

**CARA PINTAR KUASAI**

# **FISIKA**

**SMA KELAS X, XI, XII**

**Imas Ratna Emarwaty, M.Pd**



**Penerbit PT Gramedia Widiasarana Indonesia, Jakarta, 2015**

---

### **Sanksi Pelanggaran Pasal 72**

#### **Undang-Undang Nomor 19 Tahun 2002 tentang Hak Cipta**

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 Ayat (1) atau Pasal 49 Ayat (1) dan Ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).
  2. Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta atau hak terkait sebagaimana dimaksud pada Ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- 

## **CARA PINTAR KUASAI FISIKA SMA KELAS X, XI, XII**

Imas Ratna Emarwaty, M.Pd.

GWI .....

© Penerbit PT Grasindo,

Jalan Palmerah Barat 33—37, Jakarta 10270

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang

Editor: Eko Setiawan

Penata Isi: Iwan Kurniawan

Cover: .....

Diterbitkan pertama kali oleh Penerbit PT Grasindo, anggota Ikapi, Jakarta, 2015

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun (seperti cetakan, fotokopi, mikrofilm, VCD, CD-ROM, dan rekaman suara) tanpa izin tertulis dari pemegang hak cipta/Penerbit.

 **KOMPAS GRAMEDIA**

Isi di luar tanggung jawab percetakan PT Gramedia, Jakarta

# DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	
Bab 1 Besaran dan Pengukuran .....	
Bab 2 Gerak.....	
Bab 3 Dinamika.....	
Bab 4 Usaha dan Daya.....	
Bab 5 Listrik Statis .....	
Bab 6 Suhu dan Kalor.....	
Bab 7 Medan Magnet.....	
Bab 8 Arus Bolak Balik .....	
Bab 9 Teori Kinetik Gas .....	
Bab 10 Termodinamika .....	
Bab 11 Optika Geometri .....	
Bab 12 Dinamika Rotasi .....	
Bab 13 Teori Relativitas .....	
Bab 14 Listrik Dinamis .....	
Bab 15 Momentum dan Impuls .....	
Bab 16 Elastisitas .....	
Bab 17 Gelombang Elektromagnet.....	
Bab 18 Fisika Inti .....	
Bab 19 Gelombang dan Bunyi.....	
Bab 20 Fluida .....	
Bab 21 Getaran.....	
Bab 22 Kapasitor .....	

# KATA PENGANTAR

Fisika adalah salah satu pelajaran yang menarik. Apa yang dipelajari dalam fisika adalah sesuatu yang ada di sekitar kita. Bagaimana kita bisa melihat, mengapa bisa terjadi pelangi, mengapa muncul kilatan cahaya saat terjadi petir, mengapa kita tidak bisa terbang, dan sebagainya. Semua pertanyaan-pertanyaan itu dijawab oleh fisika. Kita boleh mengatakan bahwa fisika adalah ilmu tentang “bagaimana dan mengapa sesuatu itu bisa terjadi”.

Dalam fisika kita akan mempelajari tentang mekanika, suara, panas, cahaya, listrik dan struktur atom. Hasil pengkajian fisikawan terhadap cabang-cabang fisika tersebut telah menghasilkan kemajuan teknologi yang sangat pesat seperti yang kita rasakan sekarang ini.

Sayangnya banyak yang tidak menyenangi fisika. Banyak yang merasa fisika itu sulit. Fisika itu sulit dipahami. Baiklah, apakah memang fisika itu sulit atau tidak, rasanya itu relatif. Bagi mereka yang mau mencoba mempelajari fisika, kemudian sungguh-sungguh dan tekun dalam mempelajarinya tentu akan mengetahui bahwa belajar fisika tidaklah sesulit yang dibayangkan sebelum mulai mempelajarinya. Tentu saja jika Anda menganggap fisika itu sulit karena dalam fisika ada matematika, maka sampai kapan pun Anda pasti akan selalu menganggap fisika itu memang sulit karena fisika, matematika adalah alat yang digunakan untuk membahasakan fenomena. Matematika adalah semacam bahasa yang sangat efektif digunakan dalam menjelaskan hubungan hubungan berbagai faktor yang mempengaruhi sebuah gejala alam.

Nah, bagaimana supaya kita bisa memahami fisika dengan mudah?

Salah satu metode efektif yang dapat digunakan dalam belajar fisika adalah dengan memahami materi dasar fisika dan latihan menyelesaikan soal-soal fisika. Buku Cara Pintar Kuasai Fisika SMA Kelas X, XI, XII menyajikan materi-materi dasar fisika SMA, contoh soal dan pembahasannya, dan soal-soal latihan fisika. Jika Anda dapat menyelesaikan sebuah soal perhitungan tanpa ragu-ragu dan bekerja secara langsung untuk mendapatkan penyelesaian soal tersebut, barulah Anda dapat dikatakan memahami materi tersebut. Untuk dapat mencapai kemampuan menyelesaikan soal tersebut, Anda perlu latihan yang rutin dan tekun dalam menyelesaikan berbagai macam soal-soal. Semakin sering Anda berlatih, semakin mahir Anda dalam menyelesaikan soal-soal tersebut dan semakin paham Anda tentang materi tersebut.

Selamat berlatih!

# BESARAN DAN PENGUKURAN

## A. Besaran Pokok dan Turunan

Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur yang memiliki nilai dan satuan. Besaran menyatakan sifat dari benda. Sifat ini dinyatakan dalam angka melalui hasil pengukuran. Oleh karena satu besaran berbeda dengan besaran lainnya, maka ditetapkan satuan untuk tiap besaran. Satuan juga menunjukkan bahwa setiap besaran diukur dengan cara berbeda.

Besaran fisis terdiri dari:

### 1. Besaran pokok

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu dan tidak diturunkan dari besaran lain.

Macam-macam besaran pokok:

#### Besaran pokok SI dan satuannya

Tabel 1.1 Besaran Pokok

Besaran	Satuan	Simbol	Lambang
Panjang	Meter	m	L
Massa	Kilogram	kg	M
Waktu	Detik	s	T
Arus Listrik	Amper	A	I
Temperatur	Kelvin	K	$\Phi$
Jumlah Zat	Mole	Mol	n
Intensitas Cahaya	Kandela	Cd	

Beberapa satuan turunan yang mempunyai nama dan lambang tertentu

Tabel 1.2 Besaran Turunan

Satuan	Nama	Simbol	Satuan Lain	Satuan Dasar SI
Frekuensi	hertz	Hz		$s^{-1}$
Gaya	Newton	N		$m \cdot kg / s^2$
Tekanan	pascal	Pa	$N/m^2$	$kg / m \cdot s^2$

Satuan	Nama	Simbol	Satuan Lain	Satuan Dasar SI
Kerja	Joule	J	N.m	$\text{Kg} \cdot \text{M}^2 / \text{s}^2$
Daya	watt	W	J / s	$\text{Kg} \cdot \text{m}^2 / \text{s}^3$
Muatan Listrik	Coulumb	C		A . s
Potensial Listrik	volt	V	W / A	$\text{Kg} \cdot \text{m}^2 / \text{A} \cdot \text{s}^3$
Kapasitas	farad	F	C / V	$\text{A}^2 \cdot \text{s}^4 / \text{Kg} \cdot \text{M}^2$
Resistan Listrik	ohm	$\Omega$	V / A	$\text{Kg} \cdot \text{M}^2 / \text{A} \cdot \text{s}^3$
Fluks Magnetik	Weber	Wb	V.s	$\text{Kg} \cdot \text{M}^2 / \text{A} \cdot \text{s}^2$
Medan magnetik	tesla	T	Wb / m <sup>2</sup>	$\text{Kg} / \text{A} \cdot \text{s}^2$
Induktans	henry	H	Wb / A	$\text{Kg} \cdot \text{m}^2 / \text{A}^2 \cdot \text{s}^2$

## Dimensi

Dimensi menyatakan esensi dari suatu besaran fisika yang tidak bergantung pada satuan yang digunakan.

Jarak antara dua tempat dapat dinyatakan dalam meter, mil, langkah, dll. Apapun satuannya jarak pada dasarnya adalah “panjang”.

### Contoh:

Periode ayunan sederhana  $T$  dinyatakan dengan rumus

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

yang mana  $l$  panjang tali dan  $g$  percepatan gravitasi dengan satuan panjang per kuadrat waktu. Tunjukkan bahwa persamaan  $F = m \cdot a$  ini secara dimensional benar!

Jawab:

$$F = m \cdot a$$

$$F = MLT^{-2}$$

## Alat-alat ukur

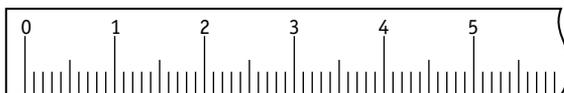
Di bawah ini, kita akan membahas kembali beberapa alat ukur yang pernah kenali sepintas waktu di Sekolah Menengah; yaitu alat ukur panjang, alat ukur massa dan berat, alat ukur waktu, dan alat ukur listrik.

### 1. Alat ukur panjang

Ada tiga macam alat ukur panjang yang sering digunakan dalam kegiatan pengukuran, yaitu mistar, jangka sorong, dan mikrometer sekrup.

#### a) Mistar ukur

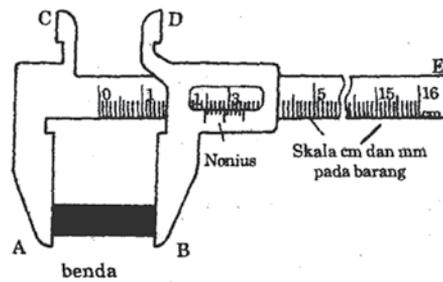
Pada umumnya mistar ukur dibuat dengan skala terkecil 1 mm. Kepekaan (sensitivitas) peng-ukurannya adalah setengah dari skala terkeciknya yaitu 0,5 mm atau 0,05 cm. Ada juga mistar ukur yang dibuat dengan skala terkecil 1 cm, berarti kepekaannya 0,5 cm.



Gambar 1.1 Mistar ukur.

## b) Jangka sorong

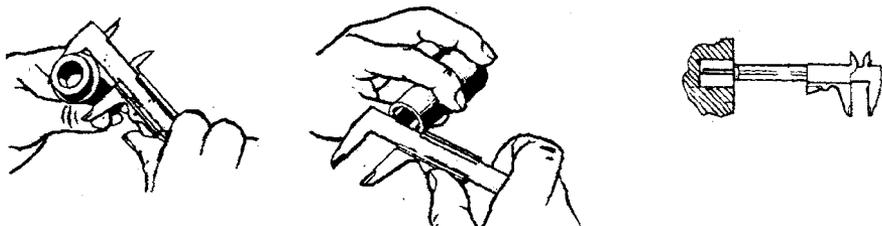
Jangka sorong dapat mengukur lebih peka dari pada mistar ukur. Umumnya jangka sorong mempunyai kepekaan sampai 0,1 mm atau 0,01 cm. Pada alat ukur ini (gambar 1.3) terdapat rahang tetap (A dan C) dan rahang sorong (B dan D). Skala pada rahang tetap disebut *skala utama* dan skala pada rahang sorong disebut *skala nonius* atau *vernier*. Skala utama memiliki garis-garis skala cm dan mm, sedangkan pada skala nonius terdapat 10 garis skala. Panjang skala nonius itu 9 mm, sehingga 1 skala nonius panjangnya 9 mm : 10 = 0,9 mm. Jadi, selisih skala nonius dengan skala mm pada skala utama adalah 1 mm - 0,9 mm = 0,1 mm. Nilai 0,1 mm inilah yang menyatakan batas kepekaan jangka sorong



Gambar 1.2 Jangka Sorong

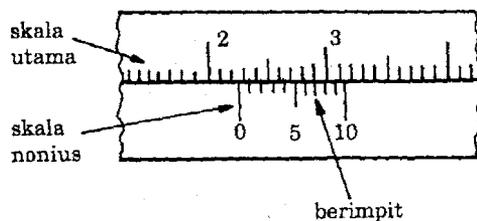
A-B digunakan untuk mengukur bagian luar benda, misalnya: tebal, diameter batang, diameter bola kecil, dan sebagainya (Lihat gambar 1.3a). Paruh C-D untuk mengukur bagian dalam benda, misalnya: lebar celah, diameter lubang, dan sebagainya (gambar 1.3b). Ekor E-F yang bisa digeser mengikuti pergeseran rahang sorong digunakan untuk mengukur kedalaman lubang atau celah (gambar 1.3c)

(a) Pengukuran luar (b) Pengukuran dalam (c) Pengukuran keluaran



Gambar 1.3 Beberapa contoh pengukuran dengan jangka sorong

Berikut ini akan ditunjukkan contoh pembacaan jangka sorong dengan melihat skala utama dan skala noniusnya. Perhatikan Gambar 1.4

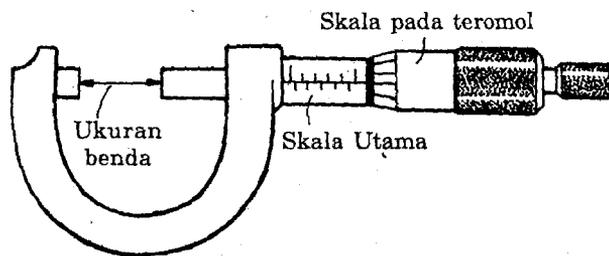


Gambar 1.4 Pembacaan skala ukuran pada jangka sorong.

- Skala utama menyatakan bahwa panjang benda yang diukur adalah 22 mm *lebih*. Nilai ini ditunjuk oleh garis 0 pada skala nonius.
- Untuk mengetahui nilai lebihnya, perhatikan dengan cermat garis-garis skala nonius! Garis 7 pada skala nonius tepat berimpit dengan sebuah garis pada skala utama. Ini berarti bahwa skala nonius menunjukkan nilai  $7 \times 0,1 \text{ mm} = 0,7 \text{ mm}$ .
- Dengan demikian, panjang benda yang diukur oleh jangka sorong tersebut adalah  $22 + 0,7 = 22,7 \text{ mm}$ .

### c) Mikrometer sekrup

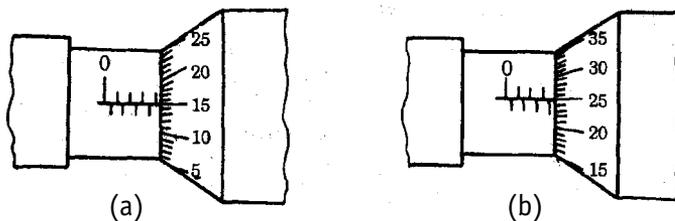
Alat ukur ini lebih peka lagi daripada jangka sorong. Kepekaannya dapat mencapai 0,01 mm atau 0,001 cm. Mikrometer sekrup ini pun mempunyai dua skala, yaitu skala utama dan skala yang tertera pada teromol (gambar 1.5). Pada waktu mengukur benda, teromol diputar sehingga jarak antara landasan dan poros dapat menampung benda yang diukur.



Gambar 1.5 Mikrometer sekrup.

Skala pada teromol terbagi dalam 50 bagian, sehingga bila diputar satu kali, sumbu mikrometer hanya maju  $\frac{1}{2}$  mm tepat pada garis skala utama bawah. Dua kali diputar, maju lagi  $\frac{2}{2}$  mm tepat pada garis skala utama atas lagi, dan seterusnya. Jadi, jarak antara garis skala atas sampai garis skala bawah 0,5 mm.

Perhatikan hubungan antara kedua skala tersebut dalam contoh pembacaan skala mikrometer di bawah ini!

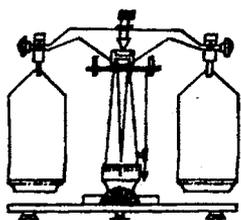


Gambar 1.6 Pembacaan skala mikrometer sekrup.

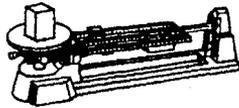
- Pada gambar 1.6 (a), teromol berada di kanan garis atas, berarti lebih besar daripada 4 mm, sedangkan angka yang berimpit dengan garis tengah ialah 15. Jadi, jarak atau panjangbenda yang diukur adalah  $4 + 0,15 = 4,15$  mm.
- Pada gambar 1.6(b) teromol berada di kanan garis bawah, berarti lebih besar daripada 3,5 mm, sedangkan angka yang berimpit dengan garis tengah ialah angka 25. Jadi, panjangbenda yang diukur adalah  $3,5 + 0,25 = 3,75$  mm.

## 2. Alat ukur massa dan alat ukur gaya

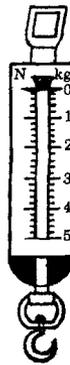
Untuk mengukur massa atau benda, digunakan neraca tuas atau neraca lengan. Ada beberapa jenis neraca tuas, namun umumnya ialah neraca dua lengan (neraca berlengan sama), neraca tiga lengan, dan neraca pegas seperti ditunjukkan gambar 1.7



(a) Neraca dua lengan



(b) Neraca tiga lengan



(c) Neraca pegas

**Gambar 1.7** Neraca dan neraca pegas.

Untuk mengukur massa benda dengan neraca tiga lengan, pertama kita geser semua beban-beban geser ke sisi paling kiri. Ini berarti bahwa neraca menunjukkan skala nol. Kemudian benda yang hendak diukur massanya diletakkan di atas piring neraca. Neraca dibuat seimbang dengan menggeser-geserkan beban-beban ke kedudukan yang paling tepat. Massa benda sama dengan jumlah massa yang ditunjukkan oleh masing-masing beban

geser. Misalnya, jika neraca seimbang pada saat beban-beban geser ada pada 100 g, 20 g, 5 g, dan 0,6 g, maka massa benda adalah 125,60 g.

Gambar 1.7c memperlihatkan *neraca pegas*, sering disebut juga *dinamometer*. Alat ini dapat berfungsi ganda, yaitu sebagai alat ukur massa (dengan skala kilogramnya) dan sebagai alat ukur gaya atau berat benda (dengan skala N-nya).

## 3. Alat ukur waktu

Dalam percobaan-percobaan fisika, waktu dapat diukur dengan *tangan* yang berpetunjuk detik atau dengan *stopwatch*. Stopwatch yang menggunakan jarum penunjuk (gambar 1.8b) mempunyai kepekaan 0,2 - 0,1 sekon, sedangkan stopwatch digital (gambar 1.8c) dapat mencapai kepekaan 0,01 sekon.



(b) Stopwatch dengan jarum pendek

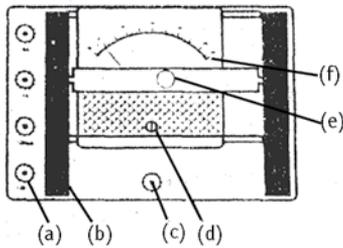
(c) Stopwatch digital

**Gambar 1.8** Alat ukur waktu.

#### 4. Alat ukur listrik

Alat ukur yang biasa digunakan dalam pengukuran besaran-besaran listrik adalah: amperemeter, voltmeter, meter dasar, multitester, dan osiloskop.

a) Amperemeter, voltmeter, dan meter dasar



**Gambar 1.9** Meter dasar (basicmeter) dapat berfungsi sebagai amperemeter (pengukur arus listrik) dan voltmeter (pengukur tegangan listrik).

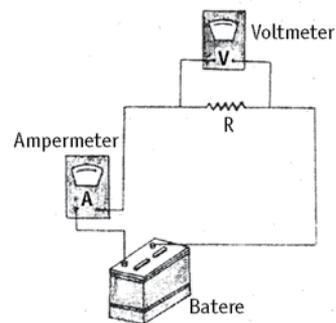
Amperemeter digunakan untuk mengukur kuat arus listrik, sedangkan voltmeter digunakan untuk mengukur beda potensial atau tegangan listrik. Pada masa sekarang, kedua alat tersebut sudah dirangkum dalam satu alat yang disebut meter dasar (*basic meter*). Jadi, meter dasar dapat berfungsi sebagai amperemeter atau voltmeter.

Gambar 1.9 memperlihatkan sebuah meter dasar, dengan bagian-bagian sebagai berikut:

- (a) *Binding post* untuk memilih batas ukur maksimum;
- (b) Sakelar pemilih fungsi (voltmeter atau amperemeter);
- (c) *Ground* (nol);
- (d) Penyetel nol;
- (e) Petunjuk fungsi alat (A atau V);
- (f) Skala pengukuran.

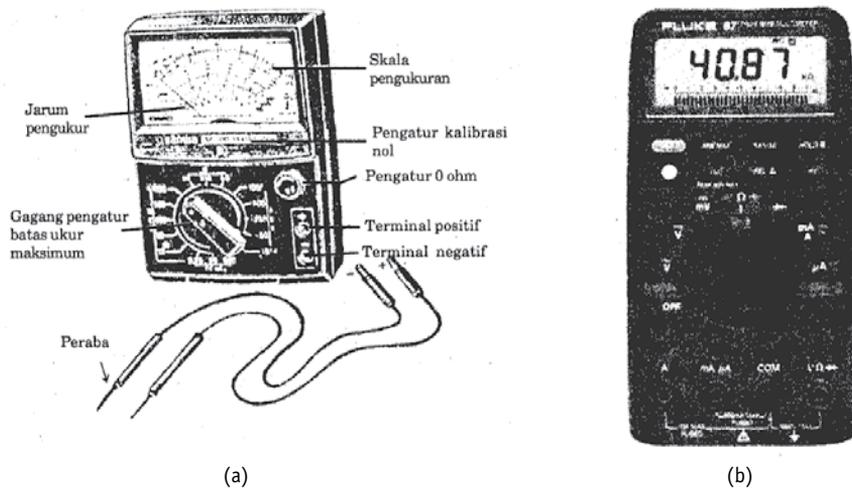
Waktu digunakan mengukur, amperemeter dirangkai seri sedangkan voltmeter dirangkai paralel dengan rangkaian listrik yang diukur arus dan tegangannya. Perhatikan gambar 1.10

**Gambar 1.10** Merangkai amperemeter dan voltmeter dalam rangkaian listrik; untuk mengukur kuat arus, tegangan, dan hambatan dalam rangkaian itu.



b) Multitester

*Multitester* yang sering disebut juga *multimeter* atau *Avometer*, adalah alat ukur yang berfungsi sekaligus sebagai amperemeter, voltmeter, dan ohm-meter (pengukur hambatan listrik). Di samping itu, multimeter dapat digunakan dalam pengukuran arus listrik *searah* maupun arus listrik *bolak-balik*. Gambar 1.11 memperlihatkan multitester analog, yang menggunakan jarum penunjuk untuk pe-nunjukan ukuran; sedangkan gambar 1.11 adalah multitester digital yang dapat menyatakan langsung angka (nilai) besaran yang diukur.



Gambar 1.11 (a) Multitester Analog, (b) Multitester digital

c) Osiloskop

Osiloskop (gambar 1.12) umumnya untuk pengukuran arus bolak-balik. Pada alat ini terdapat layar (seperti layar pesawat TV) berukuran kecil, yang dapat menampilkan gambar arus atau tegangan bolak-balik. Dari tampilan grafik sinusoida pada layar osiloskop ini, dapat diketahui juga besar frekuensi arus bolak-balik diukur itu.



Gambar 1.12 Osiloskop

## Contoh Soal dan Pembahasan

Berilah tanda silang (×) pada salah satu jawaban

- Rumus dimensi dari tekanan adalah ....
  - A.  $MLT^{-2}$
  - B.  $ML^{-2}T^{-3}$
  - C.  $MLT^2$
  - D.  $MLT^{-1}$
  - E.  $ML^{-2}T^{-2}$

**Jawab: B**

**Pembahasan:**

Rumus tekanan

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{m \cdot a \cdot s}{t}$$

$$= \frac{MLT^{-2}L}{T} = ML^2T^{-3}$$

- Pada Pengukuran benda, diperoleh hasil pengukuran 0,0825, banyaknya angka penting adalah:
  - A. Satu
  - B. Dua
  - C. tiga
  - D. empat
  - E. lima

**Jawab: D**

- Menurut sistem SI satuan massa, panjang dan waktu berturut-turut:
  - A. Gr, cm, s
  - B. Kg, m, s
  - C. Kg, m, menit
  - D. Kg, m, jam
  - E. gr, m, menit

**Jawab: B**

**Pembahasan:**

satuan dari massa (kg), panjang (meter), waktu (detik)

- Massa jenis air yang dikenal adalah  $\rho_{\text{air}} = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$  apabila dinyatakan dalam satuan SI adalah

- A.  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- B.  $1000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$
- C.  $1000000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$
- D.  $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}$
- E.  $1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

**Jawab: A**

**Pembahasan:**

$$\rho_{\text{air}} = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 1 \frac{10^{-3} \text{kg}}{10^{-6} \text{m}^3}$$

$$= 1 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Menurut SI satuan yang dinyatakan dengan  $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$  adalah satuan dari besaran ....
  - A. Percepatan
  - B. Kecepatan
  - C. Usaha
  - D. Gaya
  - E. Daya

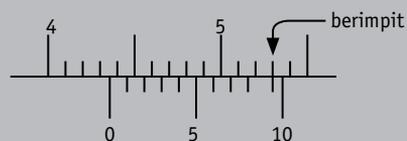
**Jawab: C**

**Pembahasan:**

$$W = F \cdot s = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m}$$

$$= \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

- Hasil pengukuran panjang dengan menggunakan jangka sorong untuk gambar berikut adalah....



- A. 4,3 m
- B. 4,39 cm
- C. 4,3 cm
- D. 4,39 m
- E. 4,3 dm

**Jawab: B**

**Pembahasan**

Diketahui : Skala utama : 4,3 cm  
Skala nonius : 9

Ditanya : Hasil pengukuran panjang?

Jawab:

Skala utama: 4,3 cm

Skala nonius:  $9 \times 0,01 = 0,09$  cm

Hasil pengukuran

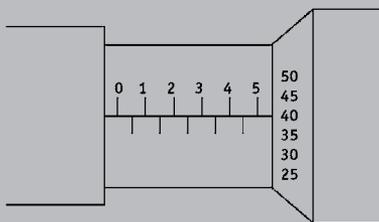
$$= \text{skala utama} + \text{skala nonius}$$

$$= 4,3 \text{ cm} + 0,09 \text{ cm}$$

$$= 4,39 \text{ cm}$$

Jadi, hasil pengukuran panjang dengan menggunakan jangka sorong adalah 4,39 Cm

7. Hasil pengukuran dengan menggunakan mikrometer sekrup pada gambar berikut adalah...



- A. 5,40 mm      D. 0,054 m  
B. 5,40 m      E. 5,40 cm  
C. 5,40 dm

**Jawab: A**

**Pembahasan:**

Diketahui: Skala utama : 5 mm

Skala nonius : 40

Ditanya : Hasil pengukuran?

