dan lain sebagainya. Aliran dari PLN merupakan aliran AC sehingga jika langsung di gunakan maka akan terjadi kerusakan pada laptop tersebut, maka dari itu fungsi dari adapter charger laptop berfungsi untuk mengubah aliran dari AC menjadi DC sehingga laptop dapat digunakan. Arus DC mempunyai keuntungan bahwa arusnya bisa disimpan dan digunakan arus DC bisa menghasilkan torsi yang besar.

11.2. Medan Listrik

Dalam atom netral (atom yang “tidak bermuatan listrik”), jumlah proton sama dengan jumlah elektron. Muatan listrik keduanya pun sama besar, tapi tandanya berlawanan. Dengan demikian, jumlah muatan listrik dalam atom netral sama dengan nol. Pada kondisi tertentu, elektron dapat meninggalkan atom. Bila sebuah elektron meninggalkan atom maka muatan inti menjadi lebih besar daripada muatan seluruh elektron yang tersisa. Atom yang demikian disebut atom bermuatan positif. Sebaliknya, suatu atom netral bisa menerima elektron bebas. Akibatnya, muatan seluruh elektron lebih besar daripada muatan inti. Atom yang demikian disebut atom bermuatan negatif. Dalam skala yang lebih besar, kita juga mengenal benda netral dan benda bermuatan listrik. Benda netral adalah benda yang memiliki jumlah elektron dan proton sama besar. Benda netral tidak dapat menarik atau menolak benda lain secara listrik. Sebaliknya, benda bermuatan listrik mengalami kelebihan dan kekurangan elektron. Benda bermuatan listrik dapat menarik atau menolak benda lain secara listrik. Benda netral dapat diubah menjadi benda bermuatan listrik. Caranya antara lain melalui penggosokan. Dengan menggosok sebuah benda netral, maka elektron berpindah dari satu benda ke benda lain. Perpindahan elektron semacam ini merupakan gejala listrik statis (lemah).

Gaya listrik antara dua benda bermuatan dapat berupa gaya tarik atau gaya tolak. Gaya tarik terjadi pada benda-benda yang muatannya berlawanan (muatan positif dengan muatan negatif). Sebaliknya, gaya

tolak terjadi pada benda-benda yang muatannya sejenis (muatan positif dengan muatan positif, muatan negatif dengan muatan negatif). Gaya listrik berkekuatan besar terjadi pada halilintar. Sebelum terjadi halilintar, awan bagian atas bermuatan positif, sedangkan awan bagian bawah bermuatan negatif. Ketika awan dengan muatan yang berbeda tersebut bertemu, maka terjadi kilatan cahaya yang disertai bunyi guntur. Berdasarkan hukum Coulomb, gaya listrik pada dua benda makin besar apabila muatan listrik keduanya makin besar atau jarak keduanya makin kecil. Sebaliknya, gaya listrik pada dua benda makin kecil bila muatan listriknya makin kecil atau jarak keduanya makin besar. Bila dua benda yang muatannya tertentu didekatkan sehingga jarak keduanya menjadi $\frac{1}{2}$ kali jaraknya semula, maka gaya listrik menjadi 4 kali gaya semula. Sebaliknya, bila dua muatan tersebut dijauhkan sehingga jarak keduanya menjadi 2 kali jarak semula, maka gaya listrik menjadi $\frac{1}{4}$ kali gaya listrik semula. Selain pada benda bermuatan, gaya Coulomb juga bekerja pada partikel-partikel bermuatan listrik. Hukum Coulomb menunjukkan bahwa gaya listrik antara dua benda bermuatan sebanding dengan muatan masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dua benda tersebut. Besarnya gaya listrik yang bekerja antara dua partikel bermuatan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \dots\dots\dots (11.3)$$

- dengan: k = konstanta = $9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$
 $q_1; q_2$ = muatan listrik (coulomb, C)
 r_{12} = jarak pisah antara muatan q_1 dan q_2 (m)

Medan listrik adalah pengaruh yang diberikan oleh muatan listrik pada daerah sekitar muatan listrik. Sebagai contoh, sebuah partikel Q diletakkan di sekitar benda B. Jika partikel Q ini mengalami gaya listrik, berarti di sekitar benda B terdapat medan listrik. Tetapi jika partikel Q tidak mengalami gaya listrik, berarti tidak ada medan listrik di sekitar benda B. Nilai muatan ini akan mempengaruhi perhitungan medan listrik dalam hal tandanya, yaitu positif atau negatif (atau nol). Untuk memudahkan pemahaman dan perhitungan mengenai medan listrik, medan

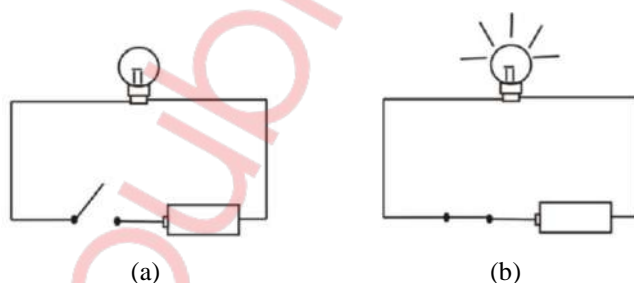
listrik dapat digambarkan dengan garis-garis khayal yang disebut garis-garis medan listrik. Apabila pada setiap titik di sekitar sebuah (atau beberapa) muatan akan dihitung medan listrik, maka akan lebih mudah jika dibuat gambar berupa garis-garis yang saling berhubungan. Garis-garis inilah yang disebut sebagai garis-garis medan listrik. Tanda muatan menentukan apakah garis-garis medan listrik yang disebabkan berawal darinya atau menuju padanya. Telah ditentukan (berdasarkan gaya yang dialami oleh muatan uji positif), bahwa muatan positif (+) akan menyebabkan garis-garis medan listrik darinya menuju keluar, sedangkan muatan negatif (-) akan menyebabkan garis-garis medan listrik berarah masuk menuju padanya. Sedangkan muatan nol tidak menyebabkan adanya garis-garis medan listrik.

11.3. Rangkaian Listrik

Rangkaian listrik ada beberapa macam. Ada rangkaian tertutup dan ada rangkaian terbuka. Ada rangkaian seri dan ada rangkaian paralel. Apakah perbedaan masing-masing rangkaian ?

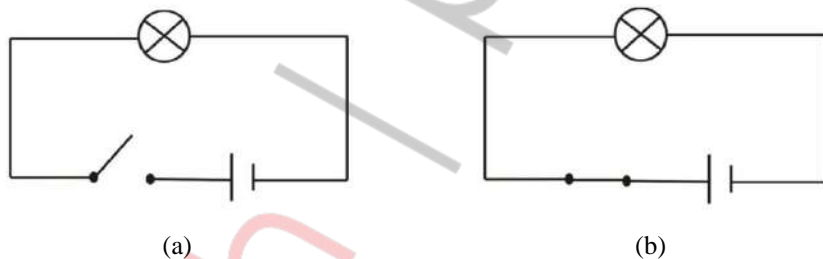
11.3.1. Rangkaian Tertutup dan Rangkaian Terbuka

Pada dasarnya rangkaian listrik dibedakan menjadi dua, yaitu rangkaian listrik terbuka dan rangkaian listrik tertutup. Rangkaian listrik terbuka adalah suatu rangkaian yang belum dihubungkan dengan sumber tegangan, sedangkan rangkaian listrik tertutup adalah suatu rangkaian yang sudah dihubungkan dengan sumber tegangan.