Jawab:

Skala utama: 5 mm

Skala nonius:  $40 \times 0,01 = 0,40$  mm

Hasil pengukuran

$$= \text{skala utama} + \text{skala nonius}$$

$$= 5,00 \text{ mm} + 0,40 \text{ mm}$$

$$= 5,40 \text{ mm}$$

Jadi, hasil pengukuran dengan menggunakan mikrometer sekrup adalah 5,40 mm

8. Mikrometer sekrup mempunyai ketelitian pengukuran sampai batas ....
- A. 0,01 mm  
B. 0,01 m  
C. 0,1 mm  
D. 0,01 cm  
E. 0,1 m

**Jawab: A**

9. Materi adalah sesuatu yang ....
- A. Hanya memiliki volume  
B. Memiliki massa saja  
C. tidak mempunyai ukuran  
D. memiliki massa dan volume  
E. memiliki panjang

**Jawab: D**

10. Alat yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik disebut
- A. Amper meter  
B. Multitester  
C. timbangan  
D. osiloskop  
E. voltmeter

**Jawab: E**

## LATIHAN SOAL BAB 1

Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

- Satuan tekanan dalam sistem SI adalah....  
A. atmosfer      E. mmHg  
B. Pascal      D. Newton  
C. cmHg
- Satuan dari besaran kecepatan, suhu, dan gaya menurut sistem SI adalah ...  
A. m/s, Celcius, Joule  
B. m/s, Kelvin, Joule  
C. m/s, Fahrenheit, Newton  
D. m/s, Kelvin, Newton  
E. m/s<sup>2</sup>, Kelvin, Joule
- Dimensi energi per satuan waktu adalah ...  
A. ML<sup>2</sup>T<sup>2</sup>      D. ML<sup>2</sup>T<sup>3</sup>  
B. ML<sup>2</sup>T<sup>-2</sup>      E. MLT<sup>-2</sup>  
C. ML<sup>2</sup>T<sup>-3</sup>
- Besaran yang dimensinya ML<sup>-1</sup>T<sup>-2</sup> adalah ...  
A. gaya      D. momentum  
B. tekanan      E. percepatan  
C. energi
- Dari pasangan besaran berikut yang setara adalah...  
A. Daya dan tekanan  
B. Gaya dan impuls  
C. Tekanan dan momentum  
D. Momentum dan daya  
E. Momentum dan impuls
- Di antara kelompok besaran di bawah ini yang hanya terdiri atas besaran turunan saja adalah...  
A. kuat arus, massa, gaya  
B. suhu, massa, volume  
C. waktu, momentum, kecepatan  
D. usaha, momentum, percepatan  
E. kecepatan, suhu, jumlah zat
- Di bawah ini yang merupakan besaran pokok dalam sistem Standar Internasional adalah ..  
A. kilogram dan watt  
B. kilogram dan celcius  
C. meter dan detik  
D. meter dan celcius  
E. celcius dan watt
- Dalam sistem SI, satuan kalor adalah ....  
A. kalori      D. derajat kelvin  
B. joule      E. derajat celcius  
C. watt
- Satuan dari gaya gerakan kinetis adalah ....  
A. kg m/s      D. kg m/s<sup>2</sup>  
B. Kg m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>      E. tidak bersatuan  
C. kg m
- Satuan dari besaran percepatan, suhu, dan daya, menurut Sistem Internasional (SI) adalah....  
A. m/s<sup>2</sup>, celcius, J/S  
B. m/s<sup>2</sup>, kelvin, watt  
C. m/s<sup>2</sup>, fahrenheit, watt  
D. m/s<sup>2</sup>, kelvin, joule-sekon  
E. m/dt, kelvin, J/S
- Di antara satuan besaran berikut yang merupakan besaran impuls adalah ...

- A. N/s                      D. kg m/s  
 B. Nm                        E. kg/s  
 C. kg m
12. Satuan energi potensial dalam sistem SI adalah ....  
 A.  $\text{kg ms}^3 \text{s}^{-1}$             D.  $\text{kg ms}^{-1}$   
 B.  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$                 E.  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$   
 C.  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$
13. KWh adalah satuan dari ....  
 A. daya  
 B. energi  
 C. tegangan listrik  
 D. kuat arus  
 E. salah semua
14. Massa jenis air yang kita kenal adalah  $\rho_{\text{air}} = 1 \text{ gram/cc}$ . Apabila dinyatakan dalam sistem SI menjadi ....  
 A.  $1 \text{ kg/cm}^3$   
 B.  $100 \text{ kg/cm}^3$   
 C.  $1000 \text{ kg/cm}^3$   
 D.  $1,000.000 \text{ kg/m}^3$   
 E.  $1.000 \text{ kg/m}^3$
15. Sebuah lingkaran berdiameter 14 cm. Jika  $1 \text{ m} = 38,4 \text{ inci}$ , maka luas lingkaran tersebut adalah....  
 A. 239.063,4 inci<sup>2</sup>  
 B. 23.906,34 inci<sup>2</sup>  
 C. 2.390,634 inci<sup>2</sup>  
 D. 239,0634 inci<sup>2</sup>  
 E. 23,90634 inci<sup>2</sup>
16. Sebuah kubus mempunyai panjang sisi 10 cm. Bila  $1 \text{ m} = 39,4 \text{ in}$ , maka volum kubus tersebut adalah  
 A.  $61,2 \text{ in}^3$                       D.  $594,3 \text{ in}^3$   
 B.  $253,8 \text{ in}^3$                     E.  $793,5 \text{ in}^3$   
 C.  $3904,0 \text{ in}^3$
17. Dimensi suatu besaran adalah ....  
 A. membandingkan besaran itu dengan satuannya.  
 B. menyusun besaran itu dari satuannya.  
 C. menyusun besaran itu menjadi besaran pokok  
 D. membandingkan besaran itu dengan besaran-besaran pokok  
 E. besaran yang disusun atas dasar besaran-besaran pokok
18. Momentum mempunyai dimensi yang sama dengan dimensi besaran ...  
 A. impuls                      D. tekanan  
 B. energi                        E. percepatan  
 C. gaya
19. Dimensi energi potensial adalah ....  
 A.  $\text{MLT}^{-1}$                       D.  $\text{ML}^2\text{T}^{-2}$   
 B.  $\text{MLT}^{-2}$                       E.  $\text{ML}^{-2}\text{T}^{-2}$   
 C.  $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$
20. Jika M dimensi massa, L dimensi panjang, dan T dimensi waktu, maka dimensi tekanan adalah....  
 A.  $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$                     D.  $\text{MLT}^{-2}$   
 B.  $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-2}$                     E.  $\text{ML}^2\text{T}^{-3}$   
 C.  $\text{MLT}^{-1}$
21. Dimensi impuls adalah ...  
 A.  $\text{ML}^2\text{T}^3$                       D.  $\text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$   
 B.  $\text{ML}^2\text{T}^2$                       E.  $\text{MLT}^{-1}$   
 C.  $\text{MLT}^2$
22. Energi kinetik suatu benda yang dalam sistem SI dinyatakan dalam Joule adalah ....  
 A.  $\text{kg m}^2 \text{det}^{-2}$                 D.  $\text{kg}^{-1} \text{m}^2 \text{det}^{-2}$   
 B.  $\text{kg m}^{-2} \text{det}$                 E.  $\text{kg m}^{-1} \text{det}^2$   
 C.  $\text{kg m det}^{-2}$

23. Dimensi daya adalah .....
- A.  $MLT^{-3}$                       C.  $ML^2T^{-1}$  E.  
 $ML^2T^{-3}$   
 B.  $MLT^{-2}$                       D.  $ML^2T^{-2}$
24. Massa jenis atau rapat massa mempunyai dimensi .....
- A.  $ML^{-2}$                       D.  $ML^{-3}$   
 B.  $ML^{-1}$                       E.  $ML^2$   
 C.  $ML^{-1}$
25. Dimensi usaha adalah ....
- A.  $MLT^{-2}$                       D.  $ML^2T^{-3}$   
 B.  $ML^2T^{-2}$                       E.  $ML^{-2}T^{-2}$   
 C.  $ML^2T^2$

26. Perhatikan tabel berikut ini!

No	Besaran	Satuan	Dimensi
1	Momentum	kg m s <sup>-1</sup>	[MLT <sup>-1</sup> ]
2	Gaya	kg m s <sup>-2</sup>	[MLT <sup>-2</sup> ]
3	Daya	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>	[ML <sup>2</sup> T <sup>-3</sup> ]

Dari tabel yang mempunyai satuan dan dimensi yang benar adalah besaran nomor....

- A. 1 saja                      D. 1 dan 3 saja  
 B. 1 dan 2 saja                      E. 2 dan 3 saja  
 C. 1, 2, dan 3
27. Besaran yang dimensinya  $ML^{-1}T^{-2}$  adalah ...
- A. gaya                      D. momentum  
 B. tekanan                      E. percepatan  
 C. energi

28. Besaran berikut yang *bukan* besaran turunan adalah .....
- A. momentum                      D. massa  
 B. kecepatan                      E. volum  
 C. gaya
29. Di bawah ini yang merupakan kelompok besaran turunan adalah ...
- A. luas, suhu, dan berat  
 B. volum, gaya, dan tinggi  
 C. massa, waktu, dan kuat arus  
 D. panjang, tekanan, dan usaha  
 E. daya, energi, dan massa jenis
30. Perhatikan tabel berikut ini!

No	Besaran	Satuan	Dimensi
1	Momentum	kg m s <sup>-1</sup>	[M][L][T] <sup>-1</sup>
2	Gaya	kg m s <sup>-2</sup>	[M][L][T] <sup>-2</sup>
3	Daya	kg m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>	[M][L][T] <sup>-3</sup>

Dari tabel di atas yang mempunyai satuan dan dimensi yang benar adalah besaran nomor....

- A. 1 saja  
 B. 1 dan 2 saja  
 C. 1, 2, dan 3  
 D. 1 dan 3 saja  
 E. 2 dan 3 saja

## Gerak

Suatu benda melakukan gerak, bila benda tersebut kedudukannya (jaraknya) berubah setiap saat terhadap titik asalnya (titik acuan). Sebuah benda dikatakan bergerak lurus, jika lintasannya berbentuk garis lurus.

Contoh: - gerak jatuh bebas  
- gerak mobil di jalan tol

Gerak lurus yang kita bahas ada dua macam yaitu:

1. Gerak lurus beraturan (disingkat GLB)
2. Gerak lurus berubah beraturan (disingkat GLBB)

Definisi yang perlu dipahami:

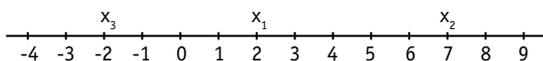
Kinematika ialah ilmu yang mempelajari gerak tanpa mengindahkan penyebabnya.

Contoh: kecepatan, kelajuan, percepatan, perpindahan, jarak.

### A. Jarak dan Perpindahan pada Garis Lurus.

**Jarak:** merupakan panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu materi (zat). Jarak tidak memperhitungkan kedudukan benda. Jarak tidak mempersoalkan ke arah mana benda bergerak, sebaliknya perpindahan tidak mempersoalkan bagaimana lintasan suatu benda yang bergerak. Maka jarak merupakan besaran skalar.

#### Contoh:

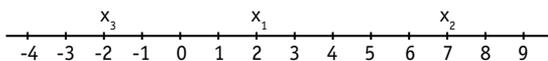


Besar perpindahan sebuah benda jika bergerak dari titik  $X_1$  ke  $X_3$  melalui  $X_2$  adalah: panjang lintasan dari  $X_1$  ke  $X_2$  ke  $X_1$  dan berhenti di  $X_3 = 5 + 5 + 4 = 14$  satuan.

**Perpindahan:** perubahan posisi suatu benda yang dihitung dari posisi awal (acuan) benda tersebut dan tergantung pada arah geraknya. Perpindahan hanya mempersoalkan kedudukan, awal dan akhir benda itu. Maka perpindahan merupakan besaran vector.

- Perpindahan POSITIF jika arah gerak ke KANAN
- Perpindahan NEGATIF jika arah gerak ke KIRI

**Contoh:**



- \* Perpindahan dari  $X_1$  ke  $X_2 = X_2 - X_1 = 7 - 2 = 5$  satuan ( positif )
- \* Perpindahan dari  $X_1$  ke  $X_3 = X_3 - X_1 = -2 - ( +2 ) = -4$  satuan ( negatif )

## B. Kelajuan dan Kecepatan

Kelajuan merupakan besaran skalar, sedangkan kecepatan adalah vektor. Kelajuan adalah jarak yang ditempuh suatu benda dibagi selang waktu atau waktu untuk menempuh jarak itu, sedangkan kecepatan adalah perpindahan suatu benda dibagi selang waktu untuk menempuhnya. Dalam bentuk persamaan, keduanya dapat dituliskan:

Persamaan kelajuan rata-rata:  $\frac{\text{jarak}}{\text{selang waktu}}$   $v = \frac{s}{\Delta t}$

Persamaan kecepatan rata-rata:  $\frac{\text{perpindahan}}{\text{selang waktu}}$   $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

Keterangan:

- $v$  = kelajuan rata-rata (m/s)
- $\bar{v}$  = kecepatan rata-rata (m/s)
- $\Delta s$  = perpindahan (m/s)
- $s$  = jarak (m)
- $\Delta t$  = selang waktu (s)

**Contoh:**

- Hendra berlari ke Timur sejauh 20 m selama 6 s lalu balik ke Barat sejauh 8 m dalam waktu 4s. Hitung kelajuan rata-rata( $v$ ) dan kecepatan rata-rata hendra ( $\bar{v}$ )

Penyelesaian:

Kelajuan rata-rata:

$$v = \frac{s}{\Delta t} = \frac{20 + 8}{6 + 4} = 2.8 \text{ m/s}$$

Kecepatan rata-rata (anggap perpindahan ke Timur bernilai positif, ke Barat negatif).

$$\bar{v} = \frac{s}{\Delta t} = \frac{20 - 8}{6 + 4} = 1,2 \text{ m/s}$$

2. Joko lari pagi mengelilingi lapangan berbentuk empat persegi panjang dengan panjang 10 m dan lebar 5 m. Setelah melakukan tepat 10 putaran dalam waktu 1 menit, Joko berhenti. Tentukan:
- Jarak yang ditempuh Joko
  - Perpindahan Joko
  - Kelajuan rata-rata Joko
  - Kecepatan rata-rata Joko

Penyelesaian:

Terlebih dahulu kita ubah satuan dari besaran-besaran yang diketahui.  $p = 10$  m;  
 $l = 5$  m.

1 putaran = keliling empat persegi panjang =  $2 \times (p + l) = 2 \times (10 + 5) = 30$  m

Selang waktu =  $\Delta t = 1$  menit = 60 s

- Jarak yang ditempuh Joko = 10 putaran =  $10 \times 30 = 300$  m
- Perpindahan Joko = nol, sebab Joko berlari tepat 10 putaran, sehingga posisi awal Joko = posisi akhirnya.
- Kelajuan rata-rata:

$$V = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} = \frac{300}{60} = 5 \text{ m/s}$$

- Kecepatan rata-rata:

$$\bar{v} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} = \frac{0}{60} = 0 \text{ m/s}$$

## B. Gerak Lurus Beraturan

Gerak lurus beraturan (GLB) adalah gerak benda dalam lintasan garis lurus dengan kecepatan atau kelajuan tetap.

Pada Gerak Lurus Beraturan (GLB) berlaku persamaan:  $s = v \cdot t$

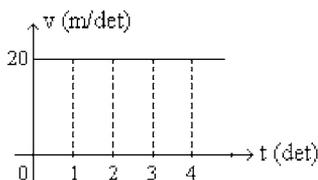
dimana:  $s$  = jarak yang ditempuh (perubahan lintasan)

$v$  = kecepatan

$t$  = waktu

Grafik Gerak Lurus Beraturan (GLB)

- Grafik  $v$  terhadap  $t$



Kita lihat grafik di atas: dari rumus  $s = v \cdot t$ , maka:

$t = 1$  sekon,  $s = 20$  m

$t = 2$  sekon,  $s = 40$  m

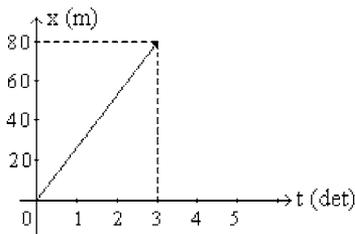
$t = 3$  sekon,  $s = 60$  m

$t = 4$  sekon,  $s = 80$  m

**Kesimpulan:** Pada grafik  $v$  terhadap  $t$ , maka besarnya perubahan lingkaran benda

(jarak) merupakan luas bidang yang diarsir.

b. Grafik  $x$  terhadap  $t$ .



Kelajuan rata-rata dirumuskan:  $v = \frac{s}{t}$

**Kesimpulan:** Pada Gerak Lurus beraturan kelajuan rata-rata selalu tetap dalam selang waktu sembarang.

#### Contoh:

Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan tetap 36 km/jam. Berapa meterkah jarak yang ditempuh mobil itu setelah bergerak 10 menit?

Penyelesaian:

Anda ubah dulu satuan-satuan dari besaran yang diketahui ke dalam sistem satuan SI.

Diketahui:  $v = 36$  km/jam  $= 36 \times 1000$  m/3600 s  $= 10$  m/s

$t = 10$  menit  $= 600$  sekon.

Ditanya:  $s$ ?

Jawab:

$$s = v \times t$$

$$s = 10 \times 600 = 6000 \text{ m} = 6 \text{ km.}$$

## D. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) adalah gerak benda dalam lintasan garis lurus dengan percepatan tetap. Jadi, ciri utama GLBB adalah bahwa dari waktu ke waktu kecepatan benda berubah, semakin lama semakin cepat. Dengan kata lain gerak benda dipercepat. Namun demikian, GLBB juga dapat berarti bahwa dari waktu ke waktu kecepatan benda berubah, semakin lambat hingga akhirnya berhenti. Dalam hal ini benda mengalami perlambatan tetap. Dalam modul ini, kita tidak menggunakan

istilah perlambatan untuk gerak benda diperlambat. Kita tetap saja menamakannya percepatan, hanya saja nilainya negatif. Jadi perlambatan sama dengan percepatan negatif. Hal-hal yang perlu dipahami dalam GLBB:

1. Perubahan kecepatannya selalu tetap
2. Perubahan kecepatannya tiap satuan waktu disebut: PERCEPATAN. (notasi = a)
3. Ada dua macam perubahan kecepatan:
  - a. Percepatan: positif bila  $a > 0$
  - b. Percepatan: negatif bila  $a < 0$
4. Percepatan maupun perlambatan selalu tetap.

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

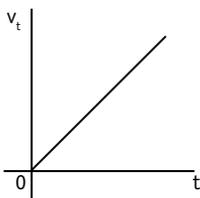
Bila kelajuan awal =  $v_0$  dan kelajuan setelah selang waktu  $t = v_t$ , maka:

$$a = \frac{v_t - v_0}{\Delta t} \qquad a \cdot \Delta t = v_t - v_0 \qquad v_t = v_0 + a \cdot \Delta t$$

Maka GLBB juga dibedakan menjadi dua macam yaitu:

GLBB dengan  $a > 0$  dan GLBB  $< 0$ , bila percepatan searah dengan kecepatan benda maka pada benda mengalami percepatan, jika percepatan berlawanan arah dengan kecepatan maka pada benda mengalami perlambatan.

### Grafik v terhadap t dalam GLBB.

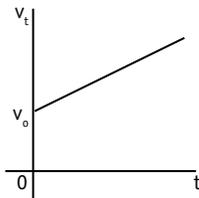


$$a > 0$$

$$v_0 = 0$$

$$v_t = v_0 + a \cdot \Delta t$$

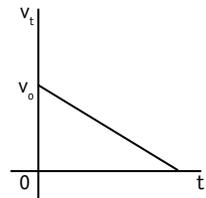
$$v_t = a \cdot \Delta t$$



$$a > 0$$

$$v_0 \neq 0$$

$$v_t = v_0 + a \cdot \Delta t$$



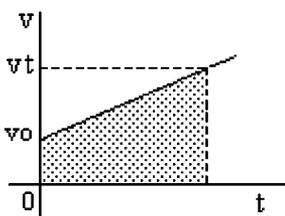
$$a < 0$$

$$v_0 \neq 0$$

$$v_t = v_0 + a \cdot \Delta t$$

Grafiknya berupa garis lurus

Jarak yang ditempuh = Luas grafik V terhadap T.



$s$  = Luas trapezium

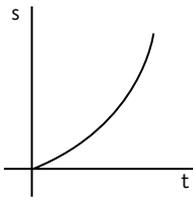
$$= (v_0 + v_t) \cdot \frac{1}{2} t$$

$$= (v_0 + v_0 + a \cdot \Delta t) \cdot \frac{1}{2} t$$

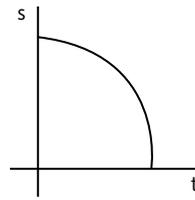
$$= (2 \cdot v_0 + a \cdot \Delta t) \cdot \frac{1}{2} t$$

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

### Grafik $s$ terhadap $t$ dalam GLBB



$$a > 0; s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot \Delta t^2$$



$$a < 0; s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot \Delta t^2$$

## E. Gerak Vertikal Pengaruh Gravitasi Bumi.

### 1. Gerak jatuh bebas.

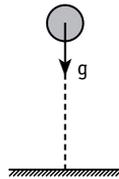
Gerak jatuh bebas ini merupakan gerak lurus berubah beraturan tanpa kecepatan awal

( $v_0$ ), dimana percepatannya disebabkan karena gaya tarik bumi dan disebut percepatan gravitasi bumi ( $g$ ).

Misal: Suatu benda dijatuhkan dari suatu ketinggian tertentu, maka:

Rumus GLBB:  $v_t = g \cdot t$

$$y = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

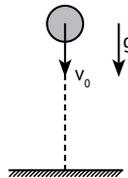


### 2. Gerak benda dilempar ke bawah.

Merupakan GLBB dipercepat dengan kecepatan awal  $v_0$ .

Rumus GLBB:  $v_t = v_0 + gt$

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} g \cdot t^2$$



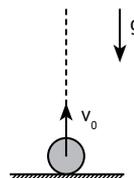
### 3. Gerak benda dilempar ke atas.

Merupakan GLBB diperlambat dengan kecepatan awal  $v_0$ .

Rumus GLBB:  $v_t = v_0 - gt$

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$y$  = jarak yang ditempuh setelah  $t$  detik.



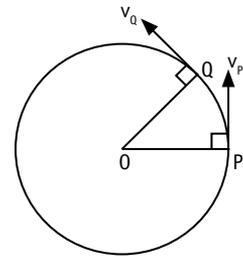
Syarat-syarat gerak vertikal ke atas yaitu:

- Benda mencapai ketinggian maksimum jika  $v_t = 0$
- Benda sampai di tanah jika  $y = 0$

## F. Gerak Melingkar Beraturan

Jika sebuah benda bergerak dengan kelajuan konstan pada suatu lingkaran (disekeliling lingkaran), maka dikatakan bahwa benda tersebut melakukan gerak melingkar beraturan.

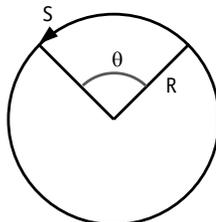
Kecepatan pada gerak melingkar beraturan besarnya selalu tetap namun arahnya selalu berubah, arah kecepatan selalu menyinggung lingkaran, maka  $v$  selalu tegak lurus garis yang ditarik melalui pusat lingkaran ke sekeliling lingkaran tersebut.



### Radian

1 (satu) radian adalah besarnya sudut tengah lingkaran yang panjang busurnya sama dengan jari-jarinya.

Besarnya sudut:



$$\theta = \frac{S}{R} \text{ radian}$$

$S$  = panjang busur

$R$  = jari-jari

Satu radian dipergunakan untuk menyatakan posisi suatu titik yang bergerak melingkar (beraturan maupun tak beraturan) atau dalam gerak rotasi.

Keliling lingkaran =  $2\pi \times$  radius, gerakan melingkar dalam 1 putaran =  $2\pi$  radian.

1 putaran =  $360^\circ = 2\pi$  rad.

$$1 \text{ rad} = \frac{360}{2} = 57,3^\circ$$

### Frekuensi dan Periode

Waktu yang diperlukan untuk satu kali berputar mengelilingi lingkaran di sebut perioda dan diberi notasi  $T$ . Banyaknya putaran per detik disebut Frekuensi dan diberi notasi  $f$ . Satuan frekuensi ialah Herz. Jadi antara  $f$  dan  $T$  kita dapatkan hubungan:

$$f \cdot T = 1$$

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

## Kecepatan Linier dan Kecepatan Sudut.

Jika dalam waktu  $T$  detik ditempuh jalan sepanjang keliling lingkaran ialah  $2\pi R$ , maka kelajuan partikel untuk mengelilingi lingkaran dapat dirumuskan:

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

Kecepatan ini disebut kecepatan linier dan diberi notasi  $v$ .

Kecepatan angular (sudut) diberi notasi  $\omega$  adalah perubahan dari perpindahan sudut persatuan waktu (setiap saat). Biasanya dinyatakan dalam radian/detik, derajat perdetik, putaran perdetik (rps) atau putaran permenit (rpm). Bila benda melingkar beraturan dengan sudut rata-rata ( $\omega$ ) dalam radian perdetik:

$$\omega = \frac{\text{sudut gerakan (radian)}}{\text{waktu (detik) yang diperlukan untuk membentuk sudut tersebut.}}$$

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

jika 1 putaran maka:  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  rad/detik atau  $\omega = 2\pi f$

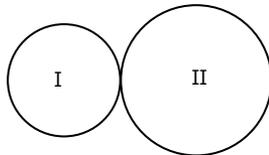
Dengan demikian besarnya sudut yang ditempuh dalam  $t$  detik:

$$\theta = \omega t \text{ atau } \theta = 2\pi f t$$

Dengan demikian antara  $v$  dan  $\omega$  kita dapatkan hubungan:  $v = \omega R$

## Hubungan Roda-roda

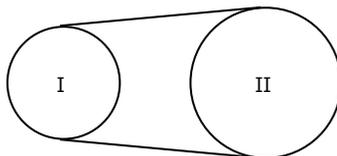
### 1. Bersinggungan



Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuan angular tidak sama.

$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2$$

### 2. Dengan tali penghubung.

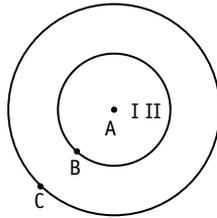


Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuannya angularnya tidak sama.

$$v_1 = v_2, \text{ tetapi } \omega_1 \neq \omega_2$$

1. Seporos.

Jika roda-roda disusun dalam satu poros putar, maka pada sistem tersebut titik-titik yang terletak pada satu jari mempunyai kecepatan angular yang sama, tetapi kecepatan liniernya tidak sama.



$$\omega_A = \omega_B = \omega_C, \text{ tetapi } v_A \neq v_B \neq v_C$$

**Percepatan sentripetal**

Jika suatu benda melakukan gerak dengan kelajuan tetap mengelilingi suatu lingkaran, maka arah dari gerak benda tersebut mempunyai perubahan yang tetap. Dalam hal ini maka benda harus mempunyai percepatan yang merubah arah dari kecepatan tersebut.

Arah dari percepatan ini akan selalu tegak lurus dengan arah kecepatan, yakni arah percepatan selalu menuju kearah pusat lingkaran. Percepatan yang mempunyai sifat-sifat tersebut di atas dinamakan percepatan sentripetal.

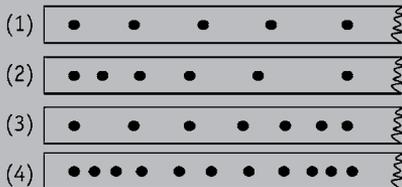
Percepatan centripetal ( $a_r$ ) adalah:

$$a_r = \frac{(\text{kecepatan linier pada benda})^2}{\text{jari-jari lingkaran}}$$

$$a_r = \frac{v^2}{R} \text{ atau } a_r = \omega^2 R$$

**Contoh Soal dan Pembahasan**

1. Tetesan oli yang bocor jatuh dari mobil yang bergerak lurus dilukiskan seperti pada gambar!



Yang menunjukkan mobil bergerak dengan percepatan tetap adalah ...

- A. 1 dan 3
- B. 2 dan 3
- C. 2 dan 4
- D. 1, 2 dan 3
- E. 2, 3 dan 4

**JAWABAN: B**

**Pembahasan:**

- ⇒ Gambar (1) adalah gerakan GLB (Gerak Lurus Beraturan) karena jarak tetesan oli tetap (tidak ada percepatan)
- ⇒ Gambar (2) adalah gerakan GLBB (Gerak Lurus Berubah Beraturan) yang dipercepat

karena jarak tetesan oli semakin lama semakin jauh

- ⇒ Gambar (3) adalah gerakan GLBB (Gerak Lurus Berubah Beraturan) yang diperlambat (percepatan negatif) karena jarak tetesan oli semakin lama semakin dekat
- ⇒ Gambar (4) adalah gerakan GLBB (Gerak Lurus Berubah Beraturan) yang dipercepat kemudian diperlambat (percepatan berubah dari positif ke negatif) karena jarak tetesan oli semakin lama semakin jauh kemudian berubah menjadi semakin lama semakin dekat.
- ⇒ Maka yang mengalami percepatan tetap adalah no. 2 dan no. 3

2. Sebuah mobil dipercepat  $4,0 \text{ m/s}^2$  dari keadaan diam. Mobil akan mencapai laju  $36 \text{ m/s}$  pada akhir dari ....
- A.  $4,5 \text{ s}$                       D.  $32 \text{ s}$   
B.  $9,0 \text{ s}$                       E.  $936 \text{ s}$   
C.  $18 \text{ s}$

**Pembahasan:**

Diketahui:  $a = 4,0 \text{ m/s}^2$

$$v = 0 \text{ m/s}$$

$$v_t = 36 \text{ m/s}$$

Ditanyakan: waktu (t) ?

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

$$36 \text{ m/s} = 0 + 4,0 \text{ m/s}^2 \cdot t$$

$$t = \frac{36 \text{ m/s}}{4,0 \text{ m/s}^2} = 9\text{s}$$

Jadi, mobil akan melaju pada akhir dari 9 sekon.

Jawaban: B

3. Sebuah benda di lemparkan ke dalam sumur dengan kecepatan awal  $4 \text{ m/s}$ . Bila benda mengenai dasar sumur setelah 2 sekon, maka kecepatan benda saat mengenai dasar sumur dan kedalaman sumur berturut-turut adalah .... ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ).
- A.  $24 \text{ m/s}$  dan  $28 \text{ m}$   
B.  $16 \text{ m/s}$  dan  $28 \text{ m}$   
C.  $16 \text{ m/s}$  dan  $24 \text{ m}$   
D.  $16 \text{ m/s}$  dan  $12 \text{ m}$   
E.  $8 \text{ m/s}$  dan  $24 \text{ m}$

**Pembahasan:**

Diketahui:  $v_0 = 4 \text{ m/s}$

$$t = 2 \text{ s}$$

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

Ditanyakan:  $v_t$  dan  $h$  ?

- kecepatan benda saat mengenai dasar sumur

$$v_t = v_0 + g \cdot t$$

$$v_t = 4 \text{ m/s} + 10 \text{ m/s}^2 \cdot 2 \text{ s}$$

$$v_t = 24 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan benda saat mengenai dasar sumur adalah  $24 \text{ m/s}$ .

- Kedalaman sumur

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

$$= 4 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (2)^2$$

$$= 8 + 20$$

$$= 28$$

Jadi, kedalaman sumur adalah  $28 \text{ m}$ .

Jawaban: A

4. Seorang anak berjalan lurus 10 meter ke barat, kemudian belok ke selatan sejauh 12 meter, dan belok lagi ke timur sejauh 15 meter. Perpindahan yang dilakukan anak tersebut dari posisi awal

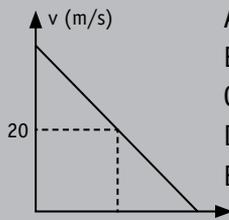
- A. 18 m arah barat daya
- B. 14 m arah selatan
- C. 13 m arah tenggara
- D. 12 m arah timur
- E. 10 m arah tenggara

**Pembahasan:**

Perpindahan total arah timur 5 m dan arah selatan 12 m. Besar perpindahan adalah  $= (5^2 + 12^2)^{1/2} = 13$  m dengan arah antara timur dan selatan yaitu tenggara.

Jawaban: C

5. Kecepatan (v) benda yang bergerak lurus terhadap waktu (t) diperlihatkan pada grafik v – t berikut. Benda akan berhenti setelah bergerak selama v(m/s)



- A. 5 s
- B. 8 s 20
- C. 10 s
- D. 20 s
- E. 25 s10

**Pembahasan:**

Gerak benda termasuk GLBB. Dalam 4 sekon kelajuan benda berkurang 10 m/s. Kecepatan awal benda 20 m/s, maka benda akan berhenti setelah benda bergerak selama 8 sekon.

Jawaban: B

6. Sebuah peluru ditembakkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 30 m/s. Jika percepatan gravitasi pada tempat itu adalah  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Maka waktu untuk mencapai titik tertinggi adalah ....
- A. 300 s
  - B. 30 s
  - C. 3 s
  - D. 0,3 s
  - E. 0,03 s

**Pembahasan:**

Diketahui:

$v = 30 \text{ m/s}$

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

Ditanyakan:  $t_{maks}$  ...?

Pembahasan:

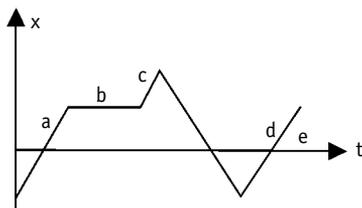
$$t_{maks} = \frac{v_0}{g} = \frac{30 \text{ m/s}}{10 \text{ m/s}^2} = 3 \text{ sekon}$$

Jawab: C

**LATIHAN SOAL BAB 2**

Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

1.



Grafik tersebut menggambarkan kedudukan (x) terhadap waktu (t) dari gerak suatu benda. Bagian grafik yang menunjukkan kecepatan benda nol adalah.....

- A. a
- B. b
- C. c
- D. d
- E. e

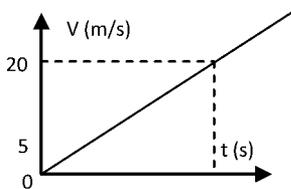
2. Mobil A bergerak lurus beraturan dengan kecepatan 36 km/jam 10 detik kemudian mobil B dari tempat yang sama menyusul dengan percepatan  $4 \text{ m/s}^2$ , tanpa kecepatan awal. Mobil B menyusul A setelah menempuh jarak...m.

A. 240                      D. 160  
 B. 220                      E. 80  
 C. 200

3. Benda yang bergerak lurus beraturan didefinisikan sebagai...

A. Benda yang bergerak lurus  
 B. Benda yang bergerak dalam lintasan lurus, tetapi memiliki percepatan  
 C. Benda yang bergerak pada lintasan lurus dengan kecepatan tetap  
 D. Benda yang bergerak di atas lintasan lurus dan berubah-ubah arahnya  
 E. Benda yang bergerak lurus disertai percepatan dan atau perlambatan

4. Grafik kecepatan terhadap waktu berikut dapat diperoleh bahwa percepatannya ..... $\text{m/s}^2$



A. 3                              D. 5  
 B. 4                              E. 6  
 C. 4,5

5. Mobil yang mula-mula diam berjalan sejauh 120 m selama 5 sekon. Percepatan mobil tersebut adalah....

A.  $8,6 \text{ m/s}^2$               D.  $9,9 \text{ m/s}^2$   
 B.  $8,9 \text{ m/s}^2$               E.  $10,6 \text{ m/s}^2$   
 C.  $9,6 \text{ m/s}^2$

6. Sebuah benda bergerak lurus berubah beraturan dengan kecepatan awal  $5 \text{ m/s}$  dan percepatan  $3 \text{ m/s}^2$ . Setelah bergerak 5 detik, kecepatan benda adalah..... $\text{m/s}$ .

A. 5                              D. 20  
 B. 10                             E. 25  
 C. 15

7. Sebuah mobil mengalami percepatan konstan  $3,2 \text{ m/s}^2$  dari keadaan diam ketika mobil telah menempuh jarak 40 m, lajunya adalah....

A.  $6 \text{ m/s}$                       D.  $12,5 \text{ m/s}$   
 B.  $8 \text{ m/s}$                       E.  $16 \text{ m/s}$   
 C.  $12 \text{ m/s}$

8. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian 62,5 m. Jika percepatan gravitasi bumi  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , ketika menumbuk permukaan tanah kecepatan benda sama dengan....

A.  $14 \text{ m/s}$                       D.  $35 \text{ m/s}$   
 B.  $20 \text{ m/s}$                       E.  $55 \text{ m/s}$   
 C.  $25 \text{ m/s}$

9. Dari sebuah menara yang tingginya 100 m dilepaskan suatu benda. Jika percepatan gravitasi bumi =  $10 \text{ m/s}^2$ , maka kecepatan benda pada saat mencapai tanah adalah ....

A.  $10\sqrt{10} \text{ m/s}$               D.  $100\sqrt{10} \text{ m/s}$   
 B.  $10\sqrt{20} \text{ m/s}$               E.  $1000 \text{ m/s}$   
 C.  $10 \text{ m/s}$

10. Perbedaan jarak dan perpindahan pada gerak lurus adalah ....
- kedua-duanya adalah besaran vektor
  - kedua-duanya adalah besaran skalar
  - jarak adalah besaran skalar dan perpindahan adalah besaran vektor
  - jarak adalah besaran vektor, tetapi perpindahan adalah besaran skalar
  - Jarak ditentukan oleh arah sedangkan perpindahan tidak
11. Perbedaan antara laju dan kecepatan adalah ....
- laju mempunyai besar dan arah, sedangkan kecepatan hanya mempunyai besar saja
  - kecepatan mempunyai besar dan arah, sedangkan laju hanya mempunyai arah saja
  - laju hanya mempunyai arah saja, kecepatan hanya mempunyai besar saja
  - laju hanya mempunyai besar saja, kecepatan hanya mempunyai arah saja
  - laju mempunyai besar dan tidak mempunyai arah, sedangkan kecepatan mempunyai besar dan arah
12. Sebuah bola dilempar vertikal ke atas dan memerlukan waktu 16 sekon untuk kembali ketempat semula. Kecepatan awal bola itu adalah.....(  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )
- 80 m/s
  - 60 m/s
  - 20 m/s
  - 16 m/s
  - 160 m/s
13. Sebuah benda jatuh bebas dari ketinggian  $h$  meter. Jika percepatan gravitasi bumi  $= g \text{ (ms}^{-2}\text{)}$ , tulis rumus yang menyatakan hubungan antara  $h$ ,  $g$ , dan  $t$ !
- $h = 2 g.t^2$
  - $h = \frac{1}{2} g.t$
  - $h = 2 g.t$
  - $h = g.t^2$
  - $h = \frac{1}{2} g.t^2$
14. Sebuah batu dijatuhkan tanpa kecepatan awal ke dalam air dari jembatan tingginya 20 m di atas air. Batu yang kedua dilemparkan vertikal ke bawah 1s setelah batu pertama dilepaskan. Jika kedua batu mencapai air dalam waktu yang bersamaan, maka besarnya kecepatan awal batu kedua, adalah. m/s?
- 8
  - 12
  - 15
  - 18
  - 20
15. Sebuah peluru ditembakkan vertikal dari atas menara dengan kecepatan awal 120 m/s, tinggi menara 180 meter dari permukaan tanah jika percepatan gravitasi di tempat itu  $10 \text{ m/s}^2$  maka kecepatan peluru pada saat menyentuh tanah adalah....
- 154 m/s
  - 144 m/s
  - 134 m/s
  - 128 m/s
  - 132 m/s
16. Untuk suatu benda yang sedang bergerak sepanjang suatu lintasan melengkung pada kelajuan tetap adalah:...
- percepatan tegak lurus terhadap kecepatan sesaat.

- B. kecepatannya adalah tetap.  
 C. vektor percepatannya adalah tetap.  
 D. percepatannya adalah nol.  
 E. tak satupun yang benar.
17. Sebuah kipas angin elektrik berputar pada 300 rpm, maka frekuensi dan periode kipas tersebut adalah...
- A. 0,2 Hz dan 0,2 s  
 B. 0,2 Hz dan 5 s  
 C. 0,5 Hz dan 2 s  
 D. 5 Hz dan 0,2 s  
 E. 5 Hz dan 5 s
18. Sebuah benda melakukan gerak melingkar beraturan dengan melakukan 90 putaran tiap 2 menit. Bila jari-jari putaran 1 m maka kecepatan linier benda tersebut adalah:
- ...
- A.  $\frac{2}{3}\pi$  m/s      D.  $\frac{3}{2}\pi$  m/s  
 B.  $\frac{3}{4}\pi$  m/s      E.  $6\pi$  m/s  
 C.  $\frac{4}{3}\pi$  m/s
19. Sudut yang dibentuk oleh  $\frac{3}{4}$  putaran adalah ...
- A.  $\frac{1}{2}\pi$  rad      D.  $2\pi$  rad  
 B.  $\pi$  rad      E.  $\frac{5}{2}\pi$  rad  
 C.  $\frac{3}{2}\pi$  rad
20. Kecepatan sudut rata-rata dari sebuah gerinda yang berputar menempuh 3600 putaran tiap 3 menit adalah...
- A.  $10\pi$  rad/s  
 B.  $20\pi$  rad/s  
 C.  $30\pi$  rad/s  
 D.  $40\pi$  rad/s  
 E.  $50\pi$  rad/s

## Gerak dan Gaya

Gaya ialah suatu tarikan atau dorongan yang dapat menimbulkan perubahan gerak. Dengan demikian jika benda ditarik/didorong dan sebagainya maka pada benda bekerja gaya dan keadaan gerak benda dapat dirubah.

Gaya adalah penyebab gerak. Gaya termasuk besaran vektor, karena gaya ditentukan oleh besar dan arahnya.

### A. Hukum I Newton

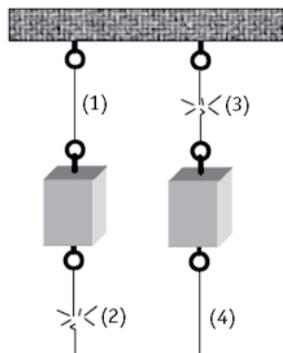
Jika resultan dari gaya-gaya yang bekerja pada sebuah benda sama dengan nol ( $\sum F = 0$ ), maka benda tersebut:

- Jika dalam keadaan diam akan tetap diam, atau
- Jika dalam keadaan bergerak lurus beraturan akan tetap bergerak lurus beraturan.

Keadaan tersebut di atas disebut juga Hukum KELEMBAMAN.

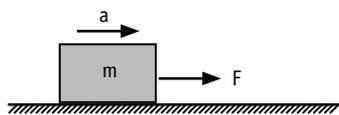
**Kesimpulan:**  $\sum F = 0$  dan  $a = 0$

Karena benda bergerak translasi, maka pada sistem koordinat Cartesius dapat dituliskan  $\sum F_x = 0$  dan  $\sum F_y = 0$ .



## B. Hukum II Newton

Percepatan yang ditimbulkan oleh gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dan searah dengan gaya itu dan berbanding terbalik dengan massa benda.



$$a \propto \frac{F}{m} \text{ atau } F \propto m \cdot a$$

$$F = k \cdot m \cdot a$$

dalam SI konstanta  $k = 1$  maka:  $F = m \cdot a$

Satuan:

Besaran	Notasi	MKS	CGS
Gaya	F	newton (N)	dyne
Massa	m	kg	gram
Percepatan	a	m/det <sup>2</sup>	cm/det <sup>2</sup>

### Massa dan Berat

Berat suatu benda ( $w$ ) adalah besarnya gaya tarik bumi terhadap benda tersebut dan arahnya menuju pusat bumi. (vertikal ke bawah).

Hubungan massa dan berat:

$$w = m \cdot g$$

$w$  = gaya berat.

$m$  = massa benda.

$g$  = percepatan grafitasi.

Satuan:

Besaran	Notasi	MKS	CGS
Gaya berat	W	newton (N)	dyne
Massa	M	kg	gram
Grafitasi	G	m/det <sup>2</sup>	cm/det <sup>2</sup>

Perbedaan massa dan berat:

- Massa ( $m$ ) merupakan besaran skalar di mana besarnya di sembarang tempat untuk suatu benda yang sama selalu TETAP.
- Berat ( $w$ ) merupakan besaran vektor di mana besarnya tergantung pada tempatnya (percepatan grafitasi pada tempat benda berada).

Hubungan antara satuan yang dipakai:

$$1 \text{ newton} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/det}^2$$

$$1 \text{ dyne} = 1 \text{ gr} \cdot \text{cm/det}^2$$

$$1 \text{ newton} = 10^5 \text{ dyne}$$

- 1 kgf = g newton ( $g = 9,8 \text{ m/det}^2$  atau  $10 \text{ m/det}^2$ )
- 1 gf = g dyne ( $g = 980 \text{ cm/det}^2$  atau  $1000 \text{ cm/det}^2$ )
- 1 smsb = 10 smsk
- smsb = satuan massa statis besar.
- smsk = satuan massa statis kecil.

**Pengembangan:**

1. Jika pada benda bekerja banyak gaya yang horisontal maka berlaku:  $\Sigma F = m \cdot a$

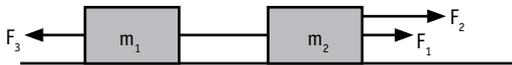


$$F_1 + F_2 - F_3 = m \cdot a$$

Arah gerak benda sama dengan  $F_1$  dan  $F_2$  jika  $F_1 + F_2 > F_3$

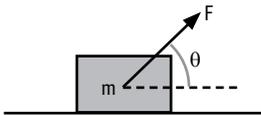
Arah gerak benda sama dengan  $F_3$  jika  $F_1 + F_2 < F_3$  ( tanda  $a = -$  )

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



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

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



**C. Hukum III Newton**

Bila sebuah benda A melakukan gaya pada benda B, maka benda juga akan melakukan gaya pada benda A yang besarnya sama tetapi berlawanan arah.

Gaya yang dilakukan A pada B disebut: ***gaya aksi***.

Gaya yang dilakukan B pada A disebut: ***gaya reaksi***.

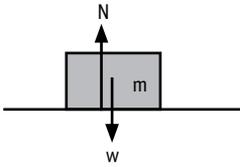
maka ditulis:

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

Hukum Newton III disebut juga Hukum Aksi - Reaksi.

## 1. Pasangan aksi reaksi.

Pada sebuah benda yang diam di atas lantai berlaku:



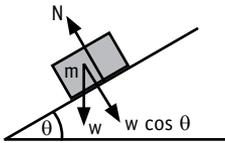
$w$  = gaya berat benda memberikan gaya aksi pada lantai.

$N$  = gaya normal ( gaya yang tegak lurus permukaan tempat di mana benda berada).

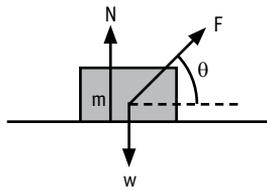
Hal ini bukan pasangan Aksi - Reaksi.

(tanda - hanya menjelaskan arah berlawanan )

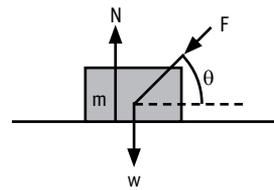
Macam-macam keadaan ( besar ) gaya normal.



$$N = w \cos \theta$$

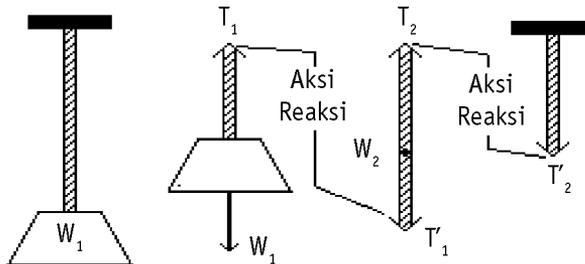


$$N = w - F \sin \theta$$



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

## Pasangan aksi - reaksi pada benda yang digantung.

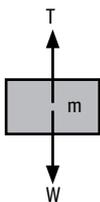


Balok digantung dalam keadaan diam pada tali vertikal. Gaya  $w_1$  dan  $T_1$  bukanlah pasangan aksi-reaksi, meskipun besarnya sama, berlawanan arah dan segaris kerja.

Sedangkan yang merupakan pasangan aksi-reaksi adalah gaya:

Demikian juga gaya  $T_2$  dan  $T'_2$  merupakan pasangan aksi - reaksi.

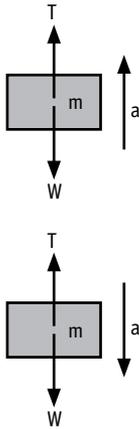
## Hubungan Tegangan Tali Terhadap Percepatan



a. Bila benda dalam keadaan diam, atau dalam keadaan bergerak lurus beraturan maka:

$$T = m \cdot g$$

$T$  = gaya tegangan tali.



b. Benda bergerak ke atas dengan percepatan  $a$  maka:

$$T = m \cdot g + m \cdot a$$

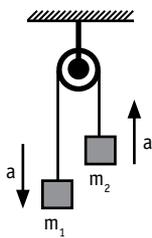
$T = \text{gaya tegangan tali.}$

c. Benda bergerak ke bawah dengan percepatan  $a$  maka:

$$T = m \cdot g - m \cdot a$$

$T = \text{gaya tegangan tali.}$

### Gerak Benda Yang Dihubungkan Dengan Katrol.



Dua buah benda  $m_1$  dan  $m_2$  dihubungkan dengan katrol melalui sebuah tali yang diikatkan pada ujung-ujungnya. Apabila massa tali diabaikan, dan tali dengan katrol tidak ada gaya gesekan, maka akan berlaku persamaan-persamaan:

Sistem akan bergerak ke arah  $m_1$  dengan percepatan  $a$ .

Tinjau benda  $m_1$  Tinjauan benda  $m_2$

$$T = m_1 \cdot g - m_1 \cdot a \quad (\text{persamaan 1}) \quad T = m_2 \cdot g + m_2 \cdot a \quad (\text{persamaan 2})$$

Karena gaya tegangan tali di mana-mana sama, maka persamaan 1 dan persamaan 2 dapat digabungkan:

$$m_1 \cdot g - m_1 \cdot a = m_2 \cdot g + m_2 \cdot a$$

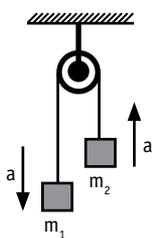
$$m_1 \cdot a + m_2 \cdot a = m_1 \cdot g - m_2 \cdot g$$

$$(m_1 + m_2) \cdot a = (m_1 - m_2) \cdot g$$

$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g$$

Persamaan ini digunakan untuk mencari percepatan benda yang dihubungkan dengan katrol

Cara lain untuk mendapatkan percepatan benda pada sistem katrol dapat ditinjau keseluruhan sistem:



Sistem akan bergerak ke arah  $m_1$  dengan percepatan  $a$ . Oleh karena itu semua gaya yang terjadi yang searah dengan arah gerak sistem diberi tanda POSITIF, yang berlawanan diberi tanda NEGATIF.

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

$$w_1 - T + T - T + T - w_2 = (m_1 + m_2) \cdot a$$

karena T di mana-mana besarnya sama maka T dapat dihilangkan.

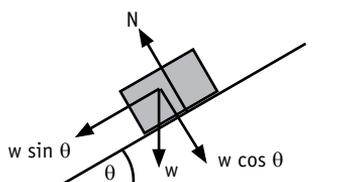
$$w_1 - w_2 = (m_1 + m_2) \cdot a$$

$$(m_1 - m_2) \cdot g = (m_1 + m_2) \cdot a$$

$$a = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} g$$

### Benda Bergerak Pada Bidang Miring

Gaya-gaya yang bekerja pada benda.



### Gaya gesek ( $f_g$ )

Gaya gesekan antara permukaan benda yang bergerak dengan bidang tumpu benda akan menimbulkan gaya gesek yang arahnya **senantiasa berlawanan dengan arah gerak benda.**

Ada dua jenis gaya gesek yaitu

gaya gesek statis ( $f_s$ ): bekerja pada saat benda diam (berhenti) dengan persamaan:

$$f_s = N \cdot \mu_s$$

gaya gesek kinetik ( $f_k$ ): bekerja pada saat benda bergerak dengan persamaan:

$$f_k = N \cdot \mu_k$$

Nilai  $f_k < f_s$ .

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Seseorang bermassa 50 kg berdiri di dalam lift yang diam. Jika percepatan gravitasi bumi adalah  $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ , berapakah gaya tekan kaki orang tersebut pada alas lift itu?
 

A. 750 Newton	D. 750 Dyne
B. 500 Newton	E. 500 Dyne
C. 5 Newton	

#### Pembahasan:

Dengan menggunakan persamaan

$$N = mg$$

$$= (50\text{kg}) (10\text{ms}^{-2})$$

$$= 500 \text{ newton}$$

Jadi, gaya tekan kaki orang tersebut pada alas lift adalah **750 newton.**

Jawaban: A

2. Sebuah balok bermassa 1 kg ditempatkan pada bidang miring licin. Sudut kemiringan bidang dan horizontal adalah  $60^\circ$ . Hitunglah besarnya gaya normal yang bekerja pada balok tersebut.
 

A. 5 N	D. 8 N
B. 6 N	E. 9 N
C. 7 N	

**Pembahasan:**

Diketahui:  $m = 1 \text{ kg}$

$$\theta = 30^\circ$$

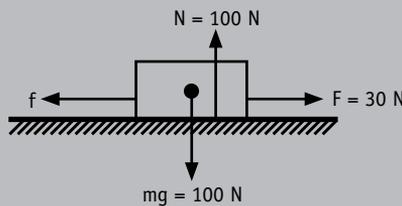
Ditanya:  $N = \dots ?$

Dengan menggunakan persamaan

$$\begin{aligned}
 N &= mg \cos \theta \\
 &= (1 \text{ kg}) \cdot (10 \text{ m/s}^2) \cdot (\cos 60) \\
 &= 5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jawaban: A

3. Benda dengan massa 10 Kg berada di bidang mendatar kasar ( $\mu_s = 0,40 ; \mu_k = 0,35$ )  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Bila benda diberi gaya horizontal yang tetap sebesar 30 N, Besarnya gaya gesekan yang bekerja pada benda tersebut adalah ....



- A. 20 N                      D. 35 N  
 B. 25 N                      E. 40 N  
 C. 30 N

**Pembahasan:**

- $f_s \text{ Maks} = \mu_s N = 0,40(100) = 40 \text{ N}$

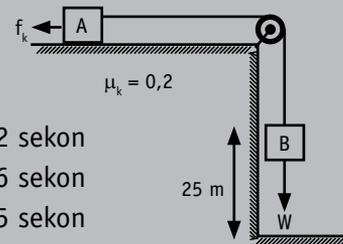
Karena  $F < f_s \text{ maks}$ . maka benda masih diam.

- Menentukan besar  $f_s$  yang bekerja pada benda, gunakan Hukum I Newton untuk benda diam:

$$\begin{aligned}
 \sum F_x &= 0 \rightarrow F - f_s = 0 \\
 \rightarrow f_s &= F = 30 \text{ N}
 \end{aligned}$$

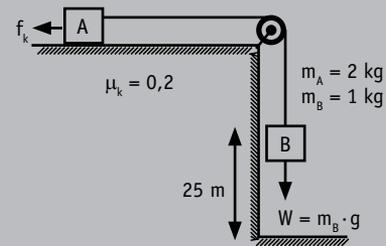
Jawaban: C

4. Balok A massanya 2 kg, balok B massanya 1 kg. Balok B mula-mula diam, dan bergerak ke bawah sehingga menyentuh lantai setelah selang waktu ....



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

**Pembahasan:**



Percepatan sistem:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{\sum F}{m_{total}} = \frac{m_B g - f_k}{m_A + m_B} \\
 &= \frac{m_B g - \mu_k \cdot m_A \cdot g}{m_A + m_B} \\
 &= \frac{1 \cdot 10 - (0,2) \cdot 2 \cdot 10}{2 + 1} \\
 &= \frac{10 - 4}{3} = 2 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

- Menentukan waktu yang dibutuhkan agar B tiba di tanah, digunakan rumus GLBB sebagai berikut:

$$S = \frac{1}{2} at^2$$

$$25 = \frac{1}{2} 2t^2$$

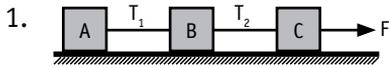
$$t^2 = 25$$

$$t = 5 \text{ sekon}$$

Jawaban: C

## LATIHAN SOAL BAB 3

Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

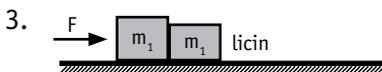


Jika  $F = 150 \text{ N}$ ,  $m_A = 10 \text{ kg}$ ,  $m_B = 20 \text{ kg}$ ,  $m_C = 30 \text{ kg}$  dan koefisien gesekan kinetik masing-masing benda dengan lantai 0,1, maka besar tegangan tali  $T_1$  dan  $T_2$  adalah ....