Gambar 11.3 Rangkaian Listrik (a) terbuka, (b) tertutup

Arus listrik hanya terjadi pada suatu rangkaian listrik tertutup. Rangkaian *listrik tertutup* adalah rangkaian yang tidak memiliki ujung pangkal. Arus listrik mengalir dari kutub positif menuju kutub negatif baterai melalui lampu. Kemudian, arus listrik mengalir di dalam baterai dari kutub negatif menuju kutub positif. Hal ini menunjukkan bahwa di luar sumber tegangan, arus listrik mengalir dari kutub positif ke kutub negatif. Sebaliknya, di dalam sumber tegangan, arus listrik mengalir dari kutub negatif ke kutub positif. Bagaimana bila salah satu ujung kabel dilepas dari kutub baterai? Apakah lampu masih menyala? Ketika ujung kabel dilepas dari kutub baterai, maka rangkaian berubah menjadi rangkaian listrik terbuka. Rangkaian listrik terbuka memiliki ujung dan pangkal. Pada rangkaian seperti ini tidak terdapat arus listrik. Akibatnya, lampu yang terpasang pada rangkaian menjadi tidak menyala.



Gambar 11.4 Skema Rangkaian Listrik (a) terbuka, (b) tertutup

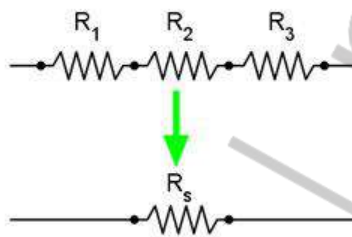
Pada rangkaian listrik tertutup, muatan dapat mengalir melalui kawat rangkaian dari satu terminal baterai ke terminal yang lain, aliran muatan seperti ini disebut arus listrik. Ketika kawat pertama kali dihubungkan, beda potensial antara terminal-terminal baterai mengakibatkan adanya medan listrik di dalam kawat dan parallel terhadapnya. Dengan demikian, elektron-elektron bebas pada satu ujung kawat tertarik ke terminal positif, dan pada saat yang sama, elektron-elektron meninggalkan terminal negatif dan memasuki kawat di ujung yang lain.

11.3.2. Rangkaian Seri dan Rangkaian Paralel

Pada dasarnya ada 2 macam susunan hambatan, yaitu susunan seri dan susunan paralel.

1. Susunan Seri

Hambatan dikatakan tersusun seri bila dipasang secara berurutan, artinya hambatan yang satu berada di belakang hambatan yang lain. hambatan yang disusun seri dapat diganti dengan sebuah hambatan pengganti. Misalnya terdapat 3 buah hambatan dengan nilai masing-masing R_1 , R_2 , dan R_3 , yang disusun secara seri. Tiga hambatan ini dapat diganti dengan sebuah hambatan pengganti yang lainnya R_s seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.5.



Gambar 11.5 Rangkaian Seri (R_1 , R_2 , R_3) dan Pengganti (R_s)

Dengan memasang hambatan R_s , maka kuat arus dan beda potensial listrik antara titik A dan titik B tidak berubah. Hambatan R_s disebut hambatan pengganti untuk susunan seri. Sebelum diganti, beda potensial antara titik A dan B adalah

$$\begin{aligned}
 V_{AB} &= (V_A - V_P) + (V_P - V_Q) + (V_Q - V_B) \\
 &= V_{AP} + V_{PQ} + V_{QB} \\
 &= IR_1 + IR_2 + IR_3 \dots \dots \dots (11.4)
 \end{aligned}$$

Kuat arus listrik dalam rangkaian seri adalah sama besar di mana pun (hukum II Kirchoff). Artinya, kuat arus yang melalui R_1 , R_2 , dan R_3 , sama besar. Setelah menggunakan hambatan pengganti R_s , maka beda potensial antara titik A dan B menjadi $V_{AB} = IR_s$. Oleh karena V_{AB} dan I tidak berubah, maka

$$IR_s = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

atau

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

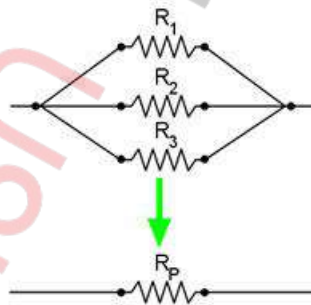
Berarti, hambatan pengganti untuk susunan seri sama dengan jumlah aljabar dari masing-masing hambatan. Bila ada n buah hambatan dengan hambatan masing-masing R_1, R_2, \dots, R_n yang disusun secara seri, maka hambatan penggantinya adalah

$$R_S = R_1 + R_2 + \dots + R_n \dots\dots\dots (11.5)$$

2. Susunan Paralel

Hambatan dikatakan tersusun paralel bila dipasang secara berdampingan. Beberapa hambatan yang disusun secara paralel dapat diganti dengan sebuah hambatan pengganti R_p . bagaimana menentukan hambatan pengganti R_p ?

Misalkan terdapat 3 buah hambatan dengan nilai R_1, R_2 , dan R_3 yang disusun secara paralel. Ketiga hambatan ini dapat diganti dengan sebuah hambatan pengganti, R_p seperti yang diperlihatkan Gambar 11.6.



Gambar 11.6 Rangkaian Seri (R_1, R_2, R_3) dan Pengganti (R_p)

Dengan memasang hambatan R_p maka beda potensial V_{AB} dan kuat arus listrik I tetap sama. Untuk rangkaian seperti di atas, kita dapat menggunakan hukum I Kirchoff untuk mendapatkan

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \dots\dots\dots (11.6)$$

Menurut hukum Ohm :

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1} \quad I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2} \quad I_3 = \frac{V_{AB}}{R_3}$$

Kuat arus listrik hambatan pengganti adalah $I = \frac{V_{AB}}{R_p}$. Oleh karena V_{AB} dan I tidak berubah, maka diperoleh:

$$\frac{V_{AB}}{R_p} = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} + \frac{V_{AB}}{R_3}$$

Dengan demikian, secara umum bila ada n buah hambatan dengan nilai masing-masing R_1, R_2, \dots, R_n yang disusun secara paralel, maka hambatan penggantinya (R_p) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \dots\dots\dots(11.7)$$

Khusus untuk dua buah hambatan pengganti yang disusun secara paralel, maka hambatan penggantinya dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

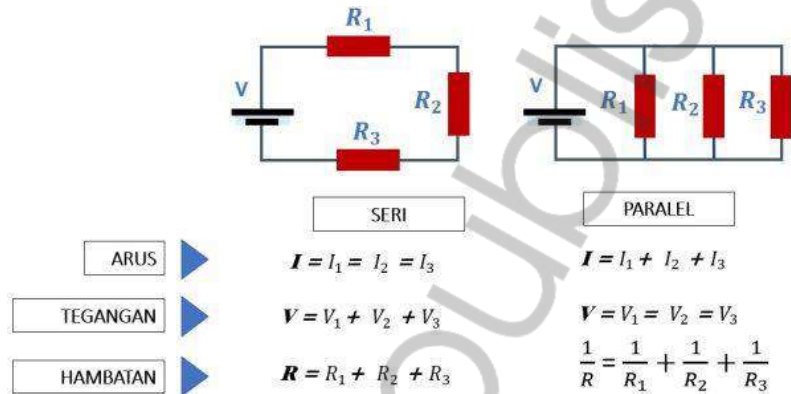
$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \times R_2}$$

atau

$$R_p = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

Bila diperhatikan dengan baik susunan baterai dalam senter dan mobil mainan anak-anak, maka secara umum ada dua cara menyusun baterai dalam suatu rangkaian listrik. *Cara pertama*, kutub negatif baterai 1 dihubungkan dengan kutub positif baterai 2. Jika kutub-kutub susunan baterai ini dihubungkan dengan sebuah lampu, maka lampu akan menyala dengan terang. Nyala lampu ini lebih terang daripada bila menggunakan satu baterai, nyala lampu bertambah terang dan bahkan bisa putus bila menggunakan 3 baterai atau lebih. Susunan baterai ini disebut *susunan seri*. *Cara kedua*, kutub-kutub baterai yang sejenis dihubungkan satu sama lain. Bila kutub-kutub susunan baterai ini dihubungkan dengan sebuah lampu, maka nyala lampu sama terangnya bila menggunakan hanya satu

baterai. Nyala lampu akan tetap sama, meskipun menggunakan lebih dari dua lampu. Susunan baterai seperti itu disebut *susunan paralel*.