- A. 25 N dan 75 N
- B. 30 N dan 80 N
- C. 10 N dan 40 N
- D. 20 N dan 60 N
- E. 50 N dan 125 N

2. Sebuah roket meluncur ke atas vertikal dengan percepatan  $4 \text{ m/s}^2$ , jika gravitasi di tempat itu  $10 \text{ m/s}^2$  dan massa roket dianggap tetap 1 ton, maka gaya dorong roket tersebut adalah:

- A. 14.000 newton
- B. 10.000 newton
- C. 6.000 newton
- D. 4.000 newton
- E. 2.000 newton



Dua buah balok saling diimpitkan dan terletak pada lantai mendatar yang licin jika  $m_1 = 2 \text{ kg}$  dan  $m_2 = 1 \text{ kg}$ . Serta sebuah gaya mendatar  $F = 3 \text{ N}$  dikerjakan pada balok  $m_1$  dan  $m_2$ . Maka....

- (1) percepatan menggeser kedua balok  $m_1$  dan  $m_2$  sebesar  $1 \text{ m/s}^2$

(2) gaya kontak antara balok  $m_1$  dan  $m_2$  sebesar 1 N

(3) gaya kontak antara balok  $m_1$  dan  $m_2$  bila gaya  $F$  bekerjanya pada balok  $m_2$ , sebesar 2 N

yang benar adalah.....

- A. (1)                      D. (1,2)
- B. (2)                      E. (1,2,3)
- C. (3)

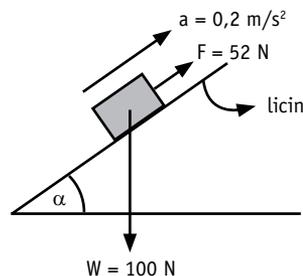
4. Balok massa 12 kg berada pada bidang miring licin yang sangat panjang dengan sudut kemiringan  $30^\circ$  terhadap horizontal,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Pada balok bekerja gaya 84 newton selama 10 sekon sejajar bidang arah ke atas, maka jarak yang ditempuh sampai gerakannya membalik adalah ....

- A. 140 meter              D. 60 meter
- B. 100 meter             E. 40 meter
- C. 80 meter

5. Sebuah elevator massanya 400 kg bergerak vertikal ke atas dari keadaan awal diam dengan percepatan konstan  $2 \text{ m/s}^2$ , jika percepatan gravitasi bumi  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  maka besarnya gaya tegangan tali penarik elevator tersebut adalah...

- A. 400                      D. 3.920
- B. 800                      E. 4.720
- C. 3.120

- 6.

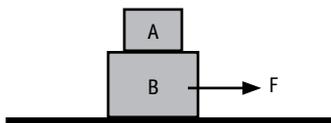


Gambar di atas memperlihatkan gerak balok, seberat  $W=100\text{ N}$  pada suatu bidang miring licin dalam pengaruh tarikan gaya  $F = 52\text{ N}$  sejajar bidang alas, ke arah puncak bidang jika  $g = 10\text{ m/s}^2$ . Maka besar sudut  $\alpha$  sama dengan...

- A.  $\pi/3$  radian
- B.  $\pi/2$  radian
- C.  $\pi/4$  radian
- D.  $\pi/6$  radian
- E.  $\pi/8$  radian

7. Apabila sebuah benda bergerak dalam bidang datar yang kasar maka selama gerakannya ....
- A. gaya normal tetap dan gaya gesekan berubah
  - B. gaya normal berubah dan gaya gesekan tetap
  - C. gaya normal dan gaya gesekan kedua-duanya tetap
  - D. gaya normal dan gaya gesekan kedua-duanya berubah
  - E. gaya normal dan gaya gesekan kadang-kadang berubah dan tetap bergantian

8. Kedua balok tersebut ditumpuk di atas lantai licin. Gaya gesekan maksimum antara kedua balok adalah  $6\text{ N}$ . Jika  $g = 10\text{ m/s}^2$  maka besar  $F$  maksimum agar kedua balok tetap bergerak bersama-sama adalah: ( $W_A = 25\text{ N}$ ,  $W_B = 20\text{ N}$ )

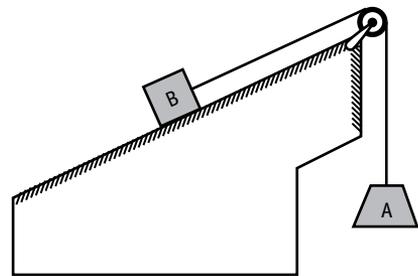


- A.  $24\text{ N}$
- B.  $30\text{ N}$
- C.  $50\text{ N}$
- D.  $40\text{ N}$
- E.  $60\text{ N}$

9. Sebuah sepeda membelok pada tikungan datar berjari-jari  $10\text{ m}$ . Jika koefisien gesek ban dengan jalan  $0,25$  dan  $g = 10\text{ m/s}^2$ , maka laju sepeda terbesar agar tidak tergelincir adalah..... $\text{m/s}$ .

- A.  $12$
- B.  $5$
- C.  $2,5$
- D.  $2,0$
- E.  $1,5$

10.



$m_A = 4\text{ kg}$ ,  $m_B = 10\text{ kg}$  Benda A dan B dihubungkan dengan tali yang massanya dapat diabaikan melalui katrol licin. Jika koefisien gesekan bidang  $\frac{1}{4}$  dan sudut kemiringan  $\alpha$  ( $\text{tg } \alpha = \frac{3}{4}$ ) maka: ( $g = 10\text{ m/s}^2$ )

- A. benda A bergerak ke bawah
- B. benda A bergerak ke atas
- C. benda A tetap diam
- D. benda A pada saat akan bergerak
- E. tidak dapat dihitung

**A. Usaha**

Jika sebuah benda mendapat gaya  $F$  dengan arah membuat sudut  $\theta$  terhadap garis horizontal kerja yang diberikan oleh gaya (jika  $F$  dan  $\theta$  konstan) selama benda bergerak di atas bidang sejauh  $\Delta s$  adalah

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

**1. Kerja oleh gaya yang berubah**

Jika gaya yang bekerja pada benda merupakan fungsi posisi  $f(x)$  dan dalam waktu  $dt$  dan benda berpindah sejauh  $dx$ .

$$dw = f dx$$

Kerja total yang dilakukan

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx = f(x_2 - x_1)$$

Menurut hukum hooke adalah pegas akan melakukan gaya yang menariknya dan arahnya selalu berlawanan dengan arah pergeseran  $F = - Kx$

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx = \int_{x_1}^{x_2} Kx dx = \frac{1}{2} Kx^2 - \frac{1}{2} Kx^2$$

**2. Kerja dan Energi Kinetik**

Bila pada sebuah benda bekerja sejumlah gaya yang menyebabkan benda tersebut bergeser menurut arah gayanya

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx$$

Hukum Newton II  $F = m \cdot a$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} v \\
 &= \frac{dv}{dx} v \\
 w &= \int_{x_1}^{x_2} F dx = \int_{x_1}^{x_2} m \cdot a dx = \int_{x_1}^{x_2} m \cdot v \frac{dv}{dx} dx \\
 &= \int_{x_1}^{x_2} m \cdot v dv = \int_{v_1}^{v_2} m \cdot v dv \\
 &= \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2
 \end{aligned}$$

### 3. Kerja dan Energi Potensial

Kerja dan energi dapat diartikan bahwa energi-energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja satu bentuk lain dari energi, menyatakan kemampuan melakukan kerja karena posisi atau letak benda, energi seperti ini disebut energi potensial.

Energi potensial pegas  $\rightarrow E_p = \frac{1}{2} kx^2$

Energi potensial gravitasi  $\rightarrow E_p = m \cdot g \cdot h$

### 4. Hukum Kekekalan Energi

Peristiwa pelemperan batu keatas didapatkan bahwa bila yang bekerja hanya gaya konservatif (gaya gravitasi).  $\Delta E_k = -\Delta E_p$

$E_{k_2} - E_{k_1} = - (E_{p_2} - E_{p_1})$

$E_{k_2} + E_{p_2} = E_{p_1} + E_{k_1} \rightarrow$  Hukum kekekalan energi

## B. DAYA

Daya didefinisikan sebagai laju usaha yang dilakukan terhadap waktu.

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{F \cdot s}{t}$$

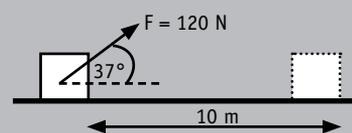
Daya sesaat

$$P = \frac{dw}{dt}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

- Sebuah balok ditarik gaya  $F = 120$  N yang membentuk sudut  $37^\circ$  terhadap arah horizontal seperti diperlihatkan pada gambar berikut ini.

Jika balok bergeser sejauh 10 m, tentukan usaha yang dilakukan pada balok!



- A. 960 Joule      D. 970 Joule  
 B. 680 Joule      E. 430 Joule  
 C. 1000 Joule

**Pembahasan**

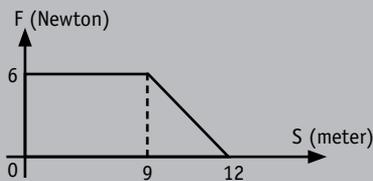
$$W = F_s \cos \alpha$$

$$W = 120 \times 10 \times \cos 37^\circ$$

$$W = 960 \text{ Joule}$$

Jawaban: A

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



Tentukan besarnya usaha hingga detik ke-12?

- A. 43 Joule      D. 73 Joule  
 B. 53 Joule      E. 83 Joule  
 C. 63 Joule

**Pembahasan**

Usaha = Luasan antara garis grafik F-S dengan sumbu S, untuk grafik di atas luasan berupa trapesium

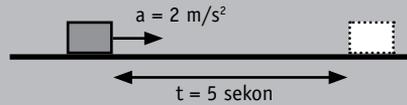
$$W = \frac{1}{2} (12 + 9) \times 6$$

$$W = \frac{1}{2} (21)(6)$$

$$W = 63 \text{ joule}$$

Jawaban: C

3. Balok bermassa 2 kg berada di atas permukaan yang licin dipercepat dari kondisi diam hingga bergerak dengan percepatan  $2 \text{ m/s}^2$ .



Tentukan usaha yang dilakukan terhadap balok selama 5 sekon

- A. 50 Joule      D. 10 Joule  
 B. 5 Joule      E. 150 Joule  
 C. 100 Joule

**Pembahasan**

Terlebih dahulu dicari kecepatan balok saat 5 sekon, kemudian dicari selisih energi kinetik dari kondisi awal dan akhirnya:

$$V_t = V_0 + at$$

$$V_t = 0 + (2)(5) = 10 \text{ m/s}$$

$$W = \Delta Ek = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2)$$

$$W = \frac{1}{2} (2)(10^2 - 0^2)$$

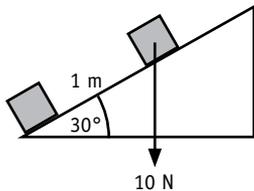
$$W = 100 \text{ Joule}$$

Jawaban: C

## LATIHAN SOAL BAB 4

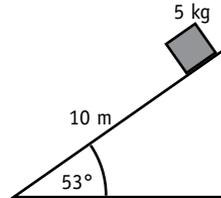
### Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

1. Benda seberat 10 N berada pada bidang miring yang licin dengan sudut kemiringan  $30^\circ$ . Bila benda meluncur sejauh 1 m, maka usaha yang dilakukan gaya berat adalah....



- A.  $10 \sin 30^\circ$  joule  
 B.  $10 \cos 30^\circ$  joule  
 C.  $10 \sin 60^\circ$  joule  
 D.  $10 \tan 30^\circ$  joule  
 E.  $10 \tan 60^\circ$  joule
2. Sebuah benda massanya 2 kg jatuh bebas dari puncak gedung bertingkat yang tingginya 100 m. Apabila gesekan dengan udara diabaikan dan  $g = 10 \text{ m s}^{-2}$  maka usaha yg dilakukan oleh gaya berat sampai pada ketinggian 20 m dari tanah adalah....
- A. 200 joule      D. 1.600 joule  
 B. 400 joule      E. 2.400 joule  
 C. 600 joule
3. Sebuah mobil dengan massa 1 ton bergerak dari keadaan diam. Sesaat kemudian kecepatannya  $5 \text{ m s}^{-1}$ . Besar usaha yang dilakukan oleh mesin mobil tersebut adalah...
- A. 1.000 joule      D. 12.500 joule  
 B. 2.500 joule      E. 25.000 joule  
 C. 5.000 joule

4. Sebuah benda massa 5 kg berada di bagian atas bidang miring yang licin.



Jika kecepatan awal benda adalah  $2 \text{ m/s}$  tentukan usaha yang terjadi saat benda mencapai dasar bidang miring, gunakan percepatan gravitasi bumi di tempat itu  $g = 10 \text{ m/s}^2$  dan  $\sin 53^\circ = \frac{4}{5}$  ?

- A. 400 Joule      D. 430 Joule  
 B. 410 Joule      E. 450 Juole  
 C. 440 Joule
5. Sebuah tongkat yang panjangnya 40 cm dan tegak di atas permukaan tanah dijatuhi martil 10 kg dari ketinggian 50 cm di atas ujungnya. Bila gaya tahan rata-rata tanah  $10^3 \text{ N}$ , maka banyaknya tumbukan martil yang perlu dilakukan terhadap tongkat agar menjadi rata dengan permukaan tanah adalah....
- A. 4 kali      D. 8 kali  
 B. 5 kali      E. 10 kali  
 C. 6 kali
6. Sebuah benda meluncur di atas papan kasar sejauh 5 m, mendapat perlawanan gesekan dengan papan sebesar 180 newton. Besarnya usaha dilakukan oleh benda tersebut adalah:

- A. 500 J                      D. 800 J  
 B. 600 J                      E. 900 J  
 C. 700 J
7. Gaya besarnya 60 newton bekerja pada sebuah gaya. Arah gaya membentuk sudut  $30^\circ$  dengan bidang horizontal. Jika benda berpindah sejauh 50 m. Besarnya usaha usaha yang dilakukan benda tsb adalah:  
 A.  $1500\sqrt{3}$                       D.  $6000\sqrt{3}$   
 B.  $3000\sqrt{3}$                       E.  $7500\sqrt{3}$   
 C.  $4500\sqrt{3}$
8. Gaya besarnya 60 newton menyebabkan benda yang massanya 15 kg ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) menyebabkan benda jatuh dari ketinggian 10 m. Besarnya perubahan energi potensial yang ditimbulkan adalah:  
 A. 1500 J                      D. 3000 J  
 B. 2000 J                      E. 3500 J  
 C. 2500 J
9. Berapa besar usaha jika sebuah elevator yang beratnya 2000 N dinaikkan setinggi 80 m Besar energi potensial elevator setelah dinaikkan adalah:  
 A. 100 N                      D. 250 N  
 B. 150 N                      E. 300 N  
 C. 200 N
10. Berapa besar usaha untuk menaikkan 1000 gram setinggi 1,5 m di atas lantai? Besar energi potensial benda pada kedudukan yang baru? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )  
 A. 100 N                      D. 250 N  
 B. 150 N                      E. 300 N  
 C. 200 N

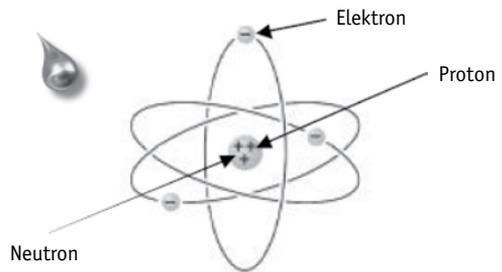


### A. Konsep Listrik Statis

Semua benda terdiri dari susunan atom. Sebuah atom terdiri dari inti atom dan elektron. Ada dua inti atom, yaitu inti atom bermuatan positif (proton) yang tidak dapat pindah dan inti atom tidak bermuatan/ netral(neutron). Elektron bermuatan negatif dan dapat berpindah. Dalam kondisi normal, jumlah elektron seimbang dengan jumlah proton.

Sifat kelistrikan suatu benda akan muncul jika benda mengalami kelebihan atau kekurangan elektron. Jadi sifat kelistrikan suatu benda dipengaruhi oleh komposisi jumlah elektron dan proton dalam atom

- Benda disebut bermuatan listrik negatif, apabila terjadi kelebihan jumlah elektron
- Benda disebut bermuatan listrik positif, apabila terjadi kekurangan jumlah elektron
- Benda tidak bermuatan listrik (netral), apabila jumlah proton dengan elektron seimbang.



#### 1. Gejala listrik statis

Listrik statis adalah listrik yang tidak mengalir. Listrik statis hanya menyala sekejap di satu tempat. Gejala listrik statis terjadi karena adanya perpindahan sejumlah elektron dari satu benda ke benda lain. Barangkali Anda telah memiliki pengalaman tentang listrik statis yakni ketika anda menyisir rambut kering, atau ketika menyetrika baju nilon Pada setiap kasus tadi, suatu benda menjadi "bermuatan" listrik karena proses gosokan dan dikatakan memiliki muatan listrik. Bagaimana hal itu bisa dijelaskan?

## 2. Kerugian dan pemanfaatan listrik statis

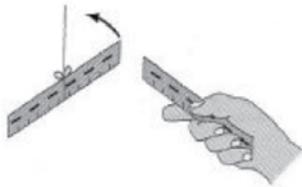
Dalam beberapa hal, listrik statis dapat merugikan. Misalnya

- Tertariknya debu-debu di udara dan menempel pada layar tv atau monitor
- Baju-baju di dalam lemari saling menempel
- Terjadinya petir yang dapat menyambar tempat-tempat tertentu
- Terjadinya kebakaran di pompa bensin

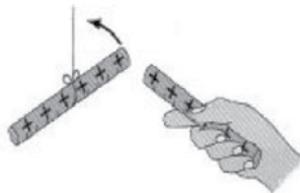
Namun demikian, listrik dapat memberikan keuntungan jika dimanfaatkan dengan baik. Contohnya, pemanfaatan listrik statis pada busi kendaraan, mesin foto copi.

## B. Muatan Listrik dan Hukum Coulumb

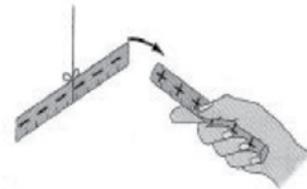
Di antara dua muatan listrik terdapat gaya tarik menarik atau tolak menolak sesuai jenisnya. Dua benda bermuatan listrik sejenis akan saling tolak menolak, sedangkan dua benda bermuatan listrik tidak sejenis akan saling tarik menarik.



(a) Kedua penggaris plastik bermuatan saling menolak



(b) Kedua batang kaca bermuatan saling menolak



(c) Batang kaca dan penggaris plastik bermuatan saling menarik

Berkaitan dengan itu CA Coulomb melakukan penelitian, dari hasil penelitian, dia membuat pernyataan yang dikenal dengan hukum Coulomb. Bunyinya:

Besarnya gaya tarik menarik atau tolak menolak antara dua benda bermuatan listrik sebanding dengan besarnya muatan masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda.

Secara matematis hukum Coulomb dirumuskan sebagai berikut:

$$F \approx k \frac{q_A \cdot q_B}{d^2} \text{ dimana } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Keterangan:

F = gaya tarik menarik atau tolak menolak (N)

$q_A$  = muatan benda 1(C)

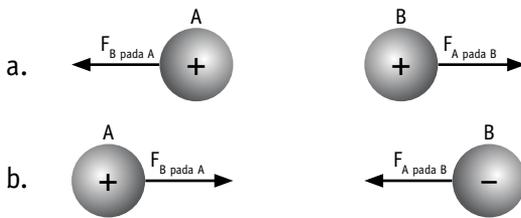
$q_B$  = benda 1(C)

d = jarak antara ke dua benda (m)

$k = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}\text{C}$

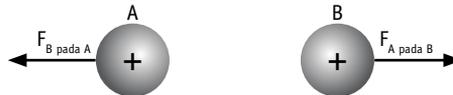
$\epsilon_0$  = permivitas vakum atau udara =  $8,85 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1}\text{m}^2$

Menggambarkan gaya Coulomb:



### C. Medan Listrik

Medan listrik adalah suatu daerah/ ruang di sekitar muatan listrik yang masih dipengaruhi oleh gaya listrik. Gambar berikut menunjukkan dua buah benda yang bermuatan listrik positif, A dan B ; diantara dua benda itu terdapat gaya tolak-menolak listrik,  $F$ . Seperti halnya gaya gravitasi, gaya ini bekerja pada suatu jarak tertentu dan dialami tanpa adanya persinggungan antara A dan B. Sekarang apabila benda B tersebut diambil, maka titik di mana benda B tersebut berada dikatakan berada dalam medan listrik yang disebabkan benda bermuatan positif A. Jadi suatu titik dikatakan berada dalam medan listrik apabila suatu benda yang bermuatan listrik ditempatkan pada titik tersebut akan mengalami gaya listrik.



#### 1. Kuat medan listrik

Besarnya medan listrik disebut "kuat medan listrik". Kuat medan listrik di suatu titik,  $E$  didefinisikan sebagai gaya tiap satuan muatan di titik tersebut. Apabila gaya yang dialami muatan pengujian  $q'$  yang ditempatkan pada titik tersebut adalah  $F$ , maka terdapat hubungan:

$$E = \frac{F}{q'}$$

atau dapat dinyatakan:  $F = q' \cdot E$

Dalam Sistem Internasional (SI), gaya dinyatakan dalam satuan Newton (N), dan muatan dalam satuan coulomb (C), satuan kuat medan listrik adalah Newton per coulomb (N/C).

#### 2. Resultan medan listrik

Medan listrik yang ditimbulkan oleh beberapa muatan listrik, kuat medan listriknya ditentukan dengan cara memadukan vektor-vektor kuat medan listriknya. Secara matematisnya, dapat ditulis sebagai

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots$$

Untuk 2 medan listrik yang membentuk sudut  $\theta$  berlaku:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_1 E_2 \cos \theta}$$

### 3. Garis-garis medan listrik

Untuk memudahkan gambaran tentang medan listrik digunakan konsep garis gaya. Garis gaya adalah garis khayal yang ditarik sedemikian rupa, sehingga di sembarang titik arahnya sama dengan arah medan di titik bersangkutan.

Garis-garis gaya listrik oleh sebuah muatan sering disebut dengan garis-garis medan listrik. Untuk muatan titik positif, arah garis-garis gaya radial keluar menjauhi muatan sumbernya. Untuk muatan titik negatif, arah garis-garis gaya radial keluar mendekati muatan sumbernya.

#### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Dua buah bola timbal yang massanya 4 kg dan 0,64 kg ditempatkan demikian sehingga jarak antara pusatnya masing-masing 0,6 m. dengan berapa newton kedua bola saling tarik menarik  
A.  $44,43 \cdot 10^{-11}$  N  
B.  $45,43 \cdot 10^{-11}$  N  
C.  $46,43 \cdot 10^{-11}$  N  
D.  $47,43 \cdot 10^{-11}$  N  
E.  $48,43 \cdot 10^{-11}$  N

#### Pembahasan:

$$m_1 = 4 \text{ kg}$$

$$m_2 = 0,64 \text{ kg}$$

$$r = 0,6 \text{ m}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^3}{\text{kg}^2}$$

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

$$F = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{4 \cdot 0,64}{(0,6)^2}$$

$$F = 47,43 \cdot 10^{-11} \text{ Newton}$$

Jawaban: D

2. Berapa besarnya gaya tarik antara dua buah muatan 15 coulomb dan 18 coulomb yang berjarak 15 m satu sama lain  
A. 1.08 N  
B.  $1,08 \cdot 10^{-2}$  dyne  
C. 0,18 N  
D. 4,09 N  
E. 2.0009 dyne

#### Pembahasan:

Diketahui:  $Q_1 = 15 \text{ C}$

Ditanya:  $F \dots \dots \dots ?$

$$Q_2 = 18 \text{ C}$$

$$R = 15 \text{ m}$$

Penyelesaian

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{15 \cdot 18}{15^2} = 1.08 \text{ N}$$

Jawaban: A

3. Tentukan percepatan sebuah proton ( $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ ) dalam medan listrik dari kuat medan 500 N/C dan muatan proton 5 mc.  
A.  $14,97 \cdot 10^{27} \text{ m/s}^2$   
B.  $1,497 \cdot 10^{27} \text{ m/s}^2$

- C.  $0,487 \text{ m/s}^2$
- D.  $0,148 \text{ m/s}^2$
- E.  $149,7 \cdot 10^{27} \text{ m/s}^2$

**Pembahasan:**

Diketahui:  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$   
 $E = 500 \text{ N/C}$   
 $q = 5 \text{ mc} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ c}$

Jawab:

$$E = \frac{F}{q} \Leftrightarrow E \cdot q = F$$

$$E \cdot q = m \cdot a \Leftrightarrow a = \frac{E \cdot q}{m}$$

$$a = \frac{500 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{1,67 \cdot 10^{-27}} = 1,497 \cdot 10^{27} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Jawaban: B

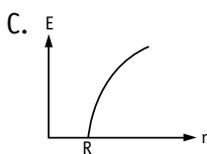
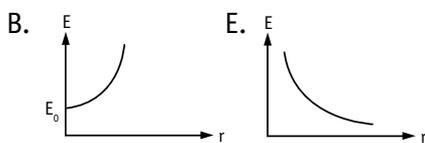
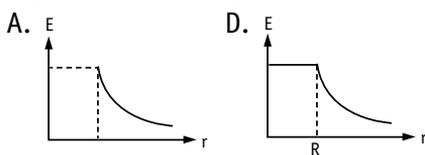
## LATIHAN SOAL BAB 5

**Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat**

1. Pecahan kaca massa 1 mg bermuatan listrik 1 uC dalam keadaan diam di udara karena adanya medan listrik. Maka kuat medan listrik yang menahan kaca adalah....

- A. 10 N/C
- B.  $10^2 \text{ N/C}$
- C.  $10^{-2} \text{ N/C}$
- D.  $10^{-3} \text{ N/C}$
- E.  $2 \cdot 10^{-2} \text{ N/C}$

2. Kuat medan listrik di sekitar bola bermuatan yang berjari-jari R digambarkan oleh grafik:



3. Kuat medan listrik di titik P karena muatan Q adalah E, kemudian muatan Q digeser mendekati P sejauh X hingga kuat medan listrik di P bertambah  $\frac{9}{16} E$ , maka harga X adalah....

- A.  $\frac{4}{5}$  kali jarak semula
- B.  $\frac{3}{4}$  kali jarak semula
- C.  $\frac{3}{5}$  kali jarak semula
- D.  $\frac{1}{4}$  kali jarak semula
- E.  $\frac{1}{5}$  kali jarak semula

4. Kuat medan listrik di titik P karena muatan  $+2,4 \cdot 10^{-8} \text{ Coulomb}$  adalah  $6 \cdot 10^{-3} \text{ N/C}$ , maka jarak titik P dari muatan itu adalah....

- A. 4 cm
- B. 6 cm
- C. 8 cm
- D. 9 cm
- E. 12 cm

5. Satuan kuat medan listrik adalah....

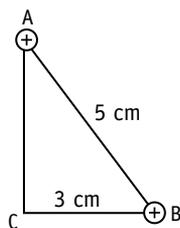
- A. Newton
- B. J/C. m
- C.  $\text{N/C}^2$
- D. C/N
- E.  $\text{N.C}^2\text{m}^{-2}$

6. Kuat medan listrik di titik P yang berjarak 12 cm dari muatan  $3,2 \cdot 10^{-15}$  C adalah....
- $4,8 \cdot 10^{-3}$  N/C
  - $2,4 \cdot 10^{-3}$  N/C
  - $2,0 \cdot 10^{-3}$  N/C
  - $1,8 \cdot 10^{-3}$  N/C
  - $1,6 \cdot 10^{-3}$  N/C

7. Sepotong pecahan kaca yang mempunyai massa 1 mg diberi muatan listrik sebesar  $10^{-6}$  C. Berapakah kuat medan listrik yang diperlukan untuk menahan benda tersebut terapung di udara ? ( $g = 10\text{m/s}^2$ )
- $1,1 \times 10^{-9}$  v/m
  - $9 \times 10^{-8}$  v/m
  - 12 v/m
  - 10 v/m
  - $9 \times 10^{10}$  v/m

8. Diketahui: (lihat gambar)

$q_A = 1,6$  pC  
 dan  $q_B = 1,2$  pC  
 Maka kuat medan listrik di titik C adalah....



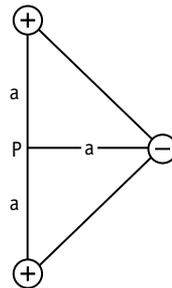
- 15 N/C
- 12 N/C
- 10 N/C
- 9 N/C
- 8,6N/C

9. Sebuah segitiga sama kaki dengan alas  $p$  dan kaki  $r$ , muatan  $+Q$  dan  $-Q$  ditempatkan pada titik sudut alas. Jika kuat medan listrik di titik puncak karena kedua muatan  $k.Q.x$ , maka  $x$  adalah....

- $\frac{1}{p^2}$
- $\frac{p}{r^3}$
- $\frac{1}{r^2}$
- $\frac{1}{p \cdot r^2}$
- $\frac{p}{r^2}$

10. Diketahui: (lihat gambar) Kuat medan listrik di titik P karena ketiga muatan adalah....

- $k \cdot q \cdot a^{-2}$
- $2k \cdot q \cdot a^{-2}$
- $3k \cdot q \cdot a^{-2}$
- $\sqrt{3} \cdot k \cdot q \cdot a^{-2}$
- no



## A. Suhu

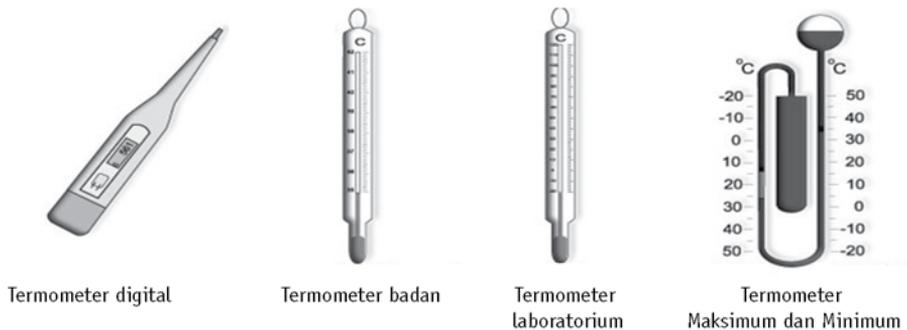
## 1. Pengertian Suhu

Kita dapat merasakan panas atau dinginnya sesuatu dengan indera peraba. Jika kita dekat dengan api maka kita merasa panas, sedangkan bila kita menyentuh es maka kita merasa dingin.

Suhu didefinisikan sebagai derajat panas atau dinginnya suatu benda. Oleh karena itu, untuk menyatakan suhu secara kuantitatif (dengan angka-angka) dibuatlah alat yang disebut termometer.

## 2. Jenis-jenis Termometer

Termometer adalah suatu alat yang dipakai untuk mengukur tinggi rendahnya suhu suatu benda. Termometer bekerja memanfaatkan **sifat termometrik** dari zat. Sifat termometrik suatu zat adalah sifat zat yang dapat berubah terhadap suhu. Contohnya: panjang benda, volume benda, warna benda dan sebagainya.



Termometer digital

Termometer badan

Termometer laboratorium

Termometer Maksimum dan Minimum

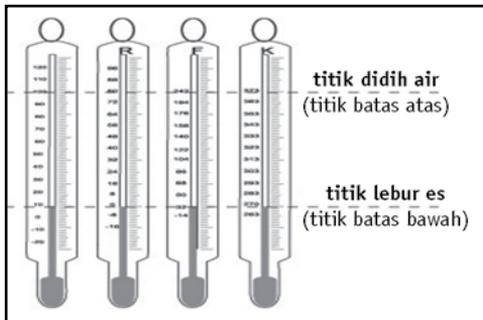
Gambar 1. Jenis-jenis Termometer

### 3. Skala Termometer

Suhu benda selalu ditampilkan dalam bentuk skala. Jenis skala yang dikenal:

- Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ )
- Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ )
- Reamur ( $^{\circ}\text{R}$ ) dan
- Kelvin (K)

Masing-masing skala didasarkan pada wujud air sebagai standarnya, skala bawah pada saat es melebur dan batas atas pada saat air mendidih pada tekanan satu atmosfer.



Termometer	Titik batas bawah	Titik batas atas
Celcius	0	100
Reamur	0	80
Fahrenheit	32	212
Kelvin	273	373

Gambar 2. Titik Lebur dan Titik Didih Termometer

### 4. Konversi Skala Suhu

- ♦ Hubungan Skala Celcius dengan Fahrenheit

$$t_f = \frac{9}{5} \cdot t_c + 32 \quad \text{atau} \quad t_c = \frac{5}{9} \cdot (t_f - 32)$$

- ♦ Hubungan Skala Celcius dengan Reamur

$$t_r = \frac{4}{5} \cdot t_c + 32 \quad \text{atau} \quad t_c = \frac{5}{4} \cdot t_r$$

- ♦ Hubungan Skala Celcius dengan Kelvin

$$t_c = tK - 273 \quad \text{atau} \quad tK = t_c + 273$$

## B. KALOR

Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Besarnya kalor suatu zat menunjukkan berapa besar energi kinetik dari partikel-partikel penyusunnya. Kalor mempunyai satuan Joule (SI) atau kalori. Alat yang digunakan untuk mengukur kalor disebut kalorimeter. Istilah kalor pertama kali diperkenalkan oleh seorang ahli kimia dari Perancis bernama A.L. Lavoisier (1743-1794).

$$1 \text{ Joule} = 0,24 \text{ kal}$$

$$1 \text{ kal} = 4,2 \text{ joule}$$

### 1. Hubungan Kalor dan Massa Benda

Jumlah kalor ( $Q$ ) yang diserap benda untuk menaikkan suhu yang sama adalah sebanding dengan massa benda itu.

Dapat dituliskan:

$$Q \approx m$$

Keterangan:

$Q$  = kalor (joule)

$m$  = massa zat (kg)

### 2. Hubungan Kalor dan Kalor Jenis Zat

Untuk menaikkan suhu yang sama, jumlah massa zat sama, tetapi jenis zat berbeda membutuhkan kalor yang berbeda pula. Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu bergantung pada jenis zat.

Dapat dituliskan:

$$Q \approx c$$

Keterangan:

$Q$  = kalor (joule)

$c$  = kalor jenis zat ( $\text{J/kg}^\circ\text{C}$ )

### 3. Pengaruh Kalor Terhadap Perubahan Suhu Benda

Besarnya kalor ( $Q$ ) yang diberikan pada sebuah benda sebanding dengan kenaikan suhu benda itu ( $\Delta t$ ). Semakin lama pemanasan berarti kalor yang diterima air semakin besar dan suhu air semakin tinggi.

Dapat dituliskan:

$$Q \approx \Delta t$$

Keterangan:

$Q$  = kalor (joule)

$\Delta t$  = perubahan suhu (K) atau ( $^\circ\text{C}$ )

Kalor yang dilepas/diterima oleh zat ketika berubah suhunya, tergantung pada: massa zat, jenis zat, dan perubahan suhu.

Dapat dirumuskan:

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

Keterangan:

$Q$  = kalor (joule)

$m$  = massa zat (kg)

$c$  = kalor jenis zat ( $\text{j/kg}^\circ\text{C}$ )

$\Delta t$  = perubahan suhu (K) atau ( $^\circ\text{C}$ )

### 4. Kalor Laten

Selama perubahan wujud, suhu zat tidak berubah. Kalor yang diterima atau dilepaskan oleh zat tidak digunakan untuk menaikkan suhu tetapi digunakan

untuk mengubah wujud. Kalor yang digunakan untuk mengubah wujud zat ini disebut kalor laten.

Dapat dituliskan:

$$Q = m \cdot L$$

Keterangan

Q = kalor (joule)

m = massa zat (kg)

L = kalor lebur (j/kg)

Macam-macam kalor laten:

1. Kalor didih atau kalor uap adalah banyaknya kalor yang diperlukan oleh 1 kg zat untuk mengubah dari wujud cair menjadi wujud gas pada titik didihnya.
2. Kalor lebur adalah banyaknya kalor yang diperlukan oleh 1 kg zat untuk mengubah dari wujud padat menjadi cair pada titik leburnya.
3. Kalor beku adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud cair menjadi padat pada titik bekunya
4. Kalor embun adalah banyaknya kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat dari wujud uap menjadi cair pada titik embunnya.

### Azas Black

Jika benda bersuhu tinggi dicampur dengan benda bersuhu rendah maka benda yang bersuhu tinggi akan melepas kalor dan benda yang bersuhu rendah menerima kalor. Jumlah kalor yang lepas oleh benda bersuhu tinggi sama dengan jumlah kalor yang diterima benda yang bersuhu rendah.

Atau dapat dituliskan:

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

## 5. Pemuaian Zat

Pemuaian terjadi pada semua wujud benda, apakah benda itu padat, cair, atau gas. Pemuaian terjadi ketika suhu benda dinaikkan. Partikel-partikel benda akan semakin lincah/cepat pergerakannya dan semakin jauh jaraknya jika suhu dinaikkan.

### a. Muai Panjang

Benda yang bentuknya berupa batang dimana ukuran luas dan volume bisa diabaikan, ketika suhu dinaikkan akan mengalami muai panjang.

Panjang setelah pemuaian dirumuskan:

$$L = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t) \quad \text{atau} \quad \Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

Keterangan: L = panjang setelah memuai (m)

$L_0$  = panjang mula-mula (m)

$\alpha$  = koefisien muai panjang ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta t$  = perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta L$  = perubahan panjang (m)

b. Muai Luas

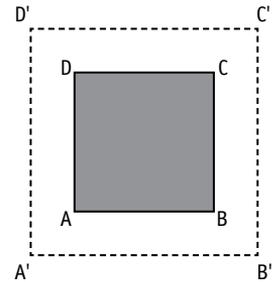
Benda yang berbentuk pipih atau plat mempunyai ukuran luas, bila dipanaskan akan memuai pada arah panjang dan lebar sehingga menyebabkan pertambahan luas.

*Plat logam ABCD jika dipanaskan akan memuai menjadi A' B' C' D'*

Luas setelah pemuaiian dirumuskan:

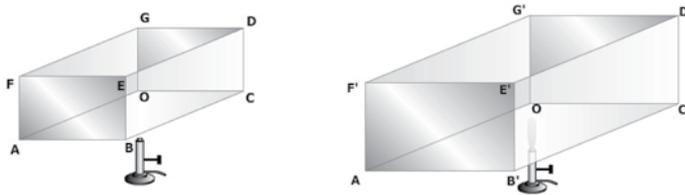
$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta t \quad \text{atau} \quad A = A_0 (1 + \beta \cdot \Delta t)$$

Keterangan:  $A$  = luas setelah memuai ( $\text{m}^2$ )  
 $A_0$  = luas mula-mula ( $\text{m}^2$ )  
 $\beta$  = koefisien muai luas ( $/^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta t$  = perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta A$  = perubahan luas ( $\text{m}^2$ )



c. Muai Volume Zat Padat

Benda yang mempunyai ukuran panjang, lebar, dan tebal (mempunyai volum) bila dipanaskan benda tersebut akan memuai pada semua arah sehingga menyebabkan pertambahan volume.



Gambar 4. Pemuaiian Volume

Volume benda setelah pemuaiian:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t \quad \text{atau} \quad V = V_0 (1 + \gamma \cdot \Delta t)$$

Keterangan:  
 $V$  = volum setelah memuai ( $\text{m}^3$ )  
 $V_0$  = volum mula-mula ( $\text{m}^3$ )  
 $\gamma$  = koefisien muai volum ( $/^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta t$  = perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $\Delta V$  = perubahan volum ( $\text{m}^3$ )

d. Muai Volum Zat Cair

Zat cair memuai jika dipanaskan dan besarnya pemuaian tiap-tiap zat berbeda-beda.

Zat cair memuai menyesuaikan tempatnya, zat cair hanya dikenal mempunyai muai volume tidak ada muai panjang dan muai luas

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Suhu daerah pegunungan menunjukkan  $20^{\circ}\text{C}$ . Jika dinyatakan dalam skala Fahrenheit berapa skala yang ditunjukkan
- A.  $65^{\circ}\text{f}$                       D.  $72^{\circ}\text{f}$   
B.  $78^{\circ}\text{f}$                       E.  $70^{\circ}\text{f}$   
C.  $68^{\circ}\text{f}$

**Jawaban: C**

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $t_c = 20^{\circ}\text{C}$

Ditanya:  $t_f = \dots\dots ?$

$$\text{Jawab: } t_f = \frac{9}{5} \cdot t_c + 32$$

$$t_f = \frac{5}{9} \cdot 20 + 32$$

$$t_f = 36 + 32$$

$$t_f = 68^{\circ}\text{F}$$

Jadi skala pada termometer Fahrenheit menunjukkan  $68^{\circ}\text{F}$

2. Hitung kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu 2000 gram air dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi  $70^{\circ}\text{C}$ , jika diketahui kalor jenis air  $4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$
- A. 420 KJ                      D. 410 KJ  
B. 220 KJ                      E. 340 KJ  
C. 400 KJ

**Jawaban: A**

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $m = 2000 \text{ gram}$   
 $= 2 \text{ kg}$

$$c = 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 70^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$$

$$= 50^{\circ}\text{C}$$

Ditanya:  $Q = \dots ?$

Jawab:

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

$$Q = 2 \text{ kg} \times 4200 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \times 50^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 420000 \text{ J}$$

Jadi kalor yang diperlukan sebanyak 420 kJ.

3. Air sebanyak 200 gram bersuhu  $40^{\circ}\text{C}$  dicampur dengan 500 gram air yang bersuhu  $80^{\circ}\text{C}$ . Berapakah suhu air campuran tersebut ?
- A.  $68,5^{\circ}\text{C}$                       D.  $60,3^{\circ}\text{C}$   
B.  $65,5^{\circ}\text{C}$                       E.  $71^{\circ}\text{C}$   
C.  $70^{\circ}\text{C}$

**Jawaban: A**

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $m_1 = 200 \text{ gram}$

$m_2 = 500 \text{ gram}$

$t_1 = 40^{\circ}\text{C}$

$t_2 = 80^{\circ}\text{C}$

Ditanya:  $t_a = \dots\dots\dots ?$

Jawab:

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

$$m_1 \times c_1 \times \Delta t_1 = m_2 \times c_2 \times \Delta t_2$$

( $c_1$  dan  $c_2$  sama)

$$m_1 \times (t_a - t_1) = m_2 \times (t_2 - t_a)$$

$$200 \times (t_a - 40) = 500 \times (80 - t_a)$$

$$200 \cdot t_a - 8000 = 40000 - 500 \cdot t_a$$

$$700 \cdot t_a = 48000$$

$$t_a = 68,5^{\circ}\text{C}$$

Jadi suhu air campuran  $68,5^{\circ}\text{C}$ .

4. Berapa jumlah kalor yang diperlukan untuk menguapkan 2 kg air pada suhu 100 oC, jika kaolr uap air 2260 kJ/kg ?

- A. 3250 KJ            D. 4250 KJ  
 B. 4020 KJ            E. 4520 KJ  
 C. 5000 KJ

Jawaban: E

**Penyelesaian:**

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

$$L = 2260 \text{ kJ/kg}$$

Ditanya:  $Q = \dots ?$

Jawab:  $Q = m \cdot L$

$$Q = 2 \text{ kg} \times 2260 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = 4520 \text{ kJ}$$

Jadi kalor yang diperlukan sebanyak 4520 kJ

6. Batang tembaga pada suhu 20°C panjangnya 50 cm, kemudian dipanaskan sampai suhunya 100°C. Jika koefisien muai panjang tem-

baga  $1,7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ , berapa panjang batang tembaga sekarang ?

- A. 20,078 cm            D. 49,067 cm  
 B. 50,068 cm            E. 45,25 cm  
 C. 30,13 cm

Jawaban: C

**Penyelesaian:**

Diketahui:  $t_1 = 20^\circ\text{C}$

$$L_o = 50 \text{ cm}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 0,000017 / ^\circ\text{C}$$

Ditanya:  $L = \dots ?$

Jawab:

$$\Delta t = 100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C}$$

$$L = L_o (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

$$L = 50 \text{ cm} (1 + 0,000017 / ^\circ\text{C} \times 80^\circ\text{C})$$

$$L = 50 \text{ cm} (1 + 0,00136)$$

$$L = 50,068 \text{ cm}$$

Jadi panjang batang tembaga sekarang adalah 50,068 cm.

## LATIHAN SOAL BAB 6

**Pilihlah salah satu jawaban yang benar**

1. Panjang batang rel kereta api masing-masing 10 meter, dipasang pada suhu 20°C. Diharapkan pada suhu 30°C rel tersebut saling bersentuhan. Koefisien muai rel batang rel kereta api  $12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ . Jarak antara kedua batang yang diperlukan pada suhu 20°C adalah...

A. 3,6 mm            D. 0,8 mm  
 B. 2,4 mm            E. 0,6 mm  
 C. 1,2 mm

2. Banyaknya kalor untuk menurunkan suhu 4 kg zat cair yang mempunyai kalor jenis 500 J/kg K dari 40°C menjadi 20°C adalah...

- A. 20 kJ            D. 50 kJ  
 B. 30 kJ            E. 60 kJ  
 C. 40 kJ

3. Suatu benda padat yang massanya 2 kg dipanaskan dari suhu 30°C menjadi 100°C, memerlukan kalor sebanyak  $7 \times 10^5$  Joule. Kalor jenis benda tersebut adalah ...

- A. 400 J/kg K      D. 1000 J/kg K  
B. 500 J/kg K      E. 5000 J/kg K  
C. 700 J/kg K
4. Suhu adalah besaran yang menunjukkan ukuran ...  
A. Temperatur  
B. Derajat Panas  
C. Energi  
D. derajat energi  
E. usaha
5. Diantara perubahan yang disebabkan perubahan suhu, yang dipakai untuk pengukuran suhu ialah ...  
A. Perubahan wujud  
B. Perubahan kimia  
C. Perubahan fisis  
D. perubahan massa  
E. Perubahan volume
6. Skala Celsius dan Fahrenheit memberikan nilai yang sama jika suhu benda ....  
A.  $0^{\circ}\text{C}$                       D.  $32^{\circ}\text{F}$   
B.  $0^{\circ}\text{F}$                         E.  $18^{\circ}\text{F}$   
C.  $-40^{\circ}\text{C}$
7. Untuk memanaskan  $250\text{ cm}^3$  air dari  $20^{\circ}\text{C}$  menjadi  $30^{\circ}\text{C}$  diperlukan kalor sebesar ....  
A. 2500 kal                      D. 3500 kal  
B. 2750 kal                      E. 3750 kal  
C. 3000 kal
8. Karena suhunya dinaikkan dari  $0^{\circ}\text{C}$  menjadi  $100^{\circ}\text{C}$  suatu batang baja yang panjangnya 1 m bertambah panjang 1 mm. Pertambahan panjang suatu batang baja yang panjangnya 60 cm bila dipanaskan dari  $0^{\circ}\text{C}$  sampai  $120^{\circ}\text{C}$  adalah ....  
A. 0,50 mm                      D. 1,20 mm  
B. 0,06 mm                      E. 2,40 mm  
C. 0,72 mm

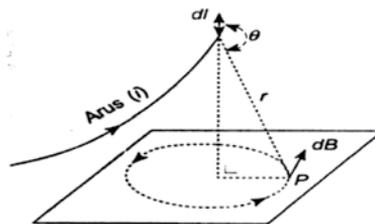
Besaran yang menyatakan tentang medan magnetik disebut induksi magnetik (diberi lambang  $B$ ). Induksi magnetik sering disebut dengan berbagai nama: rapat fluks magnetik, kuat medan magnetik, atau intensitas medan magnetik. Induksi magnetik termasuk besaran vektor, yaitu besaran yang memiliki besar dan arah.

### A. Hukum Biot-Savart

Dua ilmuwan yang pertama kali menyelidiki besar induksi magnetik  $B$  yang ditimbulkan oleh kawat berarus adalah Biot dan Savart. Oleh karena itu, persamaan yang ditemukan oleh keduanya disebut Hukum Biot-Savart, dirumuskan dengan

$$dB = \frac{k \cdot i \cdot dl \sin \theta}{r^2}$$

dimana  $k$  adalah suatu tetapan dan  $\theta$  adalah sudut antara arah arus listrik melalui elemen  $dl$  dan garis penghubung elemen  $dl$  ke titik  $P$  (titik dimana induksi magnetik akan dihitung).



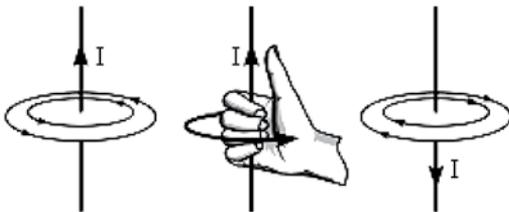
### B. Induksi Magnetik Berbagai Bentuk Kawat Berarus

Dengan menggunakan hukum Bio-Savart dapat diturunkan besar induksi magnetik yang ditimbulkan oleh berbagai bentuk kawat berarus.

Jenis Medan Magnet	Gambar	Rumus
Kawat lurus panjang		$B_p = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ Keterangan: $B$ = medan magnet (T) $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A $a$ = jarak (m)
P adalah titik pusat lingkaran dengan $N$ lilitan dan $a$ adalah jari-jari lingkaran		$B_p = \frac{\mu_0 Ni}{2a}$ Keterangan: $B$ = medan magnet (T) $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A $a$ = jari-jari (m) $N$ = jumlah lilitan
Titik P di pusat dan Q di ujung solenoida		Di Pusat: $B_p = \frac{\mu_0 Ni}{l}$ Di Ujung: $B_q = \frac{\mu_0 Ni}{2l}$
Toroida		$B = \frac{\mu_0 Ni}{2\pi a}$

Arah medan magnetik ditentukan berdasarkan kaidah tangan kanan pertama sebagai berikut.

### 1. Kawat lurus berarus

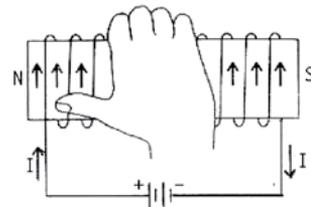


Gambar 7.1 Kaidah tangan kanan pada kawat lurus berarus

Bila kita menggenggam kawat berarus dengan tangan kanan sedemikian sehingga ibu jari menunjukkan arah arus listrik  $i$ , maka arah putaran keempat jari lain yang dirapatkan menunjukkan arah putaran garis-garis gaya magnetik.

### 2. Kawat melingkar berarus

Arah putaran arus listrik sesuai dengan arah putaran keempat jari yang dirapatkan sedangkan arah ibu jari menunjukkan arah garis-garis gaya magnetik.



Gambar 7.2 Kaidah tangan kanan pada kawat melingkar berarus

## C. Gaya Magnetik

### 1. Gaya magnetik yang dialami kawat berarus

Jika suatu kawat berarus berada dalam daerah medan magnetik, maka kawat akan mengalami gaya magnetik, yang sering disebut dengan gaya Lorentz. Secara notasi vektor gaya Lorentz  $F$  merupakan hasil perkalian vektor yang dirumuskan

$$F = B \times i \times l$$

Keterangan:

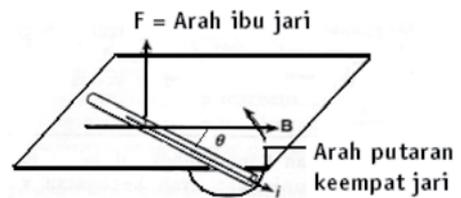
$F$  = gaya Lorentz (N)

$B$  = medan magnet ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ )

$i$  = kuat arus (A)

$l$  = panjang kawat (m)

Arah gaya Lorentz  $F$  dapat ditentukan dengan kaidah putaran tangan kanan. Putar keempat jari yang dirapatkan dengan arah dari ujung panah  $l$  (arah arus) ke ujung panah  $B$ , maka arah ibu jari menunjuk menyatakan arah gaya Lorentz  $F$ .



Gambar 7.3 Kaidah putaran tangan kanan untuk menentukan arah gaya Lorentz

Besar gaya Lorentz  $F$  dinyatakan dengan persamaan:

$$F = dB \sin \theta$$

Keterangan:

$F$  = Gaya Lorentz (N)

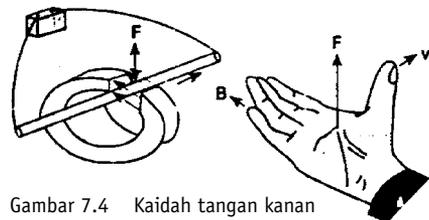
$\theta$  = sudut antara arah arus  $i$  dan arah induksi magnetik  $B$

$B$  = medan magnet ( $\text{Wb}/\text{m}^2$ )

Jika arah arus dalam kawat sejajar dengan arah medan magnetik  $\rightarrow \theta = \angle(i, B) = 0^\circ \rightarrow \sin \theta = \sin 0^\circ = 0 \rightarrow F = 0$  dapatlah kita nyatakan kesimpulan sebagai berikut.

*"Setiap kawat berarus yang diletakkan dalam medan magnetik hampir pasti mengalami gaya Lorentz. Kawat berarus tidak mengalami gaya Lorentz hanya jika arus melalui kawat sejajar dengan arah medan magnetik."*

Untuk memudahkan mengingat arah gaya Lorentz  $F$  digunakan kaidah tangan kanan kedua sebagai berikut. Bila tangan kanan dibuka dengan ibu jari menunjuk arah arus dan keempat jari lain yang dirapatkan menunjuk arah



Gambar 7.4 Kaidah tangan kanan kedua untuk menentukan arah gaya Lorentz

induksi magnetik  $B$ , maka arah telapak tangan menekan menunjukkan arah gaya Lorentz  $F$ .

## 2. Gaya magnetik yang dialami muatan yang bergerak

Jika muatan listrik bergerak dengan kecepatan tertentu memotong daerah bermedan magnetik, maka muatan tersebut akan mengalami gaya magnetik (juga disebut gaya Lorentz). Secara notasi vektor, gaya Lorentz  $F$  dirumuskan dengan persamaan:

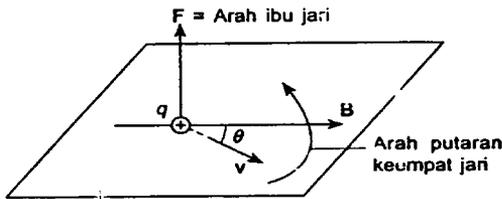
$$\mathbf{F} = q \times \mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

Keterangan:

$q$  = muatan listrik (C)

$v$  = vektor kecepatan (m/s)

Arah gaya Lorentz yang dialami muatan bergerak mirip (analogi) dengan yang dialami kawat berarus, yaitu ditentukan dengan kaidah putaran tangan kanan. Putar keempat jari yang dirapatkan dari arah ujung  $v$  ke ujung  $B$ , maka arah ibu jari menunjuk menyatakan arah gaya Lorentz  $F$  yang dialami oleh partikel bermuatan listrik.



Gambar 7.5 Kaidah tangan kanan menentukan arah gaya Lorentz yang dialami partikel bermuatan positif yang bergerak.