Gambar 11.7 Rangkaian Seri dan Paralel

Gambar 11.7 menjelaskan bahwa pada rangkaian seri kuat arus yang mengalir tetap, tegangan dan hambatan bertambah, sedangkan pada rangkaian paralel, kuat arus yang mengalir bertambah dan tegangan tetap.

Pada rangkaian listrik di rumah, di kantor, atau mobil selalu terpasang sekering. Alat ini berguna untuk mencegah arus terlalu besar yang mengalir melalui kawat ketika terjadi hubungan singkat (*korsleting*). Seperti diketahui, hubungan singkat terjadi ketika ada kabel yang terkelupas, lalu kawat di dalamnya bersentuhan satu sama lain. Persentuhan antar kawat menyebabkan sebagian besar arus listrik mengalir melalui kabel yang terkelupas. Karena kawat memiliki hambatan jauh lebih kecil daripada hambatan filamen lampu sehingga lebih mudah dilalui arus listrik. Arus listrik yang besar dapat menyebabkan kabel berpijar dan membakar benda di sekelilingnya. Sedangkan filamen lampu memiliki hambatan yang sangat besar sehingga arus listrik tidak mengalir di dalamnya. Hubungan singkat dapat menyebabkan peralatan listrik, seperti radio, televisi, dan tape menjadi rusak. Oleh karena itu, peralatan listrik harus dilindungi dengan cara memasang sekering di depan peralatan tersebut. Sekering akan mencegah arus yang terlalu besar tidak masuk ke dalam peralatan listrik. Dengan demikian, kerusakan dapat dihindari. Bagaimana

cara sekring bekerja ? Di dalam sekring terdapat kawat berukuran sangat kecil, pendek, dan mudah meleleh. Kawat ini biasanya terbuat dari timah putih atau perak. Kawat kecil ini dimasukkan ke dalam tabung porselen yang berisi pasir. Ketika kuat arus melebihi nilai tertentu maka kawat akan langsung meleleh dan putus. Akibatnya, rangkaian di dalam rumah atau kantor berubah menjadi rangkaian listrik terbuka.

11.4. Beda Potensial Listrik

Beda potensial serignkali disebut *tegangan listrik*. Beda potensial antara dua titik pada suatu kawat timbul kalau dua titik itu dihubungkan dengan sumber tegangan. Untuk memindahkan muatan positif dari titik berpotensi tinggi ke titik berpotensi rendah diperlukan energi listrik sebesar

$$W = qV \dots\dots\dots(11.8)$$

dengan: q = muatan listrik positif dan V = beda potensial listrik.

Satuan untk beda potensial listrik adalah volt (V). Dua titik dikatakan memiliki beda potensial 1 V bila untuk memindahkan muatan 1 C dari titik berpotensi tinggi ke titik berpotensi rendah diperlukan energi 1 J. Berarti,

$$1 V = 1 \frac{J}{C}$$

Suatu sumber listrik menghasilkan tegangan listrik yang disingkat dengan huruf E (electromotive force). Tegangan listrik di dalam suatu sumber listrik terjadi karena perbedaan potensial antara kedua kutub-kutubnya. Potensial yang tertinggi dinyatakan dengan tanda + (positif) dan potensial yang terendah dinyatakan dengan tanda - (negatif). Perbedaan potensial menunjukkan tegangan. Tegangan menggunakan simbol (E) dan dihitung dalam satuan volt (V). 1 volt adalah tegangan yang dibutuhkan untuk mengalirkan arus listrik 1 Ampere melalui penghantar yang mempunyai tahanan 1 Ohm.

Alat untuk mengukur beda potensial disebut *voltmeter*. Alat ini dipasang di antara dua titik yang akan diukur beda potensialnya.

11.4.1. Hukum Ohm dan Hambatan Listrik

Hukum Ohm mengaitkan antara kuat arus, beda potensial, dan hambatan listrik. Hasil bagi antara beda potensial dengan kuat arus listrik disebut *hambatan*, yang dilambangkan dengan R seperti yang diperlihatkan pada persamaan berikut:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (11.9)$$

dimana: R = hambatan (ohm)
 V = beda potensial (V)
 I = kuat arus (A).

Berdasarkan persamaan di atas, dikatakan bahwa hukum Ohm dapat dinyatakan sebagai: *kuat arus dalam suatu penghantar sebanding dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar itu*. Satuan hambatan listrik adalah Ohm (Ω). Sebuah penghantar mempunyai hambatan 1 Ω bila beda potensial 1 V antara ujung-ujung penghantar menimbulkan arus sebesar 1 A. Satuan hambatan yang lain dapat diperoleh dari rumus $R = \frac{V}{I}$, yaitu volt/ampere.

$$1 \Omega = 1 \frac{V}{A}$$

Di dalam peralatan elektronik, misalnya radio dan TV, sering digunakan hambatan dengan nilai tertentu. contohnya: 1 Ω , 10 Ω , dan 20 Ω . Hambatan yang mempunyai nilai tertentu disebut *resistor* atau tahanan. Lambang resistor atau hambatan pada umumnya dalam rangkaian listrik adalah gigi gergaji atau persegi. Jika berupa garis, artinya hambatan nol.

1. Manfaat Hukum Ohm

Dalam kehidupan sehari-hari, para teknisi listrik memanfaatkan hukum Ohm untuk menghitung kuat arus, beda potensial, dan hambatan.

Persamaan $I = \frac{V}{R}$ diperlukan untuk menentukan sekering yang cocok untuk

digunakan dalam rangkaian listrik, bila V dan R diketahui. Rumus $V = IR$ diperlukan untuk memilih voltmeter yang cocok untuk menguji sebuah komponen listrik.

2. Hambat Jenis

Misalkan terdapat sepotong kawat besi dan kawat kuningan. Bila ukuran kedua kawat ini persis sama, apakah hambatan keduanya juga sama? Hambatan kawat ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu luas penampang kawat, jenis bahan, dan panjang kawat. Kawat yang besar memiliki hambatan lebih kecil daripada kawat yang kecil. Demikian pula kawat yang panjang memiliki hambatan lebih besar daripada kawat yang pendek. Kawat dari bahan yang berbeda memiliki hambatan yang berbeda pula, meskipun panjang dan luas penampangnya sama. Contohnya: hambatan kawat nikrom berbeda dengan hambatan kawat konstantan, meskipun panjang dan luas penampangnya sama.

Hubungan antara hambatan dengan luas penampang kawat, panjang kawat, dan jenis kawat dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$R = \rho \frac{l}{A} \dots\dots\dots(11.10)$$

- Dimana: R = hambatan (Ω),
 l = panjang kawat (m),
 A = luas penampang kawat (m^2),
 ρ = hambat jenis (Ωm).

Besaran *hambat jenis* (ρ) menyatakan kemampuan suatu bahan dalam menghambat arus listrik. Bahan dengan nilai hambat jenis yang besar memiliki kemampuan menghambat arus listrik lebih baik daripada bahan dengan nilai hambat jenis yang kecil.

11.4.2. Resistor

Pada dasarnya tahanan merupakan komponen elektronika pasif yang memiliki nilai resistansi atau hambatan tertentu yang berfungsi untuk membatasi dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian elektronika. Resistor adalah komponen elektronika yang selalu digunakan dalam setiap rangkaian elektronika karena dia berfungsi sebagai pengatur arus listrik.