Untuk muatan listrik negatif, misalnya elektron, arah gaya Lorentz  $F$  akan berlawanan arah dengan arah gaya yang didapat dengan menggunakan kaidah putaran tangan kanan. Besar gaya Lorentz  $F$  yang dialami partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnetik adalah:

$$F = qvB \sin \theta$$

Dengan  $\theta$  adalah sudut antara vektor kecepatan  $v$  dan vektor induksi magnetik  $B$  (lihat gambar 5.5)

Dua kasus khusus:

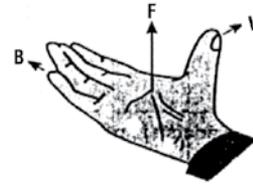
- a. Vektor kecepatan  $v$  tegak lurus vektor induksi magnetik  $B$   
 $\theta = \angle (v, B) = 90^\circ \Leftrightarrow \sin \theta = \sin 90^\circ = 1$ , sehingga besar gaya Lorentz  $F$  adalah:

$$F = qvB$$

- b. Kecepatan  $v$  sejajar dengan induksi magnetik  $B$   
 $\theta = \angle (v, B) = 0^\circ \Leftrightarrow \sin \theta = \sin 0^\circ = 0$ , sehingga  $F = 0$ . Dengan demikian, partikel bermuatan yang bergerak sejajar dengan arah induksi magnetik tidak mengalami gaya Lorentz.

Untuk memudahkan mengingat arah gaya Lorentz,  $F$ , yang dialami muatan bergerak, digunakan kaidah tangan kanan kedua sebagai berikut.

Bila tangan kanan dibuka dengan ibu jari menunjuk arah kecepatan  $v$  dan keempat jari lain yang dirapatkan menunjuk arah induksi magnetik  $B$ , maka arah telapak tangan menunjukkan arah gaya Lorentz  $F$  yang dialami partikel bermuatan positif. Arah gaya Lorentz yang dialami partikel bermuatan negatif, misalnya elektron, akan berlawanan arah dengan arah gaya yang diperoleh dari kaidah tangan kanan kedua ini.



Gambar 7.6 Kaidah tangan kanan kedua untuk menemukan arah gaya Lorentz yang dialami partikel bermuatan positif yang bergerak.

### 3. Lintasan yang ditempuh oleh partikel bermuatan dalam medan magnetik

Lintasan yang ditempuh oleh partikel bermuatan dalam medan magnetik bergantung pada sudut yang dibentuk oleh arah kecepatan dengan arah medan magnetik.

- Garis lurus (tidak dibelokkan) → Jika arah kecepatan partikel bermuatan sejajar (searah atau berlawanan arah) dengan medan magnetik. Itu karena partikel tidak mengalami gaya Lorentz ( $F = 0$ ).
- Lingkar → Jika arah kecepatan partikel tegak lurus terhadap medan magnetik. Jari-jari lingkaran  $R$  dinyatakan oleh

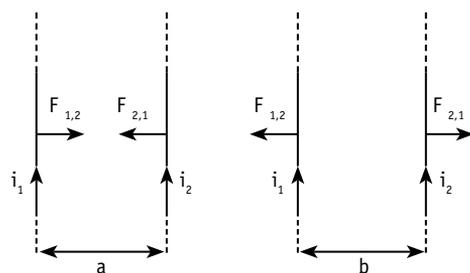
$$R = \frac{mv}{Bq}$$

Dengan  $m$  = massa partikel (kg),  $v$  = kelajuan partikel (m/s),  $B$  = induksi magnetik (T),  $q$  = muatan partikel (C).

- Spiral (heliks) → Jika arah kecepatan tidak sejajar dan tidak tegak lurus terhadap medan magnetik. Sumbu putar spiral sejajar dengan arah medan magnetik  $B$  dan arah gerak maju spiral sesuai dengan komponen kecepatan yang sejajar dengan  $B$ .

### 4. Gaya antar dua kawat sejajar berarus

Dua kawat panjang sejajar berarus akan tarik menarik jika dialiri arus yang searah, dan tolak menolak jika dialiri arus yang berlawanan.



Gambar 5.7 Dua kawat panjang sejajar

Besar gaya tarik menarik atau tolak menolak persatuan panjang kawat  $F/L$ , dinyatakan oleh

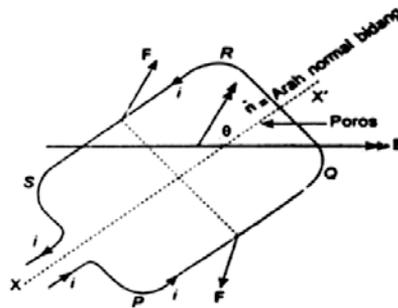
$$\frac{F_{1,2}}{L_1} = \frac{F_{2,1}}{L_2} = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{2\pi a}$$

Dengan  $L_1$  = panjang kawat berarus  $i_1$ ,  $L_2$  = panjang kawat berarus  $i_2$  dan  $a$  = antar kawat. Jika arus listrik melalui kedua kawat semua sama besarnya ( $i_1 = i_2 = i$ ) maka diperoleh persamaan:

$$\frac{F_{1,2}}{L_1} = \frac{F_{2,1}}{L_2} = \frac{\mu_0 i^2}{2\pi a}$$

### 5. Momen kopel pada suatu kumparan berarus

Jika kumparan PQRS berarus  $i$  diletakkan dalam medan magnetik  $B$ , maka sesuai dengan kaidah tangan kanan kedua sisi RS dan QP akan mengalami pasangan gaya yang sejajar, sama besar tetapi berlawanan arah, yang disebut kopel seperti ditunjukkan pada gambar 5.8.



Gambar 5.8 Kumparan berarus dalam medan magnetik

Kopel ini akan menimbulkan momen kopel terhadap poros putar  $xx'$  sehingga kumparan akan berputar (prinsip kerja motor dan galvanometer). Besar momen kopel  $M$  (Nm) dinyatakan sebagai berikut.

$$M = NiBA \sin \theta$$

Keterangan:

$N$  = jumlah lilitan kumparan

$i$  = kuat arus melalui kumparan (A)

$B$  = indeks magnetik yang dipotong oleh kumparan ( T atau  $\text{Wb m}^{-2}$ )

$A$  = luas bidang kumparan ( $\text{m}^2$ )

$\theta$  = sudut antara arah medan magnetik  $B$  dengan arah normal bidang kumparan  $n$

Kumparan,  $A$  adalah luas bidang kumparan sehingga jika kumparan berbentuk:

Persegi panjang  $\rightarrow A = \text{panjang} \times \text{lebar}$

Bujur sangkar  $\rightarrow A = \text{sisi} \times \text{sisi}$

Lingkar  $\rightarrow A = \pi r^2$  dengan  $r = \text{jari - jari}$

## D. Sifat Magnetik Bahan

Sifat magnetik bahan sebagian besar berasal dari gerak orbital electron dan besaran internal yang dikenal sebagai spin. Akibat adanya gerak orbital electron, umumnya atom-atom memiliki moment dipol magnet per magnet. Besaran ini dan spin electron sangat berperan dalam menentukan sifat magnetik bahan. Bahan diamagnetik sifatnya memperkecil, bahan para magnetik sedikit memperbesar, dan bahan peromagnetik sangat memperbesar induksi magnetik didalam solenoida. Perbedaan sifat-sifat bahan tergantung pada permeabilitas masing-masing.

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

Keterangan:

$\mu_r$  = permeabilitas relatif

$\mu_0$  = permeabilitas bahan

$\mu$  = permeabilitas hampa udara

$$H = \frac{B}{\mu}$$

Keterangan:

H = intensitas medan magnet  $\left(\frac{A}{m}\right)$

B = induksi magnet  $\left(\frac{wb}{m^2}\right)$

$\mu$  = permeabilitas hampa udara

## E. Hukum Faraday dan Lenz

Jika sebuah batang magnet permanent digerakkan mendekati kumparan, ternyata selama gerak tersebut, jarum galvanometer menyimpang pada arah tertentu, dan ketika batang magnet digerakkan menjauhi kumparan, jarum galvanometer menyimpang dalam arah sebaliknya. Dapat diambil kesimpulan, bahwa gerak relatif antara batang magnet dan kumparan menimbulkan arus dan ggl induksi pada kumparan.

### 1. Hukum Faraday

Menyatakan bahwa besar ggl induksi pada suatu kumparan sama dengan laju perubahan fluks magnet yang melalui kumparan terhadap waktu.

$$\epsilon = N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\epsilon = N \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{t_2 - t_1}$$

$$\epsilon = N \frac{\Phi}{t}$$

$\Phi$  = rapat arus gaya / perubahan fluks

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

$$\Phi = B \cdot A$$

⇒ Jika ggl pada kumparan:

$$\epsilon = N \frac{d\Phi}{dt} = N \frac{d \cdot B \cdot A \cdot \cos \theta}{dt}$$

## 2. Hukum Lenz

Menyatakan bahwa arus dan ggl induksi timbul pada suatu arah yang mencegah terjadinya perubahan fluks magnet yang melalui kumparan.

$$\epsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

⇒ gerak kawat penghantar dalam medan magnet:

misal pq digerakkan ke kanan dengan kecepatan tetap, hingga melintasi jarak  $\Delta s$ , pada kawat itu bekerja gaya yang arahnya berlawanan dengan arah gerak kawat sebesar  $F$ , besar usaha dari gaya:

$$w = \Delta s$$

$$w = B \cdot i \cdot L \cdot \Delta s \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$w = i^2 \cdot r \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan (1) = Persamaan (2)

$$B \cdot i \cdot L \cdot \Delta s = i^2 \cdot r \cdot \Delta t$$

$$B \cdot L \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = i \cdot r$$

$$B \cdot L \cdot v = \epsilon$$

$$\epsilon = B \cdot L \cdot v$$

### Contoh soal:

Kawat ABCD diletakkan dalam medan magnet hingga bidangnya tegak lurus garis gaya, dengan panjang 5m dan induksi magnet  $3 \cdot 10^{-2} \text{ wb/m}^2$ , kawat digerakkan dengan kecepatan 20 cm/s. Jika hambatan rantai aliran listrik  $5\Omega$ . Tentukan gaya yang menggerakkan kawat dan usaha yang dilakukan tiap detik!

### Pembahasan:

Diketahui :  $L = 5\text{m}$

Ditanya : (a)  $F$  dan (b)  $w$

$$B = 3 \cdot 10^{-2} \text{ wb/m}^2$$

$$v = 20 \text{ cm/s} = 0,2 \text{ m/s}$$

$$r = 5 \Omega$$

Jawab : (a)  $F = B \cdot i \cdot L$   
 $\therefore \epsilon = B \cdot L \cdot v$   
 $= (3 \cdot 10^{-2})(5)(0,2)$   
 $= 3 \cdot 10^{-2} \text{ volt}$   
 $\therefore \epsilon = i \cdot r$   
 $= 3 \cdot 10^{-2} = i \cdot 5$   
 $i = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{5}$   
 $= 0,006 \text{ A}$   
 $= 6 \cdot 10^{-3} \text{ A}$   
 (b)  $w = i^2 \cdot r \cdot \Delta t$   
 $= (6 \cdot 10^{-3})^2 \cdot (5)(1)$   
 $= (36 \cdot 10^{-6}) \cdot (5)$   
 $= 180 \cdot 10^{-6} \text{ Joule}$

## F. Induksi Magnet

### 1. Induktansi Diri

Arus listrik yang dialirkan melalui kawat menimbulkan medan magnet didalam kumparan karena kuat arusnya tetap, medan magnetnya juga tetap, yang berarti tidak terjadi perubahan garis gaya dan ggl induksi.

$$\epsilon = L \cdot \frac{di}{dt}$$

atau

$$\epsilon = L \cdot \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1}$$

$$\epsilon = L \cdot \frac{i}{t}$$

$\Rightarrow$  induktansi diri pada kumparan

$\Rightarrow$  induksi magnet pada kumparan:

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot n$$

$\Rightarrow$  rapat arus gaya:

$$\Phi = B \cdot A$$

$$= \mu_0 \cdot i \cdot n \cdot A$$

$$\Phi = \mu_0 \cdot i \cdot \frac{N}{l} \cdot A$$

$$\epsilon = N \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\epsilon = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$N = \frac{d\Phi}{dt} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$L = \frac{N \cdot \frac{d\Phi}{dt}}{\frac{di}{dt}} = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \cdot \frac{dt}{di}$$

$$L = N \frac{d\Phi}{di} \quad \Leftrightarrow \quad L = N \frac{\Phi}{i}$$

atau: 
$$L = N \cdot \frac{B \cdot A}{i} = N \cdot \frac{\mu_0 \cdot i \cdot \frac{N}{l} \cdot A}{i} = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot A}{l}$$

## 2. Induktansi Timbal Balik

⇒ Gaya induksi yang disebabkan oleh perubahan kuat arus dalam kumparan:

$$\epsilon = M \cdot \frac{di}{dt} \quad \Leftrightarrow \quad \epsilon = M \cdot \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} \quad \Leftrightarrow \quad \epsilon = M \cdot \frac{i}{t}$$

$\epsilon$  induktansi diri =  $\epsilon$  induktansi timbale balik

$$N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = M \cdot \frac{di}{dt}$$

$$M = \frac{N \cdot \frac{d\Phi}{dt}}{\frac{di}{dt}}$$

$$M = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \cdot \frac{dt}{di}$$

$$M = N \cdot \frac{d\Phi}{di}$$

$$M = N \cdot \frac{\Phi}{i}$$

$$M = N \cdot \frac{B \cdot A}{i}$$

$$M = N \cdot \frac{\mu_0 \cdot i \cdot \frac{N}{l} \cdot A}{i}$$

$$M = \frac{N^2 \cdot \mu_0 \cdot i \cdot A}{l}$$

⇒ Energi induktansi diri:

Untuk mengadakan suatu medan magnet dalam sebuah rangkaian listrik diperlukan energi guna melawan ggl induksi diri.

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2$$

## 3. Transformator

Transformator merupakan alat yang digunakan untuk mengubah tegangan listrik bolak-balik. Alat ini terdiri dari kumparan primer dan sekunder. Kerja dari

alat transformator didasarkan atas pemindahan energi listrik melalui peristiwa induksi pada kumparan primer dan kumparan sekunder.

Kumparan I:

Kumparan II

$$\epsilon_1 = N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\epsilon_2 = N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_2$$

$$N_1 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = N_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\epsilon_1 : \epsilon_2 = N_1 : N_2$$

### Contoh soal:

Sebuah solenoida yang panjangnya 3,5 dm terdiri dari 250 lilitan lingkaran kawat, dengan garis tengah 6cm dan beraliran listrik 6A, di dalam solenoida terdapat teras besi yang permeabilitas relatifnya 400, diluar solenoida terdapat solenoida lain yang sama panjang dan mempunyai 400 lilitan kawat. Berapa ggl induksi di dalam solenoida luar, apabila arus listrik didalam solenoida yang dalam diputuskan dalam waktu 2 detik!

Diketahui:  $l = 3,5\text{dm} = 0,35\text{m}$

Ditanya:  $\epsilon?$

$$N_1 = 250$$

$$S = 6\text{cm} = 0,06\text{m}$$

$$i = 6\text{A}$$

$$\mu_r = 400, t = 2\text{s}$$

$$N_2 = 400$$

Jawab:

$$\epsilon = M \cdot \frac{\Phi}{t}$$

$$\Phi = B \cdot A$$

$$B = \mu_0 \cdot i \cdot n$$

$$= \mu_0 \cdot \mu_r \cdot i \cdot \frac{N}{l}$$

$$= (12,56 \cdot 10^{-7}) \cdot (400) \cdot (6) \cdot \left(\frac{250}{0,35}\right)$$

$$= 215,3142857 \cdot 10^{-2} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2}$$

$$\Phi = B \cdot A$$

$$= B \cdot \pi \cdot r^2$$

$$= (215,3142857 \cdot 10^{-2}) \cdot (3,14) \cdot (0,03)^2$$

$$= 0,60847 \cdot 10^{-2} \text{wb}$$

$$M = N \cdot \frac{\Phi}{i}$$

$$= (400) \cdot \frac{(0,60847 \cdot 10^{-2})}{6} = 40,5646 \cdot 10^{-2}$$

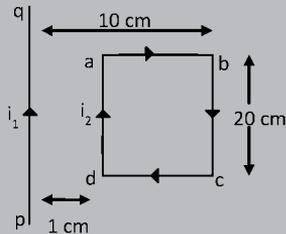
$$\therefore \epsilon = M \cdot \frac{\Phi}{t}$$

$$= (40,5646 \cdot 10^{-2}) \cdot \frac{(0,60847 \cdot 10^{-2})}{2}$$

$$= 12,34117 \cdot 10^{-4} \text{ volt}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

1.



Pada gambar di atas terlukis bahwa kawat panjang lurus  $pq$  dilalui arus listrik sebesar  $i_1 = 10$  A dan kawat empat persegi panjang  $abcd$  dilalui arus  $i_2 = 5$  A. Resultante gaya yang dialami kawat empat persegi panjang  $abcd$  (dalam mikronewton)

- A. 20                      D. 180  
 B. 60                      E. 220  
 C. 120

#### Pembahasan:

$$i_1 = 10 \text{ A} ; i_2 = i_3 = 5 \text{ A} ;$$

$$bc = 20 \text{ cm}$$

- kawat  $ab$  dan  $cd$  tidak mengalami gaya dari kawat  $pq$
- kawat  $abcd$  adalah satu kesatuan sehingga gaya tolak-menolak antar kawat  $ab$  dan

$cd$  saling meniadakan dan gaya tolak-menolak antar kawat  $ad$  dan  $bc$  juga saling meniadakan.

- Gaya total pada kawat  $abcd$  adalah gaya kawat  $pq$  terhadap kawat  $ad$  dan terhadap kawat  $bc$  sebagai berikut:

$$F_{ad} = \frac{\mu_0 i_1 i_2 l}{2\pi a_1}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 5}{2\pi \times 10^{-2}} \times 0,2$$

$$= 2 \times 10^{-4} \text{ N}$$

$$F_{bc} = \frac{\mu_0 i_1 i_3 l}{2\pi a_2}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10 \times 5}{2\pi \times 10 (10^{-2})} \times 0,2$$

$$= 2 \times 10^{-4} \text{ N}$$

$$F_{\text{tot}} = F_{ad} - F_{bc}$$

$$= 1,8 \times 10^{-4} \text{ N}$$

searah dengan  $F_{ad}$

$$F_{\text{tot}} = 1,8 \times 10^{-4} \times 10^6 \mu\text{N}$$

$$= 180 \mu\text{N} \text{ (ke kiri)}$$

#### Jawaban: D

2. Kuat medan magnetik (induksi magnetik) di pusat kawat yang melingkar berjari-jari  $R$  meter dan berarus  $i$  ampere, Bila  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  weber ampere<sup>-1</sup> meter<sup>-1</sup> adalah (dalam tesla)

- A.  $\frac{\mu_0 i}{(2R)}$                       D.  $\frac{\mu_0 i}{(4\pi R)}$   
 B.  $\frac{\mu_0 i}{(2R^2)}$                       E.  $\frac{\mu_0 i}{(4\pi R^2)}$   
 C.  $\frac{\mu_0 i}{(2\pi R)}$

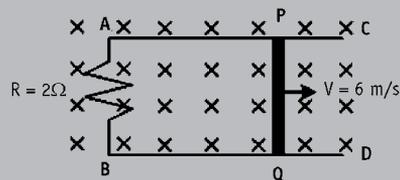
**Pembahasan**

Rumus induksi magnetik di pusat kawat berbentuk lingkaran adalah:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2R} \text{ tesla (dalam SI)}$$

**Jawaban: A**

3. Perhatikan gambar di bawah.



Kawat PQ panjang 20 cm digerakkan ke kanan dengan kecepatan 6 m/s. Jika induksi magnet  $B = 0,5 \text{ Wb m}^{-2}$  maka kuat arus yang melalui hambatan R adalah....

- A. 0,1 A                      D. 0,5 A  
 B. 0,2 A                      E. 0,6 A  
 C. 0,3 A

**Jawab: C**

**Pembahasan**

$$\varepsilon = B l v = 0,5 \times 0,2 \times 6 = 0,6 \text{ volt}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ A}$$

4. Sebuah solenoida yang mempunyai 500 lilitan, dialiri arus searah sehingga timbul fluks magnet sebesar  $2 \cdot 10^{-3}$  weber. Jika induktansi solenoida 0,4 henry maka arus yang mengalir besarnya...  
 A. 0,25 ampere      D. 2,5 ampere  
 B. 1,5 ampere      E. 25 ampere  
 C. 2 ampere

**Jawab: D**

**Pembahasan**

Diketahui:

Solenoida

$$N = 500$$

$$\Delta \phi = 2 \cdot 10^{-3} \text{ weber}$$

$$L = 0,4 \text{ H}$$

$$I = \dots$$

$$L = N \frac{\Delta \phi}{\Delta i}$$

$$0,4 = 500 \times \frac{2 \times 10^{-3}}{i}$$

$$i = 500 \times \frac{2 \times 10^{-3}}{0,4} = 2,5 \text{ A}$$

**LATIHAN SOAL BAB 7**

**Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat**

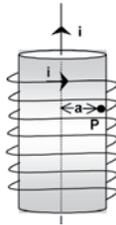
1. Sebuah kawat lurus panjang vertikal dilalui arus listrik arah ke atas. Arah induksi magnet di suatu titik yang berada tepat pada arah titiknya berarah ke....

- A. Utara                      D. Selatan  
 B. Timur                      E. Barat  
 C. Timur Laut

2. Sebuah solenoida panjang  $\ell$  terdiri dari N lilitan kawat. Pada sumbu solenoida terdapat kawat lurus

panjang. Induksi magnet di P oleh kawat lurus adalah **B**

- A.  $4\pi N \cdot a$
- B.  $2\pi N \cdot a$
- C.  $\pi Na$
- D.  $\frac{N \cdot a}{2\pi}$
- E.  $\frac{\pi N \cdot a}{2}$

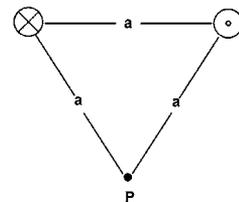


3. Kawat bentuk lingkaran terdiri dari 100 lilitan dialiri arus listrik 3 A. Jika kuat medan induksi magnetik yang di pusat lingkaran  $2\pi \times 10^{-4}$  T, maka jejari kawat tersebut adalah.....
- A. 10 cm
  - B. 20 cm
  - C. 30 cm
  - D. 40 cm
  - E. 50 cm
4. Sebuah partikel bermuatan 6 C bergerak melingkar beraturan dengan periode 3 sekon. Jika jejari lintasan partikel  $2\pi$  cm, maka besar induksi magnetik di pusat lintasan sama dengan....
- A.  $10^7$  T
  - B.  $2 \times 10^7$  T
  - C.  $2 \times 10^5$  T
  - D.  $5 \times 10^7$  T
  - E.  $5 \times 10^6$  T
5. Besarnya induksi magnet di suatu titik di sekitar penghantar berarus listrik bergantung pada:
1. kuat arus
  2. panjang penghantar
  3. jarak ke penghantar
- Pernyataan yang benar adalah....
- A. (1), (2), dan (3)
  - B. (1) dan (3)
  - C. (1) dan (2)
  - D. (2) dan (3)
  - E. hanya (3)

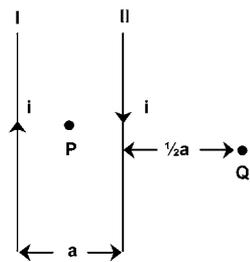
2. Dua kawat sejajar berarus listrik berarah sama  $i_1 = 4A$  dan  $i_2 = 2A$ . Jarak antara kedua kawat 8 cm. Induksi magnet dititik P yang berada di tengah-tengah kedua kawat adalah.... Wb/m<sup>2</sup>.
- A.  $5 \cdot 10^{-5}$
  - B.  $4 \cdot 10^{-5}$
  - C.  $3 \cdot 10^{-5}$
  - D.  $2 \cdot 10^{-5}$
  - E.  $1 \cdot 10^{-5}$

7. Dua kawat lurus dan sejajar masing-masing dialiri arus 6A dan 9A searah. Jarak antara dua kawat 12 cm. Pada jarak berapa dari kawat 6A induksi magnet dititik tersebut menjadi nol ?
- A. 8 cm
  - B. 6 cm
  - C. 5,6 cm
  - D. 4,8cm
  - E. 4,2 cm

8. Dua kawat lurus sejajar dialiri arus yang sama besar tetapi arahnya berlawanan.
- A.  $B\sqrt{3}$
  - B.  $B\sqrt{2}$
  - C. 2B
  - D. B
  - E. 0



9. Dua kawat lurus sejajar berjarak a dialiri arus listrik yang sama besar, tetapi arahnya berlawanan.
- A.  $\frac{3}{2} B$
  - B.  $\frac{2}{3} B$
  - C. B
  - D. 2B
  - E. 3B



10. Besarnya induksi magnet di dalam solenoida bergantung pada:
1. kuat arus yang melalui solenoida
  2. panjang solenoida
  3. banyak lilitan kawat
  4. medium di dalam solenoida
- Pernyataan yang benar adalah....
- A. 1, 2, dan 3
  - B. 1 dan 3
  - C. 2 dan 4
  - D. 4 saja
  - E. 1, 2, 3, dan 4
11. Besar induksi magnet pada suatu titik yang ditimbulkan oleh sebuah penghantar lurus panjang yang dialiri arus listrik:
- (1) sebanding dengan kuat arus listrik
  - (2) sebanding dengan panjang elemen kawat
  - (3) tergantung pada medium dimana elemen kawat berada
  - (4) berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara titik itu ke elemen kawat
- Pernyataan yang benar adalah....
- A. 1, 2 dan 3
  - B. 1 dan 3
  - C. 2 dan 4
  - D. 2 dan 4
  - E. 1, 2, 3 dan 4
12. Sebuah kawat lurus panjang vertikal dilalui arus arah ke atas. Arah induksi magnet di suatu titik yang berada tepat pada arah Tenggara berarah ke...
- A. Utara
  - B. Timur
  - C. Timur Laut
  - D. Selatan
  - E. Barat
13. Suatu solenoida yang panjangnya 2 meter memiliki 800 lilitan dan jari-jari 2 cm. Solenoida itu dialiri arus sebesar 0,5 A. Tentukanlah induksi magnetik pada ujung solenoida ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb A}^{-1}\text{m}^{-1}$ )
- A.  $8\pi \times 10^{-7} \text{ Wb m}^{-2}$
  - B.  $4\pi \times 10^{-5} \text{ Wb m}^{-2}$
  - C.  $8\pi \times 10^{-5} \text{ Wb m}^{-2}$
  - D.  $4\pi \times 10^{-6} \text{ Wb m}^{-2}$
  - E.  $2\pi \times 10^{-4} \text{ Wb m}^{-2}$
14. Dalam solenoida panjang mengalir arus yang tetap. Besar induksi magnetik di titik pusatnya adalah B. Jika solenoida diregangkan sehingga panjangnya dua kali semula, maka induksi magnetik di titik pusatnya menjadi....
- A.  $\frac{B}{\sqrt{2}}$
  - B.  $\frac{B}{2}$
  - C. B
  - D.  $B\sqrt{2}$
  - E. 2B
15. Dua buah kawat lurus panjang masing-masing dialiri arus searah yang besarnya 6 A dan 9 A. Kedua kawat terpisah pada jarak 15 cm. Pada jarak berapa dari kawat 6 A, induksi magnet di titik tersebut bernilai nol....
- A. 3 cm
  - B. 5 cm
  - C. 6 cm
  - D. 8 cm
  - E. 10 cm
16. Kumparan memiliki 100 lilitan dalam 0,2 detik terjadi perubahan fluks magnet dari  $2 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$  menjadi  $10^{-2} \text{ Wb}$ . GGL induksi yang terjadi:

- A. 0,05 V            D. 5 V  
 B. 0,5 V            E. V  
 C. 1,10 V

17. Agar ggl induksi yang dihasilkan generator menjadi lebih besar dua kali dari semula, maka yang harus dilakukan:

- A. Periode putaran dijadikan  $\frac{1}{2}$  kali.  
 B. Frekuensi putaran dijadikan  $\frac{1}{2}$  kali.  
 C. Jumlah lilitan dijadikan 4 kali.  
 D. Diameter kawat dijadikan 2 kali.  
 E. Luas penampang dan jumlah lilitan dijadikan 2 kali.