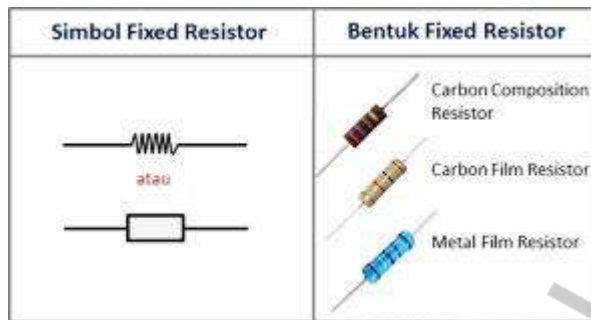
Dengan resistor listrik dapat didistribusikan sesuai dengan kebutuhan. Resistor atau biasa disebut tahanan atau hambatan dan diberi simbol R merupakan suatu kemampuan untuk menahan arus listrik di dalam benda. Arus listrik yang mengalir melalui kawat pijar di dalam lampu dan kawat-kawat penghantar listrik lainnya juga mengalami hambatan/tahanan, yang besarnya tergantung dari sifat-sifat logam yang dipakai: panjangnya kawat, besarnya penampang kawat. Tahanan yang lebih besar menyebabkan berkurangnya aliran listrik. Satuan hambatan ialah ohm (Ω). Sebutan “ohm” ini diambil dari nama penemunya yaitu George Simon Ohm yang juga merupakan seorang Fisikawan Jerman. Untuk membatasi dan mengatur arus listrik dalam suatu rangkaian Elektronika, resistor bekerja berdasarkan Hukum Ohm. Alat yang digunakan untuk mengukur tahanan disebut *Ohmmeter*. Hubungan antara tegangan (E), kuat arus (I), dan tahanan (R) ini dinyatakan *hukum Ohm* yakni:

$$E = I \times R. \dots\dots\dots (11.11)$$

Dimana: E = Volt,
I = Ampere,
R = Ohm.

Pada umumnya Resistor dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah Fixed Resistor, Variable Resistor, Thermistor dan LDR. Fungsi-fungsi resistor di dalam rangkaian elektronika diantaranya yaitu sebagai: pembatas arus listrik, pengatur arus listrik, pembagi tegangan listrik, penurun tegangan listrik.

Fixed Resistor adalah jenis Resistor yang memiliki nilai resistansinya tetap. Nilai Resistansi atau Hambatan Resistor ini biasanya ditandai dengan kode warna ataupun kode Angka, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.8.



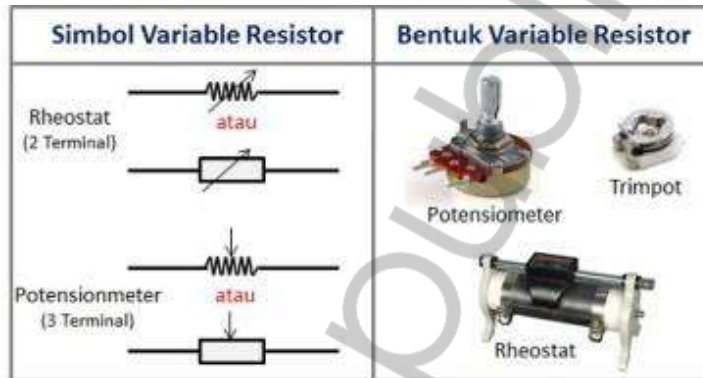
Gambar 11.8 Fixed Resistor

Resistor jenis Carbon Composition ini terbuat dari komposisi karbon halus yang dicampur dengan bahan isolasi bubuk sebagai pengikatnya (binder) agar mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan. Semakin banyak bahan karbonnya semakin rendah pula nilai resistansi atau nilai hambatannya. Nilai Resistansi yang sering ditemukan di pasaran untuk Resistor jenis Carbon Composition Resistor ini biasanya berkisar dari 1Ω sampai $200M\Omega$ dengan daya $1/10W$ sampai $2W$.

Resistor Jenis Carbon Film ini terdiri dari film tipis karbon yang diendapkan Subtrat isolator yang dipotong berbentuk spiral. Nilai resistansinya tergantung pada proporsi karbon dan isolator. Semakin banyak bahan karbonnya semakin rendah pula nilai resistansinya. Keuntungan Carbon Film Resistor ini adalah dapat menghasilkan resistor dengan toleransi yang lebih rendah dan juga rendahnya kepekaan terhadap suhu jika dibandingkan dengan Carbon Composition Resistor. Nilai Resistansi Carbon Film Resistor yang tersedia di pasaran biasanya berkisar diantara 1Ω sampai $10M\Omega$ dengan daya $1/6W$ hingga $5W$. Karena rendahnya kepekaan terhadap suhu, Carbon Film Resistor dapat bekerja di suhu yang berkisar dari $-55^{\circ}C$ hingga $155^{\circ}C$.

Metal Film Resistor adalah jenis Resistor yang dilapisi dengan Film logam yang tipis ke Subtrat Keramik dan dipotong berbentuk spiral. Nilai Resistansinya dipengaruhi oleh panjang, lebar dan ketebalan spiral logam. Secara keseluruhan, Resistor jenis Metal Film ini merupakan yang terbaik diantara jenis-jenis Resistor yang ada (Carbon Composition Resistor dan Carbon Film Resistor).

Variable Resistor adalah jenis Resistor yang nilai resistansinya dapat berubah dan diatur sesuai dengan keinginan. Pada umumnya Variable Resistor terbagi menjadi Potensiometer, Rheostat dan Trimpot seperti pada Gambar 11.9



Gambar 11.9 Variable Resistor

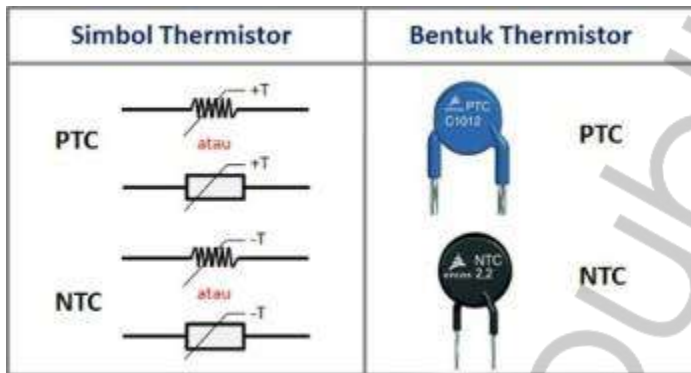
Potensiometer merupakan jenis Variable Resistor yang nilai resistansinya dapat berubah-ubah dengan cara memutar porosnya melalui sebuah tuas yang terdapat pada Potensiometer. Nilai Resistansi Potensiometer biasanya tertulis di badan Potensiometer dalam bentuk kode angka. Potensiometer digunakan sebagai pengatur volume radio atau tape.

Rheostat merupakan jenis Variable Resistor yang dapat beroperasi pada Tegangan dan Arus yang tinggi. Rheostat terbuat dari lilitan kawat resistif dan pengaturan Nilai Resistansi dilakukan dengan penyapu yang bergerak pada bagian atas Toroid.

Preset Resistor atau sering juga disebut dengan Trimpot (Trimmer Potensiometer) adalah jenis Variable Resistor yang berfungsi seperti Potensiometer tetapi memiliki ukuran yang lebih kecil dan tidak memiliki Tuas. Untuk mengatur nilai resistansinya, dibutuhkan alat bantu seperti Obeng kecil untuk dapat memutar porosnya.

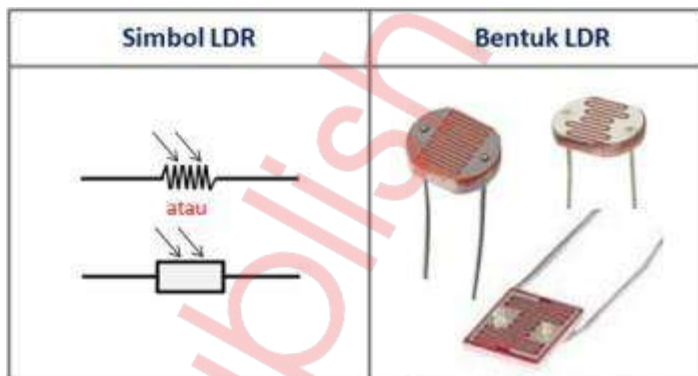
Thermistor adalah Jenis Resistor yang nilai resistansinya dapat dipengaruhi oleh suhu (Temperature). Thermistor merupakan Singkatan dari "Thermal Resistor". Terdapat dua jenis Thermistor yaitu Thermistor

NTC (Negative Temperature Coefficient) dan Thermistor PTC (Positive Temperature Coefficient) seperti pada Gambar 11.10.



Gambar 11.10 Variable Resistor

LDR atau Light Dependent Resistor adalah jenis Resistor yang nilai Resistansinya dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang diterimanya. Untuk lebih jelas mengenai LDR seperti pada Gambar 11.11.




Gambar 11.11 Light Dependent Resistor

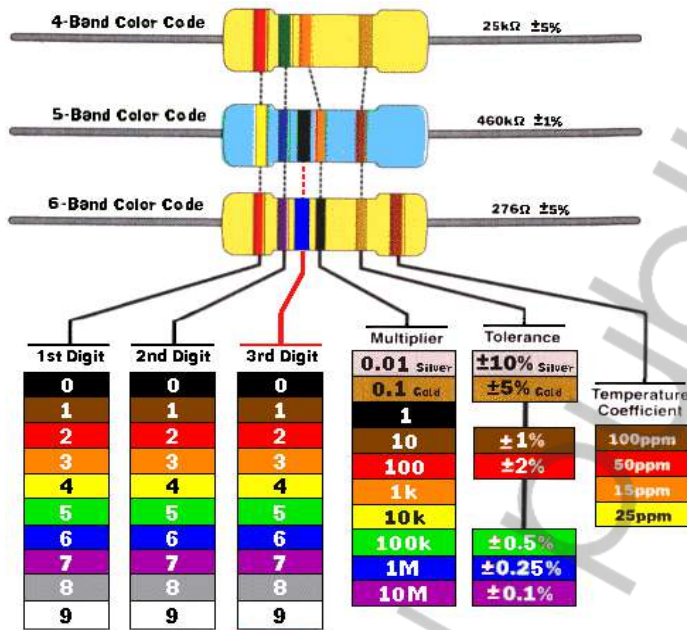
Nilai hambatan LDR akan menurun pada saat cahaya terang dan nilai Hambatannya akan menjadi tinggi jika dalam kondisi gelap. Dengan kata lain, fungsi LDR ialah untuk menghantarkan arus listrik jika

menerima sejumlah intensitas cahaya (kondisi terang) dan menghambat arus listrik dalam kondisi gelap. Naik turunnya nilai hambatan akan sebanding dengan jumlah cahaya yang diterimanya. Pada umumnya, nilai hambatan LDR akan mencapai 200 Kilo Ohm ($k\Omega$) pada kondisi gelap dan menurun menjadi 500 Ohm (Ω) pada kondisi cahaya terang. LDR ini sering digunakan atau diaplikasikan dalam rangkaian elektronika sebagai sensor pada lampu penerang jalan, lampu kamar tidur, rangkaian anti maling, shutter kamera, alarm dan lain sebagainya.

Berdasarkan bentuk dan proses pemasangannya pada PCB, resistor terdiri dari beberapa bentuk yakni bentuk komponen Axial/Radial dan komponen Chip. Untuk bentuk komponen Axial/Radial, nilai resistornya diwakili oleh kode warna. Sedangkan untuk komponen chip, nilainya diwakili oleh kode tertentu, sehingga lebih mudah dalam membacanya. Satuan nilai resistor adalah Ohm (Ω). Umumnya terdapat 4 gelang di tubuh resistor, namun ada juga yang 5, dan 6 gelang, gelang terakhir ini merupakan nilai toleransi pada nilai resistor yang bersangkutan seperti pada Gambar 11.12. Perhatikan contoh penentuan nilai resistor seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.13.



Warna	Gelang 1	Gelang 2	Gelang 3	Multiplier	Toleransi
				Gelang 4	Gelang 5
Hitam		0	0	1 Ohm	
Coklat	1	1	1	10 Ohm	$\pm 1\%$
Merah	2	2	2	100 Ohm	$\pm 2\%$
Orange	3	3	3	1 K Ohm	
Kuning	4	4	4	10 K Ohm	
Hijau	5	5	5	100 K Ohm	$\pm 0,5\%$
Biru	6	6	6	1 M Ohm	$\pm 0,25\%$
Lila	7	7	7	10 M Ohm	$\pm 0,10\%$
Abu-abu	8	8	8		$\pm 0,05\%$
Putih	9	9	9		
Emas				0,1 Ohm	$\pm 5\%$
Perak				0,01 Ohm	$\pm 10\%$



Gambar 11.12 Nilai resistor berdasarkan warna gelang



Gambar 11.13 Resistor dengan 5 gelang

Masukkan angka langsung dari kode warna gelang ke-1, 2, dan 3. Masukkan Jumlah nol dari kode warna Gelang ke-4 atau pangkatkan angka tersebut dengan 10 (10^n). Gelang ke-5 merupakan toleransi dari nilai Resistor tersebut.

- Gelang ke 1 : Coklat = 1
- Gelang ke 2 : Hitam = 0
- Gelang ke 3 : Hijau = 5
- Gelang ke 4 : Hijau = 5 nol dibelakang angka gelang ke-2; atau kalikan 10^5
- Gelang ke 5 : Perak = Toleransi 10%

Maka nilai resistor tersebut adalah $105 \cdot 10^5 = 10.050.000 \Omega$ atau $10,5 \text{ M}\Omega$ dengan toleransi 10%

$$10.050.000 \text{ Ohm dengan toleransi } 10\% = 1.005.000$$

$$10.050.000 - 10\% = 9.045.000 \Omega$$

$$10.050.000 + 10\% = 11.055.000 \Omega$$

Maka nilai resistor pada Gambar 11.13 berkisar antara $9.045.000 \Omega \sim 11.055.000 \Omega$

Nilai resistor yang berbentuk komponen Chip lebih mudah dari komponen Axial/Radial, karena tidak menggunakan kode warna sebagai pengganti nilainya. Kode yang digunakan oleh Resistor yang berbentuk komponen Chip ini menggunakan kode angka langsung, jadi sangat mudah disebut atau dibaca dengan *Body Code Resistor* (Kode Tubuh Resistor). Misalnya kode angka yang tertulis di badan komponen Chip Resistor yaitu 4 7 3. Cara pembacaan dan cara menghitung nilai resistor berdasarkan kode angka yakni:

- Masukkan angka ke-1 langsung = 4
- Masukkan angka ke-2 langsung = 7
- Masukkan Jumlah nol dari angka ke-3 = 000 (3 nol) atau kalikan dengan 10^3
- Maka nilainya adalah 47.000Ω atau $47 \text{ k}\Omega$.

Contoh lainnya:

$$222 \rightarrow 22 * 10^2 = 2.200 \text{ Ohm atau } 2,2 \text{ k}\Omega$$

$$103 \rightarrow 10 * 10^3 = 10.000 \text{ Ohm atau } 10 \text{ k}\Omega$$

$$334 \rightarrow 33 * 10^4 = 330.000 \text{ Ohm atau } 330 \text{ k}\Omega$$

Ada juga yang memakai kode angka seperti dibawah ini: (Tulisan R menandakan letaknya koma decimal):

$$4R7 = 4,7 \Omega \qquad \qquad \qquad 0R22 = 0,22 \Omega$$

11.5. Gaya Gerak Listrik

11.5.1. Gaya Gerak Listrik dan Tegangan Jepit

Pada penjelasan sebelumnya, telah dikemukakan bahwa elektron membawa muatan listrik negatif. Elektron mudah berpindah dalam kawat, namun tidak dapat berpindah dalam karet atau plastik. Elektron berpindah dari tempat yang memiliki potensial rendah menuju tempat yang memiliki potensial tinggi. Sebaliknya, proton (muatan positif) tidak dapat bergerak bebas karena terikat pada inti atom. Seandainya proton bergerak, maka proton akan bergerak dari tempat yang memiliki potensial tinggi menuju tempat yang memiliki potensial rendah.