18. Induktansi solenoida dapat diperbesar dengan cara:

1. Menambah jumlah lilitan.
2. Memperbesar diameter penampang solenoida.
3. Memperpendek solenoida.
4. Memasukkan besi ke dalam solenoida.

Cara yang benar adalah:

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

19. Solenoida panjang =  $2\pi \cdot 10^{-2}$  m. Luas penampang =  $5 \cdot 10^{-4}$  m<sup>2</sup> terdiri atas lilitan dan dialiri arus 2A. Energi yang tersimpan adalah....

- A.  $0,9 \cdot 10^{-3}$  J      D.  $6,0 \cdot 10^{-3}$  J  
 B.  $1,8 \cdot 10^{-3}$  J      E.  $7,5 \cdot 10^{-3}$  J  
 C.  $4,5 \cdot 10^{-3}$  J

20. Jika pada kumparan 1 (lihat gambar) terjadi perubahan 20 A/s, ternyata pada kumparan 2 terjadi ggl induksi 100 V. Besar induktansi silangnya:

- A. 0,2 H            D. 80 H  
 B. 5 H            E. 120 H  
 C. 20 H



Dalam pembahasan yang terdahulu telah diketahui bahwa generator arus bolak-balik sebagai sumber tenaga listrik yang mempunyai GGL:

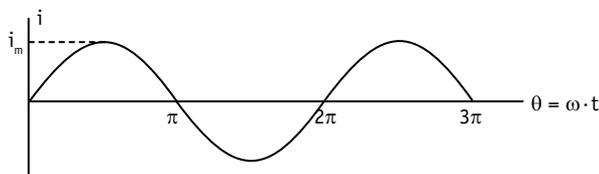
$$E = E_{\max} \sin \omega t$$

Persamaan di atas jelas-jelas menunjukkan bahwa GGL arus bolak-balik berubah secara sinusoidal. Suatu sifat yang menjadi ciri khas arus bolak-balik.

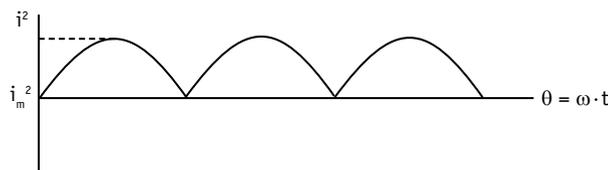
Dalam menyatakan harga tegangan AC ada beberapa besaran yang digunakan, yaitu:

1. Tegangan sesaat: Yaitu tegangan pada suatu saat  $t$  yang dapat dihitung dari persamaan  $E = E_{\max} \sin 2\pi ft$  jika kita tahu  $E_{\max}$ ,  $f$  dan  $t$ .
2. Amplitudo tegangan  $E_{\max}$ : Yaitu harga maksimum tegangan. Dalam persamaan:  $E = E_{\max} \sin 2\pi ft$ , amplitudo tegangan adalah  $E_{\max}$ .
3. Tegangan puncak-kepuncak (Peak-to-peak) yang dinyatakan dengan  $E_{pp}$  ialah beda antara tegangan minimum dan tegangan maksimum. Jadi  $E_{pp} = 2 E_{\max}$ .
4. Tegangan rata-rata (*Average Value*).
5. Tegangan efektif atau tegangan rms (*root-mean-square*) yaitu harga tegangan yang dapat diamati langsung dalam skala alat ukurnya.

Gambar arus dan tegangan bolak-balik.



Gambar arti arus dan tegangan yang dikuadratkan.



## A. Arus dan Tegangan Sinusoidal.

Dalam generator, kumparan persegi panjang yang diputar dalam medan magnetik akan membangkitkan Gaya Gerak Listrik (GGL) sebesar:

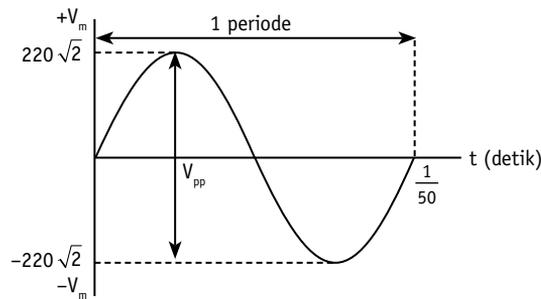
$$E = E_m \sin \omega t$$

Dengan demikian bentuk arus dan tegangan bolak-balik seperti persamaan di atas yaitu:

$$i = I_m \sin \omega t$$
$$v = V_m \sin \omega t$$

$i_m$  dan  $v_m$  adalah arus maksimum dan tegangan maksimum.

Bentuk kurva yang dihasilkan persamaan ini dapat kita lihat di layar Osiloskop. Bentuk kurva ini disebut bentuk sinusoidal gambar.



## B. Harga Efektif Arus Bolak-balik.

Dalam rangkaian arus bolak-balik, baik tegangan maupun kuat arusnya berubah-ubah secara periodik. Oleh sebab itu, untuk penggunaan yang praktis diperlukan besaran listrik bolak-balik yang tetap, yaitu harga efektif.

Harga efektif arus bolak-balik ialah harga arus bolak-balik yang dapat menghasilkan panas yang sama dalam penghantar yang sama dan dalam waktu yang seperti arus searah.

Ternyata besar kuat arus dan tegangan efektifnya masing-masing:

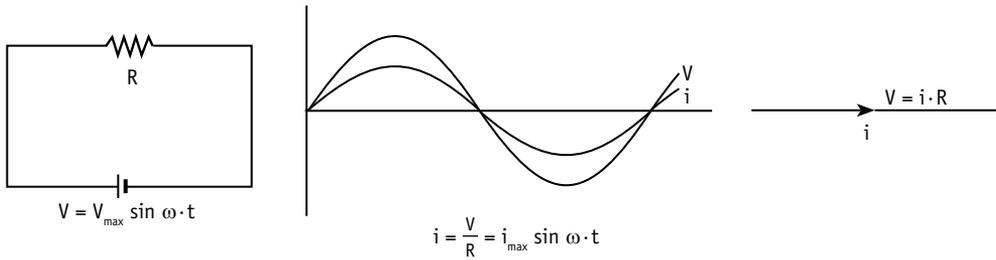
$$I_{eff} = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T (I_m \sin \omega \cdot t)^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{max}$$

$$V_{ef} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0,707 V_{max}$$

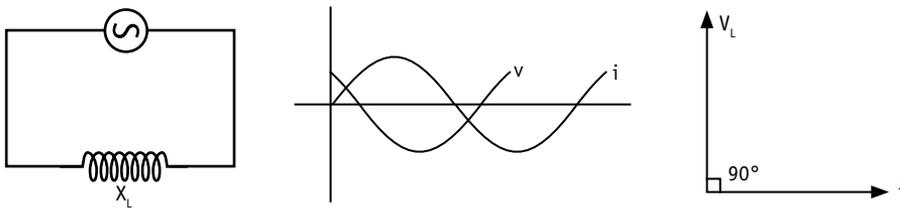
Kuat arus dan tegangan yang terukur oleh alat ukur listrik menyatakan harga efektifnya.

### C. Resistor Dalam Rangkaian Arus Bolak-Balik.



Bila hambatan murni sebesar  $R$  berada dalam rangkaian arus bolak-balik, besar tegangan pada hambatan berubah-ubah secara sinusoidal, demikian juga kuat arusnya. Antara kuat arus dan tegangan tidak ada perbedaan fase, artinya pada saat tegangan maksimum, kuat arusnya mencapai harga maksimum pula.

### D. Kumparan Induktif Dalam Rangkaian Arus Bolak-Balik.



Andaikan kuat arus yang melewati kumparan adalah  $I = I_{\max} \sin \omega t$ . Karena hambatan kumparan diabaikan  $I \cdot R = 0$

Besar GGL induksi yang terjadi pada kumparan  $E_1 = -L \frac{dI}{dt}$

Bila tegangan antara AB adalah  $V$ , kuat arus akan mengalir bila:

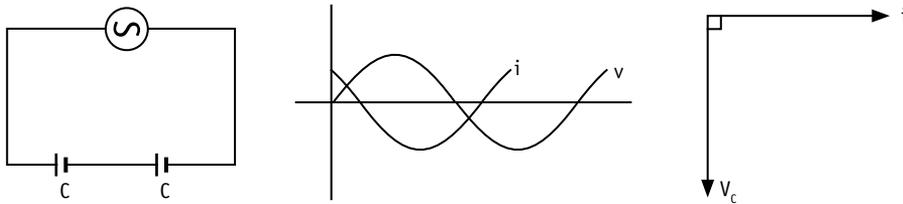
$$V = L \frac{dI}{dt}$$

$$V = L \frac{d(I_{\max} \cdot \sin \omega t)}{dt}$$

$$= \omega L I_{\max} \cdot \cos \omega t$$

Jadi antara tegangan pada kumparan dengan kuat arusnya terdapat perbedaan fase  $\frac{\pi}{2}$ , dalam hal ini tegangan mendahului kuat arus.

## E. Kapasitor Dalam Rangkaian Arus Bolak-Balik.



Andaikan tegangan antara keping-keping kapasitor pada suatu saat  $V = V_{\max} \sin \omega t$ , muatan kapasitor saat itu:

$$Q = C \cdot V$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d(C \cdot V_{\max} \sin \omega t)}{dt}$$

$$I = \omega C \cdot V_{\max} \sin \omega t$$

Jadi antara tegangan dan kuat arus terdapat perbedaan fase  $\frac{\pi}{2}$  dalam hal ini kuat arus lebih dahulu  $\frac{\pi}{2}$  daripada tegangan.

## F. Reaktansi

Di samping resistor, kumparan induktif dan kapasitor merupakan hambatan bagi arus bolak-balik. Untuk membedakan hambatan kumparan induktif dan kapasitor dari hambatan resistor, maka hambatan kumparan induktif disebut Reaktansi Induktif dan hambatan kapasitor disebut Reaktansi Kapasitif.

$$\text{Reaktansi} = \frac{\text{Amplitudo tegangan } L \text{ atau } C}{\text{Kuat arus maksimum yang mengalir}}$$

### 1. Reaktansi Induktif ( $X_L$ )

$$X_L = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} = \frac{\omega L I_{\max}}{I_{\max}}$$

$$X_L = \omega L$$

$X_L$  dalam ohm, L dalam Henry.

### 2. Reaktansi Kapasitif ( $X_C$ )

$$X_C = \frac{V_{\max}}{I_{\max}} = \frac{V_{\max}}{\omega C V_{\max}} = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$X_C$  dalam ohm, C dalam Farad.

## G. Impedansi (Z)

Sebuah penghantar dalam rangkaian arus bolak-balik memiliki hambatan, reaktansi induktif, dan reaktansi kapasitif. Untuk menyederhanakan permasalahan, kita tinjau rangkaian arus bolak-balik yang didalamnya tersusun resistor R, kumparan R, kumparan induktif L dan kapasitor C.

Menurut hukum ohm, tegangan antara ujung-ujung rangkaian:

$$V = V_R + V_L + V_C$$

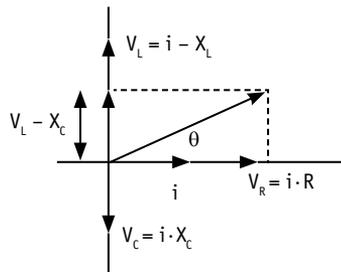
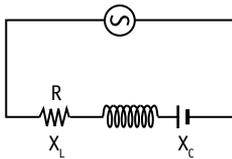
Dengan penjumlahan vektor diperoleh:

$$I_z = \sqrt{(I X_L - I X_C)^2 + (IR)^2}$$

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

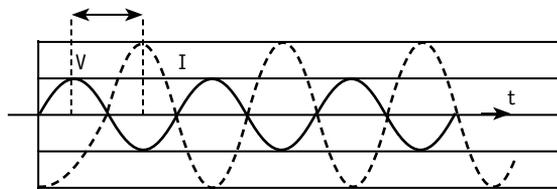
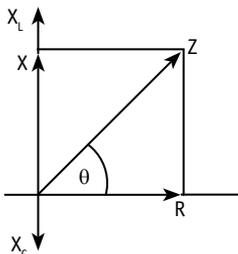
Z disebut Impedansi

$$\text{Tg}\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

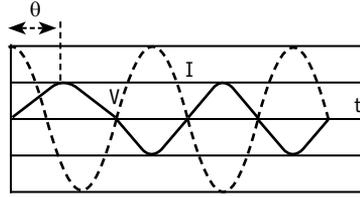
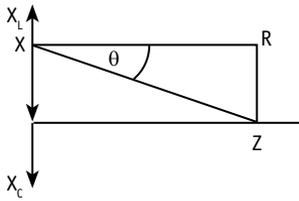


Ada tiga kemungkinan yang bersangkutan dengan rangkaian RLC seri yaitu:

1. Bila  $X_L > X_C$  atau  $V_L > V_C$ , maka rangkaian bersifat induktif.  $\text{tg } \theta$  positif, demikian juga  $\theta$  positif. Ini berarti tegangan mendahului kuat arus.



2. Bila  $X_L < X_C$  atau  $V_L < V_C$ , maka rangkaian bersifat Kapasitif.  $\text{tg } \theta$  negatif, nilai  $\theta$  negatif. Ini berarti kuat arus mendahului tegangan.

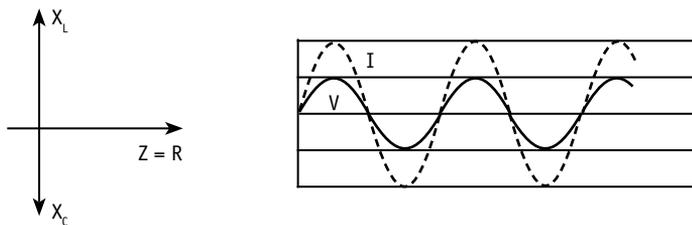


Demikian juga untuk harga  $V = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + V_R^2}$

3. Bila  $X_L = X_C$  atau  $V_L = V_C$ , maka rangkaian bersifat resonansi.  $\text{tg } \theta = 0$  dan  $\theta = 0$ , ini berarti tegangan dan kuat arus fasenya sama.

## H. Resonansi

Jika tercapai keadaan yang demikian, nilai  $Z = R$ , amplitudo kuat arus mempunyai nilai terbesar, frekuensi arusnya disebut frekuensi resonansi seri. Besarnya frekuensi resonansi dapat dicari sebagai berikut:



$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

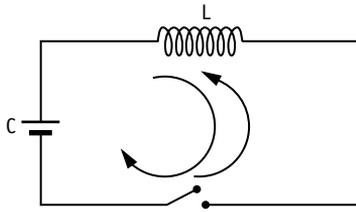
$$4\pi^2 f^2 = \frac{1}{LC}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{atau} \quad T = 2\pi\sqrt{LC}$$

$f$  adalah frekuensi dalam cycles/det,  $L$  induktansi kumparan dalam Henry dan  $C$  kapasitas kapasitor dalam Farad.

## I. Getaran Listrik Dalam Rangkaian LC.

Getaran listrik adalah arus bolak-balik dengan frekuensi tinggi. Getaran listrik dapat dibangkitkan dalam rangkaian LC.



Kapasitor C dimuati sampai tegangan maksimum. Bila saklar ditutup mengalir arus sesuai arah jarum jam, tegangan C turun sampai nol.

Bersamaan dengan aliran arus listrik timbul medan magnetik didalam kumparan L.

Medan magnetik lenyap seketika pada saat tegangan C sama dengan nol. Bersamaan dengan itu timbul GGL induksi, akibatnya tegangan C naik kembali secara berlawanan. Karenanya dalam rangkaian mengalir arus listrik yang arahnya berlawanan dengan arah putar jarum jam. Jadi dalam rangkaian LC timbul getaran listrik yang frekuensinya:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Suatu rangkaian seri R, L, dan C dihubungkan dengan tegangan bolak-balik. Apabila induktansi  $\frac{1}{25} \pi^2$  H dan kapasitas kapasitor 25  $\mu$ F, maka resonansi rangkaian terjadi pada frekuensi ....

- A. 0,5 kHz                      D. 2,5 kHz  
 B. 1,0 kHz                      E. 7,5 kHz  
 C. 2,0 kHz

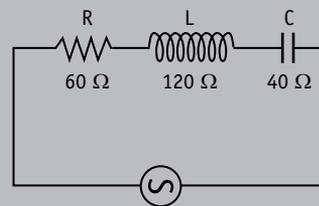
Jawab: A

#### Pembahasan

Frekuensi resonansi untuk rangkaian RLC terjadi saat reaktansi induktif sama besar dengan reaktansi kapasitif, dengan nilai frekuensi:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \\ &= \frac{1}{2\pi\sqrt{\left(\frac{1}{25\pi^2}\right) \times 25 \times 10^{-6}}} \\ &= 500 \text{ Hz} = 0,5 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Perhatikan gambar rangkaian listrik berikut



2. Jika tegangan maksimum sumber arus bolak-balik = 200 V, maka besar kuat arus maksimum yang mengalir pada rangkaian adalah....

- A. 1,5 A                      D. 4,0 A  
 B. 2,0 A                      E. 5,0 A  
 C. 3,5 A

Jawab: B

#### Pembahasan

Data dari soal di atas sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= 60 \Omega \\ X_L &= 120 \Omega \\ X_C &= 40 \Omega \\ V_m &= 200 \text{ volt} \\ I_m &= \dots \end{aligned}$$

Langkah pertama temukan dulu impedansi rangkaian (Z)

$$\begin{aligned}
 Z &= \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\
 &= \sqrt{60^2 + (120 - 40)^2} \\
 &= \sqrt{60^2 + 80^2} = 100 \Omega
 \end{aligned}$$

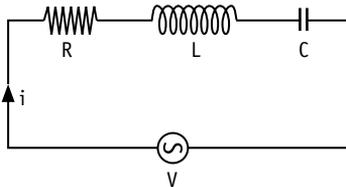
Kuat arus maksimumnya adalah

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{200}{100} = 2A$$

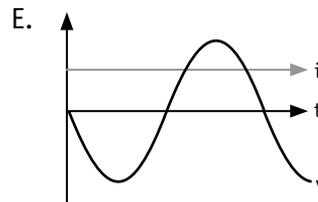
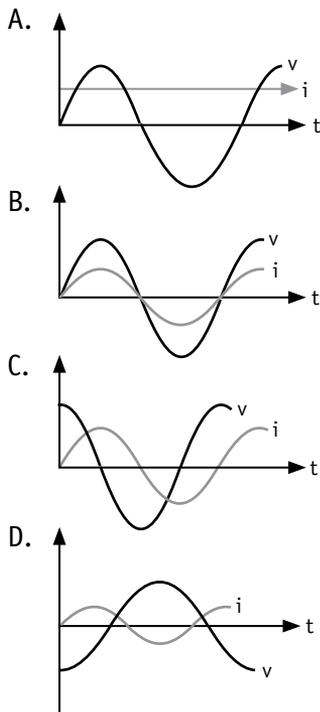
## LATIHAN SOAL BAB 8

Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

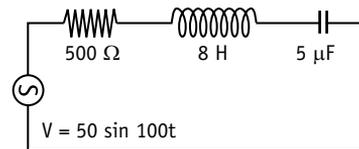
1. Rangkaian R - L - C disusun seperti gambar di bawah ini.



Grafik gelombang sinus yang dihasilkan jika  $X_L > X_C$  adalah....



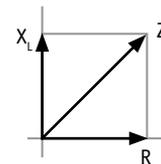
2. Perhatikan gambar rangkaian RLC berikut.



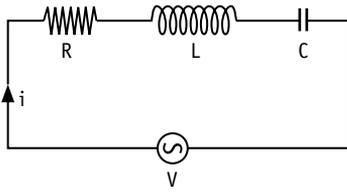
Besar impedansi pada rangkaian tersebut adalah....

- A. 1600 Ω      D. 800 Ω  
 B. 1500 Ω      E. 600 Ω  
 C. 1300 Ω
3. Dalam rangkaian seri hambatan ( $R = 60 \Omega$ ) dan induktor dalam tegangan arus bolak-balik, kuat arus yang lewat 2 ampere. Apabila dalam diagram vektor di bawah ini  $\tan \alpha = \frac{3}{4}$ , tegangan induktor adalah....

- A. 72 volt  
 B. 90 volt  
 C. 120 volt  
 D. 160 volt  
 E. 200 volt

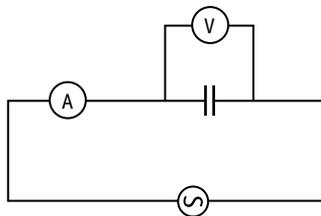


4. Rangkaian seri pada gambar di bawah memiliki impedansi minimum jika  $R = 100 \Omega$ ,  $L = 0,1 \text{ H}$  dan  $C = 10^{-3}\pi^{-2} \text{ F}$ .



Frekuensi tegangan bolak-balik yang terpasang adalah...

- A.  $10\pi \text{ Hz}$       D.  $100 \text{ Hz}$   
 B.  $25\pi \text{ Hz}$       E.  $150 \text{ Hz}$   
 C.  $50 \text{ Hz}$
5. Penunjukkan amperemeter  $A = 2 \text{ mA}$  dan penunjukkan voltmeter  $V = 20 \text{ volt}$ . Berarti frekuensi AC dalam rangkaian tersebut adalah...



- A.  $25 \text{ Hz}$       D.  $500 \text{ Hz}$   
 B.  $50 \text{ Hz}$       E.  $1000 \text{ Hz}$   
 C.  $100 \text{ Hz}$
6. Perubahan arus  $12,5 \text{ A}$  dalam  $0,1$  detik menimbulkan ggl induksi  $50 \text{ V}$ , pada kumparan. Jika kumparan dihubungkan pada sumber arus bolak-balik Hz, maka reaktansi induktifnya =....
- A.  $4000 \text{ ohm}$ .  
 B.  $400 \text{ ohm}$ .  
 C.  $40 \text{ ohm}$ .  
 D.  $4 \text{ ohm}$ .  
 E.  $0,4 \text{ ohm}$ .

7. Rangkaian seri resistor  $200 \text{ ohm}$  dan induktor  $0,2 \text{ H}$  dihubungkan pada arus bolak – balik dengan frekuensi Hz. Tangen sudut fase rangkaian
- A.  $0,36$ .      D.  $1,36$ .  
 B.  $0,63$ .      E.  $1,63$ .  
 C.  $0,72$ .

8. Rangkaian seri R dan L dipasang tegangan bolak – balik. Jika  $VR = 6 \text{ V}$ ,  $VL = 8 \text{ V}$ , kuat arus rangkaian tersebut  $2 \text{ A}$ , maka impedansinya
- A.  $16 \text{ ohm}$ .      D.  $6 \text{ ohm}$ .  
 B.  $8 \text{ ohm}$ .      E.  $5 \text{ ohm}$ .  
 C.  $7 \text{ ohm}$ .

9. Kapasitor  $100\mu\text{F}$  dihubungkan dengan tegangan bolak balik  $110 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ . Reaktansi kapasitifnya:
- A.  $100\pi \text{ ohm}$ .      D.  $5\pi \text{ ohm}$ .  
 B.  $50\pi \text{ ohm}$ .      E.  $1\pi \text{ ohm}$ .  
 C.  $10\pi \text{ ohm}$ .

10. Hambatan  $15 \text{ ohm}$  dan induktor  $20 \text{ ohm}$  dirangkai seri dan dipasang pada tegangan bolak – balik  $100 \text{ V}$ . Faktor daya ...
- A.  $0,2$ .      D.  $0,8$ .  
 B.  $0,4$ .      E.  $0,9$ .  
 C.  $0,6$ .

11. Sebuah penghantar mengandung induktansi. Jika dipasang pada  $12 \text{ V}$ , DC arusnya  $0,15 \text{ A}$ . Jika dipasang pada  $12 \text{ V AC}$  arusnya  $0,12 \text{ A}$ . Reaktansi induktifnya:
- A.  $40 \text{ ohm}$ .  
 B.  $60 \text{ ohm}$ .  
 C.  $80 \text{ ohm}$ .  
 D.  $100 \text{ ohm}$ .  
 E.  $144 \text{ ohm}$ .

12. Rangkaian seri R dan L dipasang pada tegangan AC. Jika  $R = 60$  ohm dan  $i = 2$  A dan  $\tan \theta = \frac{3}{4}$  maka tegangan pada induktor:

- A. 200 V.                      D. 100 V.  
B. 160 V.                      E. 90 V.  
C. 120 V.

13. Resistor R dan induktor  $XL$  dirangkai seri. Jika arus efektif yang mengalir pada rangkaian =  $i$  maka daya yang digunakan rangkaian:

- A.  $i^2(R + XL)$               D.  $i^2R$ .  
B.  $i^2$                               E.  $i^2XL$ .  
C. 0

14. Pada rangkaian seri RLC frekuensi resonansi dapat diperkecil dengan cara:

1. Memperbesar kapasitas.
2. Memperkecil hambatan.
3. Memperbesar induktansi.
4. Memperbesar tegangan sumber.

Pernyataan yang benar adalah:

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

15. Rangkaian seri R dan L dipasang pada tegangan AC . Jika  $R = 60$  ohm dan  $i = 2$  A dan  $\tan \theta = \frac{3}{4}$  maka tegangan pada induktor:

- A. 200 V.                      D. 100 V.  
B. 160 V.                      E. 90 V.  
C. 120 V.



**T**eori kinetik zat membicarakan sifat zat dipandang dari sudut momentum. Peninjauan teori ini bukan pada kelakuan sebuah partikel, tetapi diutamakan pada sifat zat secara keseluruhan sebagai hasil rata-rata kelakuan partikel-partikel zat tersebut.

Teori ini didasarkan atas 3 pengandaian:

1. Gas terdiri daripada molekul-molekul yang bergerak secara acak dan tanpa henti.
2. Ukuran molekul-molekul dianggap terlalu kecil sehingga boleh diabaikan, maksudnya garis pusatnya lebih kecil daripada jarak purata yang dilaluinya antara perlanggaran.
3. Molekul-molekul gas tidak berinteraksi antara satu sama lain. Perlanggaran sesama sendiri dan dengan dinding bekas adalah kenyal yaitu jumlah tenaga kinetik molekulnya sama sebelum dan sesudah perlanggaran.

## A. Sifat Gas

### 1. Sifat Gas Umum

- Gas mudah berubah bentuk dan volumenya.
- Gas dapat digolongkan sebagai fluida, hanya kerapatannya jauh lebih kecil.

### 2. Sifat Gas Ideal

- Gas terdiri atas partikel-partikel dalam jumlah yang besar sekali, yang senantiasa bergerak dengan arah sembarang dan tersebar merata dalam ruang yang kecil.
- Jarak antara partikel gas jauh lebih besar daripada ukuran partikel, sehingga ukuran partikel gas dapat diabaikan.
- Tumbukan antara partikel-partikel gas dan antara partikel dengan dinding tempatnya adalah elastis sempurna.
- Hukum-hukum Newton tentang gerak berlaku.