Arus listrik dapat mengalir melalui kawat bila ada beda potensial antara ujung-ujung kawat tersebut. Alat yang dapat menghasilkan beda potensial disebut sumber *tegangan listrik* atau sumber listrik, misalnya: baterai, aki, dinamo (generator). Alat-alat ini memiliki beda potensial (voltase) yang dapat dibaca pada badannya, contohnya: baterai 1,5 V, dan aki 12 V. Volt (V) menyatakan satuan beda potensial atau tegangan. Beda potensial ketika sumber tegangan listrik tidak dihubungkan dengan beban disebut *gaya gerak listrik* (ϵ). Pengertian beban adalah alat-alat yang memanfaatkan energi listrik, misalnya lampu, setrika, dan radio.

Apakah beda potensial berubah bila sumber tegangan dihubungkan dengan beban ? Seperti diketahui bahwa sumber tegangan listrik menyimpan energi kimia. Banyaknya energi kimia menentukan besarnya beda potensial pada sumber tegangan. Ketika sumber tegangan dihubungkan dengan beban, misalnya lampu, maka sumber tegangan melepaskan energinya ke lampu. Energi yang diterima oleh lampu diubah menjadi energi cahaya dan panas. Karena melepaskan energi, maka beda potensial pada sumber tegangan menjadi berkurang. Beda potensial pada saat sumber tegangan dihubungkan dengan beban disebut *tegangan jepit* atau *tegangan terpakai* (V). Alat untuk mengukur tegangan jepit disebut voltmeter.

a) Arus pada Rangkaian GGL Seri

Sumber GGL yang disusun seri maka GGL total dalam rangkaian adalah penjumlahan masing-masing GGL.

$$\epsilon_s = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4 + \dots$$

Jika setiap sumber GGL mempunyai hambatan dalam, maka besar hambatan dalam total didapatkan dengan menjumlahkan seluruh hambatan dalam sumber GGL.

$$r_s = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots$$

Arus yang muncul dalam rangkaian GGL seri dapat dihitung dengan persamaan

$$I = \frac{\varepsilon_s}{R + r_s} \dots \dots \dots (11.12)$$

b) Arus pada Rangkaian GGL Paralel

Beda potensial yang terukur dalam suatu susunan paralel sumber GG sama dengan nilai masing-masing sumber GGL. Dengan demikian, jika terdapat 100 sumber GGL 10 V yang tersusun paralel, maka beda potensial yang terukur besarnya hanya 10 V saja. Secara umum, dapat kita rumuskan sebagai berikut.

$$\varepsilon_p = \varepsilon$$

Jika terdapat n sumber GGL, maka hambatan dalam total sumber GGL dalam suatu susunan paralel dinyatakan dengan

$$r_p = \frac{r}{n}$$

Akhirnya, arus yang muncul dalam rangkaian GGL paralel dapat dihitung dengan persamaan

$$I = \frac{\varepsilon_p}{R + r_p} \dots \dots \dots (11.13)$$

11.5.2. Sumber Tegangan Listrik

Dalam rangkaian listrik, sumber tegangan dilambangkan sebagai $-|+$. Bagian yang lebih panjang ($-|$) menyatakan kutub positif, sedangkan bagian yang lebih pendek ($|+$) menyatakan kutub negatif. Diagram sumber tegangan bisa dibalik menjadi seperti ini ($-|+$), tetapi bagian yang lebih panjang ($-|$) tetap menyatakan kutub positif, sedangkan bagian yang lebih pendek ($|+$) menyatakan kutub negatif. Kutub positif memiliki potensial yang lebih tinggi daripada kutub negatif. Sumber tegangan listrik bisa dihasilkan dari bahan yang memiliki energi

kimia. Energi yang dihasilkan oleh sumber tegangan bergantung pada banyaknya muatan listrik yang berpindah. Makin banyak muatan listrik yang berpindah, makin banyak pula energi yang dihasilkan oleh sumber tegangan listrik.

Secara umum, sumber tegangan listrik atau sumber arus listrik dapat dibagi menjadi 2 macam, yaitu elemen primer dan elemen sekunder. Disebut elemen primer karena hanya dapat dipakai sekali (tidak dapat diisi ulang). Disebut elemen sekunder karena dapat dipakai secara berulang-ulang (dapat diisi ulang).

1. Elemen Primer

Elemen primer yang paling terkenal adalah elemen kering. Contoh elemen kering adalah baterai. Baterai dipakai pada lampu senter, radio, jam dinding, dan kalkulator. Baterai memiliki komponen yang terdiri dari selubung seng dan bagian dalamnya dilapisi kertas karton. Bagian dalam baterai berisi campuran salmiak, serbung arang, dan batu kawi dalam bentuk pasta, di tengah-tengah baterai terdapat batang arang. Perhatikan Gambar 11.14.



Gambar 11.14 Bagian-bagian Baterai

2. Elemen Sekunder

Ada beberapa jenis elemen sekunder, antara lain: elemen Volta, aki, dan dinamo.

a) Elemen Volta

Elemen Volta terdiri dari sebuah bejana kecil yang berisi larutan asam sulfat encer. Di dalam larutan tersebut dicelupkan lempengan

tembaga dan lempeng seng. Ujung lempeng yang menonjol keluar dari bejana disebut kutub elemen. Potensial tembaga lebih tinggi daripada potensial seng. Itulah sebabnya ujung lempeng tembaga menyatakan kutub positif, sedangkan ujung lempeng seng menyatakan kutub negatif. Beda potensial antara kedua kutub pada elemen Volta kira-kira 1,5 volt. Perhatikan Gambar 11.15.



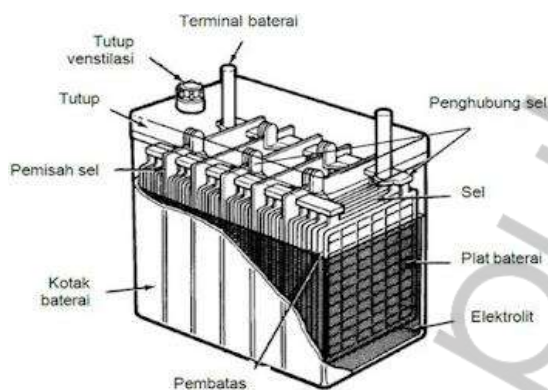
Gambar 11.15 Elemen Volta

Bila kutub positif dan kutub negatif dihubungkan melalui kawat, maka arus listrik mengalir melalui elemen tersebut. Segera setelah arus listrik mengalir, maka di dalam larutan timbul gelembung gas. Gelembung gas ini lalu menempel pada lempeng tembaga sehingga menghalangi muatan yang akan berpindah. Karena muatan tidak dapat lagi berpindah, arus listrik pun berhenti mengalir. Bagaimana caranya agar arus listrik mengalir kembali? Arus listrik dapat mengalir kembali bila gelembung gas dihilangkan setiap kali muncul. Hal ini tentu sangat menyulitkan. Oleh karena itulah maka elemen Volta tidak digunakan dalam sehari-hari.

b) Aki (accumulator)

Aki berbentuk seperti sebuah bak kecil seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.16. Bak ini terbuat dari karet atau plastik yang keras dan berisi larutan asam sulfat encer. Di dalam bak terdapat dua kerangka timbal yang berlubang-lubang. Dua kerangka ini masing-masing berfungsi sebagai kutub positif dan kutub negatif. Kutub

positif dilapisi timbal-peroksida berwarna cokelat. Kutub negatif dilapisi timbal berbentuk buih berpori dan berwarna abu-abu. Beda potensial antara kutub positif dan negatif aki bermacam-macam. Contohnya: 6 V, 9 V, dan 12 V.



Gambar 11.16. Konstruksi dan Bagian-Bagian Aki

Ketika aki sedang digunakan, misalnya untuk menghidupkan mobil, energi kimia yang terdapat di dalam larutan berubah menjadi energi listrik. Secara perlahan-lahan, lapisan timbal dan timbal-peroksida berubah menjadi timbal-sulfat. Akibatnya, kemampuan aki untuk menghasilkan energi listrik menjadi berkurang.

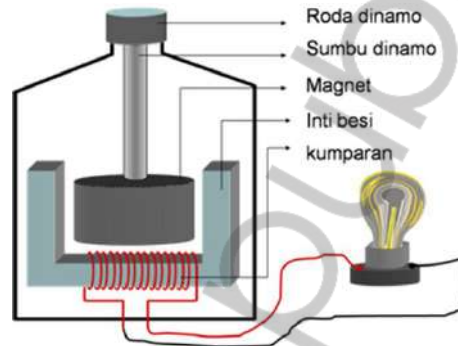
Agar aki dapat terus digunakan maka energi aki harus dipulihkan kembali. Caranya dengan menyetrum aki. Menyetrum aki berarti mengalirkan arus listrik searah yang berasal dari sumber arus lain, misalnya generator. Arah arus listrik ketika aki disetrum berlawanan dengan arah arus listrik ketika aki sedang digunakan. Dengan mengalirkan arus listrik dari arah yang berlawanan, maka timbal-sulfat berubah kembali menjadi timbal dan timbal-peroksida.

Dengan demikian, pada saat aki digunakan terjadi perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Namun, pada saat aki disetrum atau diisi terjadi perubahan energi listrik menjadi energi kimia.

c) Dinamo

Dinamo seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.17 merupakan sebuah generator, yaitu pembangkit energi listrik. Dinamo

mengubah energi gerak menjadi energi listrik, contohnya: pada dinamo sepeda. Gerak roda sepeda memutar knob pada dinamo. Gerak knob selanjutnya memutar kumparan kawat yang terpasang pada sebuah magnet ladam (magnet-U). Akibatnya timbul arus listrik yang dapat digunakan untuk menyalakan lampu sepeda.



Gambar 11.17 Dinamo Sepeda

11.6. Contoh Soal

Diketahui pada suatu rangkaian seri bahwa sumber tegangan DC sebesar 9 Volt. Rangkaian tersebut terpasang 2 buah resistor dengan nilai hambatannya adalah $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$ dan $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$. Berapakah nilai arus, tegangan pada R_1 dan R_2 serta daya yang mengalir pada rangkaian tersebut?

Penyelesaian:

Nilai arus pada rangkaian seri ialah sama besarnya, $I_1 = I_2$

Nilai tegangan pada rangkaian seri ialah berbeda besarnya, $V_1 \neq V_2$

$$V = 9 \text{ Volt}$$

$$R_1 = 4 \text{ k}\Omega = 4000 \Omega$$

$$R_2 = 5 \text{ k}\Omega = 5000 \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{a) } I &= V/R \\ R_t &= R_1 + R_2 \\ &= 4000 + 5000 \\ &= 9000 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I &= V / R \\
 &= 9 / 9000 \\
 &= 0,001 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Jadi nilai arus yang mengalir pada rangkaian sebesar 0,001 A ($I_t = I_1 = I_2$)

$$\begin{aligned}
 \text{b) } V_1 &= I \times R_1 \\
 &= 0,001 \times 4000 \\
 &= 4 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } V_2 &= I \times R_2 \\
 &= 0,001 \times 5000 \\
 &= 5 \text{ Volt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d) } P &= P_1 + P_2 \\
 P_1 &= V_1 \times I \\
 &= 4 \times 0,001 \\
 &= 0,004 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_2 &= V_2 \times I \\
 &= 5 \times 0,001 \\
 &= 0,005 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } P &= 0,004 + 0,005 \\
 &= 0,009 \text{ Watt.}
 \end{aligned}$$

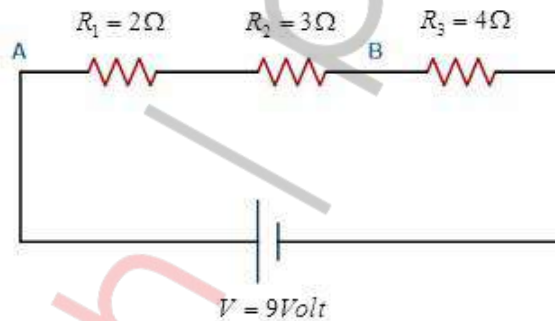
11.7. Rangkuman

1. Atom adalah bagian dari molekul yang dikitari oleh elektron dengan kecepatan tinggi
2. Molekul adalah bagian terkecil dari zat yang masih mempunyai sifat-sifat yang sama dari zat itu
3. Arus listrik adalah proses perpindahan elektron dari titik positif ke titik negatif
4. *Neutron* adalah Partikel listrik yang tidak bermuatan (netral)
5. Proton adalah Partikel listrik yang mengandung muatan positif
6. Elektron adalah Partikel listrik yang mengandung muatan negatif
7. Hambatan listrik adalah bahan atau zat yang bisa menghambat aliran elektron
8. Induktor adalah komponen listrik/elektronika yang berfungsi sebagai beban induktif

9. Kemagnitan listrik adalah Sifat magnet yang dibangkitkan oleh arus listrik
10. Kondensator adalah komponen listrik/elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik
11. Magnet adalah Baja yang dapat menarik benda lain seperti besi, nikel, kobalt
12. Motor listrik adalah Alat listrik yang menghasilkan energi gerak/putar bila dialiri arus listrik

11.8. Soal Latihan

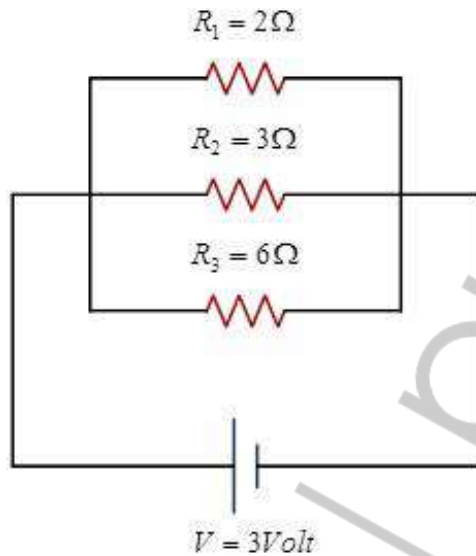
1. Tiga buah hambatan listrik disusun seri seperti pada gambar di bawah ini



Besar hambatan pertama 2Ω , hambatan kedua 3Ω , dan hambatan ketiga 4Ω . Besar sumber tegangan pada rangkaian seri tiga hambatan adalah 9 volt . Tentukan:

- a. Besar hambatan pengganti atau hambatan total;
- b. Besar arus pada rangkaian;
- c. Beda potensial pada ujung-ujung hambatan satu, hambatan dua, dan hambatan tiga
- d. Beda potensial antara titik A dan titik B !

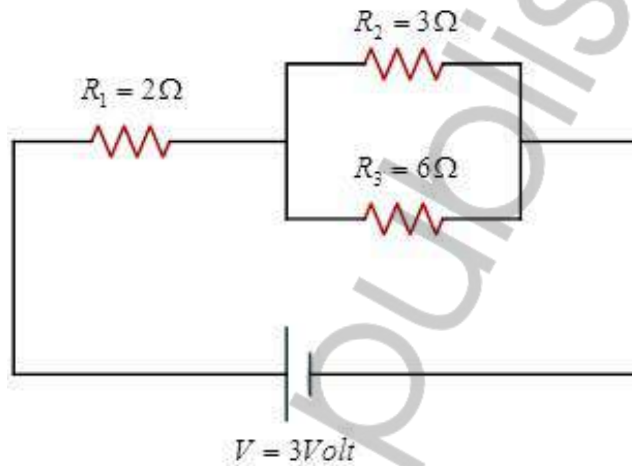
2. Tiga buah hambatan listrik disusun secara paralel seperti pada gambar di bawah ini



Hambatan pertama memiliki besar hambatan 2Ω , hambatan kedua 3Ω , hambatan ketiga 6Ω . Ketiga hambatan tersebut disusun paralel dan dihubungkan ke sumber tegangan listrik 3 volt. Tentukan :

- Besar hambatan total atau hambatan pengganti;
- Besar arus total;
- Besar arus yang melewati hambatan pertama, hambatan kedua, dan hambatan ketiga !

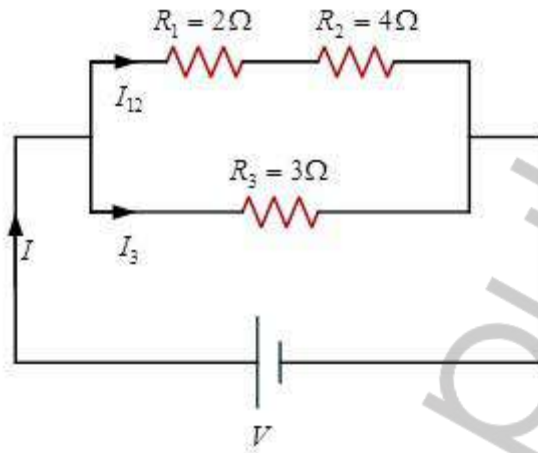
3. Tiga buah hambatan listrik disusun secara paralel seperti pada gambar di bawah ini



Hambatan pertama memiliki besar hambatan $2\ \Omega$, hambatan kedua $3\ \Omega$, hambatan ketiga $6\ \Omega$. Ketiga hambatan tersebut dihubungkan ke sumber tegangan listrik $3\ \text{volt}$. Tentukan :

- Besar hambatan pengganti
- Besar arus total;
- Beda potensial pada masing-masing ujung hambatan;
- Besar arus yang melewati hambatan 2 dan hambatan 3 !

4. Perhatikan tiga buah hambatan listrik disusun seperti pada gambar di bawah ini !



Hambatan pertama memiliki besar hambatan 2Ω , hambatan kedua 3Ω , hambatan ketiga 6Ω . Besar arus yang melewati hambatan 3 adalah 1 A . Tentukan :

- Besar potensial sumber;
- Besar arus yang melewati hambatan 1 dan hambatan 2 !

11.9. Referensi

- Abdullah, M. 2016. Fisika Dasar 1. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Bueche, F.J., Darmawan, B. 1994. Fisika: Seri Schaum Teori dan Soal-Soal. Jakarta: Erlangga.
- Ewen, D., Schurter, N., Gundersen, P.E. 2012. Applied physics: Edisi X. USA: Prentice Hall.
- Francis W.Sears, 1991. *FISIKA UNIVERSITAS*. Jakarta: Erlangga
- Frederick J. Bueche, 1994. *FISIK: seri buku schaum*. Jakarta: Erlangga.
- Kramer, L. 2008. University Physics: 12th Edition. USA: Pearson Education, Inc.
- Lubis, Riani. 2008. *FISIKA DASAR 1*. Jakarta: Unikom.
- Ohanian, H.C., Markert, J.T. 2007. Physics for Engineers and Scientists: Edisi III. USA: Norton & Co.

- Sear, F.W., Zemansky, M.W., Young, H.D., Wirjosoedirdjo, S.J. 1991. Fisika Universitas. Jakarta: Erlangga.
- Suprianto, 2015. Pengertian Resistor Dan Jenis-Jenisnya. <https://blog.unnes.ac.id/antosupri/pengertian-resistor-dan-jenis-jenisnya/>
- Walker, J., Halliday, D., Resnick, R. 2014. Fundamentals of Physics: Edisi X. USA: John Weley.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Muhammad Arsyad dilahirkan pada hari Senin 30 Zulhijah tahun 1386 H bertepatan dengan 10 April 1967 M dari pasangan Bapak Habe dan Ibu Suhara di Dusun Bakingnge di Kota Rappang, sekitar 188 km ke utara Makassar, Ibu Kota Provinsi Sulawesi Selatan.

Pendidikan SD, SMP, dan SMA diselesaikan di Rappang pada tahun 1986.

Sejak tahun 1986 hijrah ke Makassar dan tercatat sebagai mahasiswa Universitas Hasanuddin (Unhas), dan gelar Sarjana Jurusan Teknik Mesin (Ir.) diperoleh pada tahun 1992. Pada tahun 2001, Muhammad Arsyad Habe melanjutkan pendidikan pascasarjana di Unhas dan memperoleh gelar Master Teknik (M.T.) bidang Teknik Mesin pada tahun 2004. Gelar Doktor bidang Teknik Mesin diraih pada tahun 2015 pada Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang setelah mempertahankan disertasi dengan judul “Karakteristik Serat Sabut Kelapa Akibat Perlakuan Kimia”.

Sejak menyelesaikan pendidikan sarjana di Unhas, Muhammad Arsyad langsung diterima sebagai tenaga pengajar (dosen) di Politeknik Rekayasa Unhas, (tahun 1998, berdiri sendiri dengan nama Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP)). Sejak resmi menjadi dosen di Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNS, 1994), Muhammad Arsyad aktif melakukan penulisan bahan ajar, penelitian (terapan), dan pengabdian pada masyarakat. Baik yang dibiayai oleh dana DIPA PNUP, maupun yang dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Salah satu hasil kegiatan penelitian yang sukses yaitu Perancangan dan Pembuatan Mesin Pencetak Batu Bata. Akhir-akhir ini, Muhammad Arsyad memfokuskan penelitian pada bidang material yaitu komposit berpenguat serat alam “serat sabut kelapa”. Saat ini, Muhammad Arsyad fokus mengajar pada

berbagai Program Studi Jurusan Teknik Mesin PNUP: D-3 Teknik Mesin, Teknik Otomotif, dan Perawatan Alat Berat, D-4 Manufaktur, dan Mekatronika, serta Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur. Atas keaktifannya melaksanakan Tri Darma Perguruan Tinggi, termasuk menulis dalam artikel nasional maupun internasional, terhitung tanggal 01 Januari 2021 Muhammad Arsyad berhasil meraih jabatan tertinggi sebagai dosen yaitu Guru Besar pada bidang Ilmu dan Teknologi Bahan, dan 01 Oktober 2021 telah mencapai pangkat Golongan IVd. Selain itu, Muhammad Arsyad juga pernah menduduki beberapa jabatan di PNUP seperti: Ketua Program Studi Teknik Mesin, Ketua Jurusan Teknik Mesin, dan Pembantu Direktur Bidang Kemahasiswaan dari tahun 2006 hingga 2010.



Abdul Kadir Muhammad menerima gelar Sarjana Teknik (S.T.) dari Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Makassar (1999). Gelar *Postgraduate Diploma* (Pg.Dipl.) dan gelar *Master of Engineering* (M.Eng.) dalam bidang Control Systems Engineering (Spesialisasi Mechatronics), diperoleh dari HAN University of Applied Sciences, Belanda (2009). Gelar *Doctor of Engineering* dalam bidang Mechanical Engineering (Spesialisasi Robotics and Control) diperoleh dari Ehime University, Jepang (2015). Selanjutnya Abdul Kadir Muhammad mengambil kursus dan *training* di Humber Institute of Technology, Kanada, and Singapore Polytechnic, Singapura, untuk Bidang Pengembangan Penelitian Terapan untuk Aplikasi Industri dan Masyarakat. Saat ini sebagai pengajar dan peneliti pada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Selain mata kuliah Fisika Rekayasa, Abdul Kadir Muhammad juga mengajarkan mata kuliah Robotika, Dinamika, Pemodelan Sistem Dinamik, Sistem Otomasi Industri, Elemen Mesin, Dinamika dan Kontrol, Robotika Industri pada Program Sarjana Terapan Teknik Mekatronika dan Program Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur. Penelitian yang dikerjakan adalah penelitian bidang Robotika, Dinamika dan Kontrol, serta Kecerdasan Buatan. Abdul Kadir Muhammad adalah anggota International Association of Engineers (IAEng).