## B. Persamaan Gas Ideal dan Tekanan Gas Ideal

$$P V = n R T = N k T$$

Dimana:  $n = \frac{N}{N_0}$

$T =$  suhu ( $^{\circ}\text{K}$ )

$R = 8314 \text{ J/kmol K}$  apabila tekanan dalam  $\text{Pa}$  atau  $\text{N/m}^2$ , volume dalam  $\text{m}^3$ , dan jumlah mol dalam kmol

$R = 0,082 \text{ L atm/mol K}$  apabila tekanan dalam atm, volume dalam liter, dan jumlah mol dalam mol

$N =$  jumlah partikel

$$P = \frac{2N}{3V} Ek$$

$$T = \frac{2Ek}{3K}$$

$V =$  volume ( $\text{m}^3$ )

$n =$  jumlah molekul gas

$K =$  konstanta Boltzman =  $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^{\circ}\text{K}$

$N_0 =$  bilangan Avogadro =  $6,023 \times 10^{23}/\text{mol}$

## C. Energi Total ( $U$ ) dan Kecepatan ( $v$ ) Gas Ideal

$$Ek = \frac{3}{2} KT$$

$$U = N Ek = \frac{3 \cdot N \cdot K \cdot T}{2}$$

$$v = 0 \cdot \left( \frac{3 \cdot K \cdot T}{m} \right) = 0 \left( \frac{3 \cdot P}{r} \right)$$

dengan:  $E_k =$  energi kinetik rata-rata tiap partikel gas ideal

$U =$  energi dalam gas ideal = energi total gas ideal

$v =$  kecepatan rata-rata partikel gas ideal

$m =$  massa satu mol gas

$p =$  massa jenis gas ideal

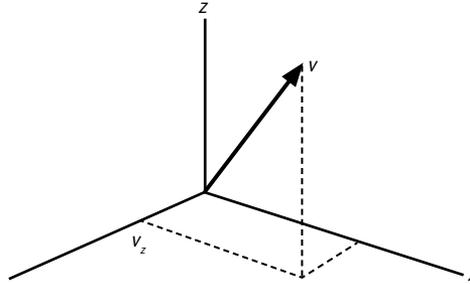
Teori ini didasarkan atas 3 pengandaian:

1. Gas terdiri daripada molekul-molekul yang bergerak secara acak dan tanpa henti.
2. Ukuran molekul-molekul dianggap terlalu kecil sehingga boleh diabaikan, maksudnya garis pusatnya lebih kecil daripada jarak purata yang dilaluinya antara perlanggaran.
3. Molekul-molekul gas tidak berinteraksi antara satu sama lain. Perlanggaran sesama sendiri dan dengan dinding bekas adalah kenyal iaitu jumlah tenaga kinetik molekulnya sama sebelum dan sesudah perlanggaran.

## D. Hubungan Tekanan Dengan Kelajuan

Tekanan yang dikenakan oleh suatu gas adalah akibat tumbukan molekul-molekul pada dinding batas.

Kelajuan molekul gas,  $v$  terdiri daripada komponen-komponen kelajuan dalam arah  $x$ ,  $y$  dan  $z \Rightarrow v_x, v_y, v_z$



Diketahui bahwa  $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$

atau  $v = (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)^{\frac{1}{2}}$  ..... (1)

Kelajuan rata-rata pangkat dua ialah

$$v^2 = (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{\sum v_i^2}{N}$$
 ..... (2)

di mana  $N$  = bilangan molekul

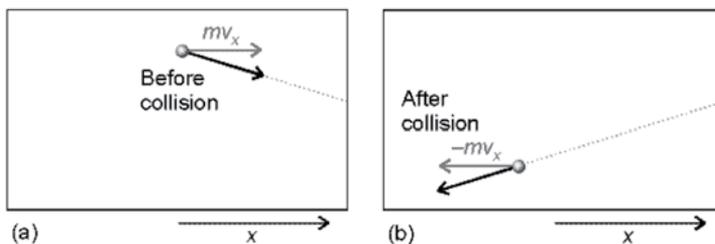
Anggaphlah  $\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$

$$\therefore \overline{v^2} = 3 \overline{v_x^2} \Rightarrow \overline{v_x^2} = \frac{1}{3} \overline{v^2}$$
 ..... (3)

(sama juga bagi  $v_y$  dan  $v_z$ )

## E. Tekanan Gas Pada Dinding

Andaikan satu molekul gas yang bermassa  $m$ , bergerak dalam sebuah kubus dengan laju  $v_x$  yang searah dengan sumbu  $x$ . Molekul ini menumbuk dinding kanan dan memantul balik dengan laju  $-v_x$ .



Perubahan momentum pada dinding kanan untuk satu tumbukan =  $mv_x - (-m v_x)$   
 $= 2 m v_x$

Misalkan ukuran kubus itu dengan sisi  $l$ . Bagi setiap tumbukan, molekul akan bergerak sejauh  $2l$  (pergi dan balik) dalam selang waktu  $\Delta t$ .

Menurut Hukum Newton II, gaya ialah perubahan momentum per satuan waktu

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{\text{Perubahan momentum}}{\text{waktu}} \\
 &= \frac{2mv_x}{\Delta t} \\
 &= \frac{2mv_x^2}{2l} \quad (\text{karena } \Delta t = \frac{2l}{v_x}) \\
 &= \frac{mv_x^2}{l}
 \end{aligned}$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mv_x^2}{l^3} = \frac{mv_x^2}{V}$$

( $A$  = luas dinding,  $V$  = volume kubus)

Andaikan dalam kubus itu ada  $N$  molekul dan tumbukan berlaku ke semua arah dengan laju rata-rata  $\bar{v}_x$ ,  $\bar{v}_y$ , dan  $\bar{v}_z$ , maka

$$P_x = \frac{Nm\bar{v}_x^2}{V}; P_y = \frac{Nm\bar{v}_y^2}{V}; P_z = \frac{Nm\bar{v}_z^2}{V}$$

Dari (3),  $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2 = \frac{1}{3}\bar{v}^2$  jika  $P_x = P_y = P_z = P$

$$\therefore P = \frac{Nm\bar{v}^2}{3V}$$

$$\text{atau } PV = \frac{1}{3}Nm\bar{v}^2 \quad \dots(4)$$

$$\text{atau } PV = \frac{1}{3}nM\bar{v}^2 \quad \dots(5)$$

di mana:  $n = \frac{N}{V}$  dan  $M = mN_A$  = jumlah molar

$\bar{v}^2$  disebut laju rata-rata pangkat dua. Oleh karena ia hanya bergantung kepada suhu, maka pada suhu tetap,

$PV = \text{konstan} \Rightarrow$  Hukum Boyle

## F. Energi Kinetik Rata-Rata

$$\text{Bagi 1 molekul: } e_k = \frac{1}{2}m\bar{v}^2$$

$$\text{Bagi } N \text{ molekul: } \bar{E}_k = \frac{1}{2}Nm\bar{v}^2 \quad \dots(6)$$

$$\text{Bagi } N_A \text{ molekul (1 mol): } \bar{E}_k = \frac{1}{2}N_A m\bar{v}^2 = \frac{1}{2}M\bar{v}^2 \quad \dots(7)$$

## G. Hubungan Tekanan dan Volume dengan Energi Kinetik

$$\begin{aligned} \text{Dari (6), } PV &= \frac{1}{3} Nm\overline{v^2} \\ &= \frac{2}{3} \left( \frac{1}{2} Nm\overline{v^2} \right) \\ \therefore PV &= \frac{2}{3} \overline{E_k} \quad \dots(8) \end{aligned}$$

Untuk gas ideal,  $PV = nRT$ . Substitusikan dalam persamaan (8):

$$\begin{aligned} nRT &= \frac{2}{3} \overline{E_k} \\ \therefore \overline{E_k} &= \frac{3}{2} nRT \quad \dots(9) \end{aligned}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Didalam sebuah ruangan tertutup terdapat gas dengan suhu  $27^\circ\text{C}$ . Apabila gas dipanaskan sampai energi kinetiknya menjadi 5 kali energi semula, maka gas itu harus dipanaskan sampai suhu ...

- A.  $100^\circ\text{C}$                       D.  $1.227^\circ\text{C}$   
 B.  $135^\circ\text{C}$                       E.  $1.500^\circ\text{C}$   
 C.  $1.200^\circ\text{C}$

Jawab: D

#### Pembahasan

Diketahui

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$E_{k_2} = 5 E_{k_1}$$

$$T_2 = \dots$$

Energi kinetik gas untuk dua suhu yang berbeda

$$E_k = \frac{3}{2} kT$$

Sehingga diperoleh

$$\frac{E_{k_2}}{E_{k_1}} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$T_2 = \frac{E_{k_2}}{E_{k_1}} \times T_1$$

$$T_2 = \frac{5E_{k_1}}{E_{k_1}} \times 300 = 1500 \text{ K}$$

Dalam Celcius adalah

$$= 1500 - 273 = 1227^\circ\text{C}$$

2. Di dalam ruang tertutup suhu suatu gas  $27^\circ\text{C}$ , tekanan 1 atm dan volume 0,5 liter. Jika suhu gas dinaikkan menjadi  $327^\circ\text{C}$  dan tekanan menjadi 2 atm, maka volume gas menjadi....

- A. 1 liter                      D. 0,125 liter  
 B. 0,5 liter                      E. 0,0625 liter  
 C. 0,25 liter

Jawab: B

#### Pembahasan

Diketahui:  $T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$

$$P_1 = 1 \text{ atm}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ liter}$$

$$T_2 = 327^\circ\text{C} = 600 \text{ K}$$

$$P_2 = 2 \text{ atm}$$

Ditanyakan:  $V_2 = \dots?$

Jawab:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$$\frac{(1)(0,5)}{300} = \frac{2V_2}{600}$$

$$2V_2 = \frac{0,5 \times 600}{2 \times 300}$$

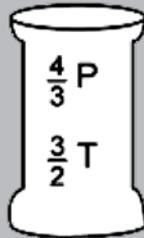
$$V_2 = 0,5 \text{ liter}$$

3. Suatu gas ideal mula-mula menempati ruangan yang volumenya  $V$  dan suhu  $T$  dan tekanan  $P$ .

Tabung I



Tabung II



Jika gas dipanaskan kondisinya seperti pada tabung 2, maka volume gas menjadi....

- A.  $\frac{1}{2} V$                       D.  $\frac{2}{3} V$   
 B.  $\frac{8}{9} V$                         E.  $\frac{3}{2} V$   
 C.  $\frac{9}{8} V$

**Jawab: C**

**Pembahasan**

Diketahui:

Tekanan menjadi  $\frac{4}{3}$  mula-mula:

$$P_1 = 3$$

$$P_2 = 4$$

Suhu menjadi  $\frac{3}{2}$  mula-mula:

$$T_1 = 2$$

$$T_2 = 3$$

Ditanyakan:  $V_2 = \dots V_1$

Jawab:

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_1 V_1}{T_1}$$

$$\frac{4V_2}{3} = \frac{3V}{2}$$

$$V_2 = \frac{9V}{8}$$

## LATIHAN SOAL BAB 9

### Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

- Partikel-partikel gas ideal memiliki sifat-sifat antara lain ....
  - selalu bergerak
  - tidak tarik menarik
  - bertumbukan lenting sempurna
  - tidak mengikuti Hukum Newton tentang gerak
 Pernyataan yang benar adalah ...
  - 1, 2, dan 3
  - 2, 3, dan 4
  - 1, 3, dan 4
  - 1 dan 3
  - 2 dan 4
- Jika suatu gas ideal dimampatkan secara isothermal sampai volumenya menjadi setengah dari volume semula maka ....
  - tekanan dan suhu tetap
  - tekanan menjadi dua kali dan suhu tetap
  - tekanan tetap dan suhu menjadi dua kalinya
  - tekanan menjadi dua kalinya dan suhu menjadi setengahnya
  - tekanan dan suhu menjadi setengahnya.
- Gas dalam ruangan tertutup yang berolome 20000 liter dan suhu  $27^\circ C$  memiliki tekanan 10 atm.tentu-

- kan jumlah mol yang ada dalam ruangan tersebut...
- 8130,081 mol
  - $2,70 \times 10^{-4}$  mol
  - 5934782,09 mol
  - 0,138 mol
  - 1 mol
- Suatu gas ideal dengan volume 2 liter, suhunya  $7^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 0,7 atm menempati sebuah ruang. Jika gas tersebut didinginkan pada volume tetap sehingga suhunya menjadi  $-73^{\circ}\text{C}$ . Tentukan tekanan gas....
    - 5 atm
    - 0,5 atm
    - 0,06 atm
    - 0,512 atm
    - 10 atm
  - Pada keadaan normal ( $T = 0^{\circ}\text{C}$  dan  $p = 1$  atm), 4 gram gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) dengan berat molekul  $M_r = 32$  memiliki volume sebesar ....  
( $R = 8.314$  J/kmol K;  
 $1$  atm =  $105$  N/m<sup>2</sup>)
    - $1,4 \times 10^{-6}\text{m}^3$
    - $2,8 \times 10^{-3}\text{m}^3$
    - $22,4 \times 10^{-3}\text{m}^3$
    - $2,8$  m<sup>3</sup>
    - $22,4$  m<sup>3</sup>
  - Sebuah tangki diisi dengan gas ideal bermassa 10 kg pada tekanan 4 atm dan suhu  $47^{\circ}\text{C}$ . Tangki tersebut memiliki lubang kecil sehingga memungkinkan gas dapat lolos keluar. Ketika suhu  $27^{\circ}\text{C}$  dan tekanan gas 3 atm, massa gas yang lolos keluar dari tangki jika  $1$  atm =  $105$  Pa adalah ....
    - 2 kg
    - 3 kg
    - 4 kg
    - 5 kg
    - 6 kg
  - Diketahui volume bola B dua kali volume bola A. Kedua bola berisi gas ideal. Volume tabung penghubung dapat diabaikan. Gas A berada pada suhu 300 K. Jika jumlah molekul gas dalam bola A adalah N dan jumlah molekul gas dalam bola B adalah 3 N, suhu gas dalam bola B adalah ....
    - 150 K
    - 200 K
    - 300 K
    - 450 K
    - 600 K
  - Sebuah bejana volume 2 L berisi gas nitrogen pada tekanan 2 atm, dihubungkan dengan bejana lain volume 1 L yang berisi gas oksigen pada tekanan 1 atm. Berapa tekanan campuran gas?
    - $\frac{2}{3}$  atm
    - $\frac{4}{3}$  atm
    - $\frac{5}{3}$  atm
    - $\frac{3}{5}$  atm
    - $\frac{1}{3}$  atm
  - Jika suhu gas dinaikkan, kecepatan rata-rata partikel gas bertambah karena kecepatan gas...
    - Sebanding dengan akar masa partikel
    - Sebanding dengan akar suhu mutlak
    - Berbanding terbalik dengan masa partikel
    - Sebanding dengan suhu mutlak gas
    - Sebanding dengan kuadrat suhu mutlak
  - Berapa kecepatan efektivitas gas bermassa jenis  $10$  kg/m<sup>3</sup> yang berada pada tabung bertekanan  $3 \times 10^5$  Pa?

- A. 100 m/s
- B. 200 m/s
- C. 300 m/s
- D. 500 m/s
- E. 600 m/s

11. Suatu gas ideal mula-mula menempati ruang yang volumenya  $V$  dan tekanan  $P$ . Jika suhu gas menjadi  $\frac{5}{4}T$  dan volumenya menjadi  $\frac{3}{4}V$ , maka tekanannya menjadi....

- A.  $\frac{3}{4}P$
- B.  $\frac{4}{3}P$
- C.  $\frac{3}{2}P$
- D.  $\frac{5}{3}P$
- E.  $2P$

12. Gas dengan volume  $V$  berada di dalam ruang tertutup bertekanan  $P$  dan bersuhu  $T$ . Bila gas mengembang secara isobarik sehingga volumenya menjadi  $\frac{2}{1}$  kali volume mula-mula, maka perbandingan suhu gas mula-mula dan akhir adalah....(UN Fisika 2014)

- A. 1: 1
- B. 1: 2
- C. 1: 3
- D. 2: 1
- E. 3: 2



Dalam modul ini anda akan mempelajari termodinamika, yang didalamnya di pelajari mengenai hukum-hukum dasar yang berkaitan dengan kalor dan usaha. Salah satu aplikasi dalam termodinamika adalah mesin pendingin dimana kalor dipaksa untuk mengalir dari suhu rendah ke suhu tinggi, **mengapa demikian?**

Sebuah model konverter termoelektrik, ketika kaki tembaga memiliki suhu yang sama ternyata motor listrik tidak bekerja dan kipas diam, tetapi jika kaki-kaki tembaga memiliki suhu yang berbeda, maka motor listrik bekerja dan kipas berputar.

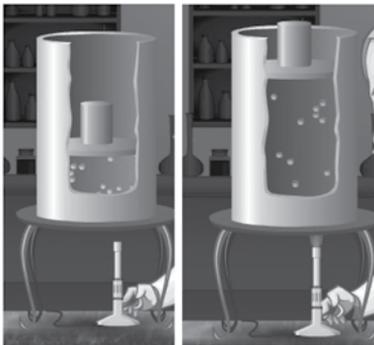
**Bagaimanakah perbedaan suhu dapat menyebabkan kipas berputar?**

Untuk mengetahui jawabannya ayo pelajari modul ini dengan gembira antusias **Setelah mengikuti kegiatan ini diharapkan anda dapat:**

- Memahami lebih mendalam tentang TERMODINAMIKA terutama dalam menganalisis gas karena perubahan suhu, tekanan dan volum
- Menggambarkan perubahan gas dalam diagram P – V
- Memformulasikan hukum I dan II termodinamika dan mengaplikasikannya dalam pemecahan masalah

## A. Usaha, Kalor, dan Energi Dalam

### 1. Usaha



Usaha dapat dihitung dari persamaan  $W = F \times s$ , dengan  $F$  adalah gaya dan  $s$  adalah perpindahan. Gaya ditimbulkan oleh tekanan gas yang bekerja dibawah pengisap sebesar  $F = p \cdot A$ , sehingga  $W$  dapat ditulis  $W = p \cdot (A \cdot s)$

Gambar 10.1 Gas dalam silinder dipanaskan pada tekanan tetap, sehingga pengisap berpindah sejauh  $s$  ke atas

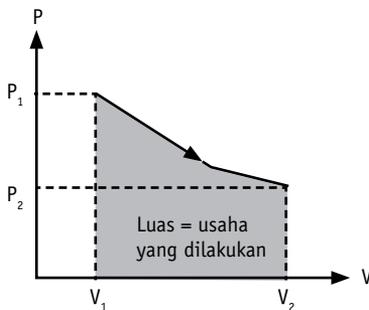
Karena  $\Delta V$  adalah perubahan volum,  $\Delta V = v_2 - v_1$  maka usaha  $W$  dapat dinyatakan oleh persamaan:

**Usaha pada proses isobarik**

$$W = p \cdot \Delta V = p(V_2 - V_1)$$

**Rumus umum usaha gas**

Jika tekanan gas berubah, seperti dilukiskan pada grafik  $P - V$  (gambar 2) berikut ini



Rumus umum usaha dapat dihitung dengan menggunakan integral:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV$$

Anda telah mengetahui bahwa jika grafik tekanan terhadap volum di berikan maka arti geometris dari persamaan tersebut adalah luas di bawah kurva

*Catatan:* jika  $V_2 > V_1$ , maka usaha dilakukan oleh sistem (gas) dan usaha  $W$  bertanda positif. Sebaliknya jika  $V_2 < V_1$ , maka usaha dilakukan pada sistem (gas) dan  $W$  bertanda negatif

**2. Kalor**

Di kelas X kalor yang diserap atau yang diterima oleh sistem dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \text{atau} \quad Q = C \cdot \Delta T$$

**3. Energi dalam**

Energi dalam gas sama dengan total energi kinetik dari sebuah molekul-molekul gas.

Gas monoatomik 
$$U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT$$

Gas diatomik 
$$U = \frac{5}{2} NkT = \frac{5}{2} nRT$$

- Dengan:  $N$  = jumlah molekul
- $n$  = jumlah mol
- $k$  = tetapan Boltzmann ( $k = 1,38 \times 10^{-23}$  J/K)
- $R$  = tetapan umum gas ( $R = 8,31$  J/mol)

Perubahan energi dalam:  $\Delta U = U_2 - U_1$

Perubahan energi dalam hanya bergantung pada suhu awal dan suhu akhir dengan kata lain perubahan energi dalam hanya bergantung pada keadaan awal dan keadaan akhir dan tidak bergantung pada lintasan yang ditempuh sistem

**Contoh soal:**

Sejumlah gas berada dalam wadah yang memiliki volum  $0,4 \text{ m}^3$  dan tekanan  $8 \text{ atm}$ . Hitung usaha luar yang dilakukan gas jika gas memuai pada tekanan tetap sehingga volumenya berubah menjadi  $0,8 \text{ m}^3$ ?

**Jawab:**

Volum awal  $V_1 = 0,4 \text{ m}^3$ , volum akhir  $V_2 = 0,8 \text{ m}^3$ , tekanan  $p = 8 \text{ atm} = 8 \times 10^5 \text{ Pa}$ .

Usaha dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned} W &= p \cdot \Delta V = p (V_2 - V_1) \\ &= 8 \cdot (0,8 - 0,4) \\ &= 3,2 \text{ joule} \end{aligned}$$

**4. Proses Proses Termodinamika**

Pada bagian ini kita akan membahas 4 proses termodinamika, yaitu isobarik, isokhorik, isotermik dan adiabatik. Untuk lebih jelasnya mari kita pelajari satu persatu.

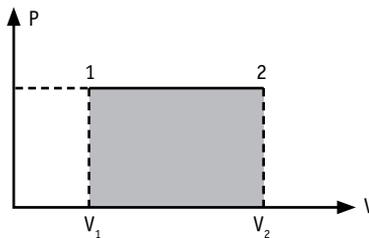
**a. Proses isobarik**

*Proses isobarik* adalah proses perubahan keadaan gas pada tekanan tetap.

*Persamaan keadaan isobarik*

$$\frac{V}{T} = C \quad \text{atau} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Ini adalah hukum Guy Lussac.



Gambar 3. Pada proses isobarik grafik P-V berupa garis lurus

*Usaha isobarik:*

$$W = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_2 - V_1)$$

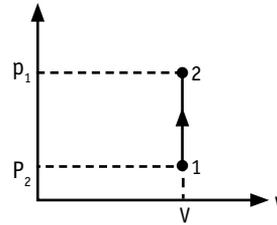
**b. Proses isokhorik**

Proses isokhorik adalah proses perubahan keadaan gas pada volum tetap

*Persamaan keadaan isobarik*

$$\frac{p}{T} = C \quad \text{atau} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

Usaha pada proses isokhorik adalah NOL



Gambar 4. Grafik P-V pada proses isokhorik adalah garis lurus vertikal

**c. Proses isotermik**

Proses isotermik adalah proses perubahan keadaan gas pada suhu tetap

*Persamaan keadaan isotermik*

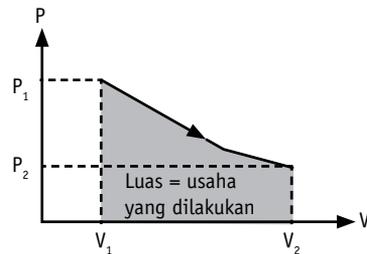
$$\frac{pV}{T} = C \quad \text{atau} \quad \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$$

Ini adalah hukum Boyle

Usaha pada proses isotermik adalah

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

$$W = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$



Gambar 10.5 Usaha yang dilakukan gas sama dengan luas daerah yang diraster

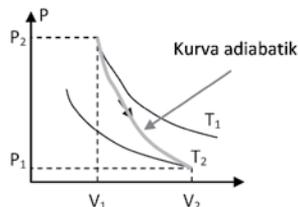
**d. Proses adiabatik**

Proses adiabatik adalah proses perubahan gas dimana tidak ada aliran kalor yang masuk atau keluar sistem ( $Q = 0$ )

*Persamaan keadaan adiabatik*

$$p_1V_1^\gamma = p_2V_2^\gamma$$

Dengan  $\gamma > 1$ , merupakan hasil perbandingan kalor jenis gas pada tekanan tetap dan kalor jenis gas pada volum tetap (tetapan laplace)



Persamaan keadaan adiabatik:

$$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}$$

Gambar 10.6 Grafik p - V pada adiabatik berupa garis lengkung yang memiliki tanda panah memotong garis lengkung isotermik pada suhu awal  $T_1$  dan suhu akhir  $T_2$

**Contoh soal:**

1. Dua mol gas Argon memuai secara isothermal padasuhu  $27^{\circ}\text{C}$  dari volume awal  $0,025 \text{ m}^3$  ke volume akhir  $0,050 \text{ m}^3$ . Tentukan usaha yang dilakukan gas Argon, jika  $R = 8,31 \text{ J/mol}$

**Jawab:**

Jumlah zat  $n = 2 \text{ mol}$ , suhu mutlak  $T = (27 + 273) \text{ K} = 300 \text{ K}$

Volum awal  $V_1 = 0,025 \text{ m}^3$ , volum akhir  $V_2 = 0,050 \text{ m}^3$ . Usaha yang dilakukan gas pada proses isothermal dapat dihitung dengan cara:

$$\begin{aligned} W &= nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \\ &= 2 \times 8,31 \times 300 \cdot \ln\left(\frac{0,050}{0,025}\right) \\ &= 3456 \text{ J} \end{aligned}$$

2. Dalam sebuah mesin, rasio pemampatan 8: 1, yang berarti bahwa setelah pemampatan volume gas menjadi  $\frac{1}{2}$  kali volume awalnya. Anggap bahan bakar bercampur udara pada suhu  $37^{\circ}\text{C}$ , tekanan 1 atm dan  $\gamma = 1,4$ . Jika pemampatan yang terjadi secara adiabatik, hitunglah:
- Tekanan pada keadaan akhir
  - Suhu campuran

**Jawab:**

$$V_2 = \frac{1}{2} V_1, T_1 = 37 + 273 = 310 \text{ K}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm}, \gamma = 1,4$$

- a. Tekanan akhir  $p_2$  dihitung dengan menggunakan persamaan

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

$$p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^\gamma$$

$$p_2 = 1 \cdot \left(\frac{V_1}{\frac{1}{8} V_1}\right)^{1,4}$$

$$p_2 = 1 \cdot (8)^{1,4} = 18,38 \text{ atm}$$

- b. Suhu campuran atau suhu akhir  $T_2$  dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1,4-1} = 310 \cdot (8)^{1,4-1}$$

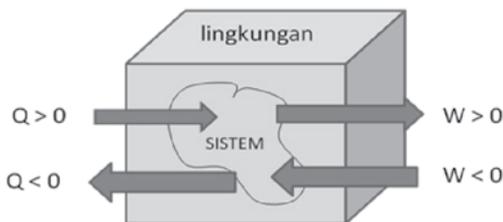
$$= 712 \text{ K}$$

## B. Hukum Pertama Termodinamika

Hukum pertama termodinamika berhubungan dengan cara suatu sistem memperoleh energi dalam dari lingkungan atau kehilangan energi dalam ke lingkungan

*“anda diminta dapat menganalisis dan menerapkan hukum pertama termodinamika dalam berbagai proses termodinamika “*

Hukum pertama termodinamika pada prinsipnya adalah hukum kekekalan energi yang diaplikasikan pada kalor, usaha dan energi dalam.



### PERJANJIAN TANDA:

- Sistem melakukan usaha  $W (+)$
- Sistem menerima usaha  $W (-)$
- Sistem menerima kalor  $Q (+)$
- Sistem melepas kalor  $Q (-)$

Untuk setiap proses apabila kalor  $Q$  diberikan pada sistem dan sistem melakukan usaha  $W$ , maka selisih energi  $Q - W$  sama dengan perubahan energi dalam  $\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W$

### Contoh soal:

Suatu sistem menyerap kalor 1500 J dari lingkungan dan melakukan usaha pada lingkungannya sebesar 2200 J. Tentukan perubahan energi dalam sistem tersebut?

### Jawab:

Sistem menyerap kalor  $Q = + 1500 \text{ J}$ , sistem melakukan usaha  $W = + 2200 \text{ J}$

$$\Delta U = Q - W$$

$$= 1500 \text{ J} - 2200 \text{ J}$$

$$= - 700 \text{ J (suhu sistem turun)}$$

*“Sekarang mari kita bahas penerapan hukum pertama termodinamika dalam berbagai proses termodinamika“*

## Hukum Pertama Termodinamika Pada Berbagai Proses Termodinamika

### 1. Proses isobarik

Proses isobarik, proses yang terjadi pada tekanan tetap, hukum pertama termodinamika memberikan:

$$\Delta U = Q - W = Q - p \cdot \Delta V$$

## 2. Proses isokhorik

Pada proses isokhorik volum gas tetap ( $V_1=V_2$  atau  $\Delta V = 0$ ), sehingga  $W = 0$ . Hukum pertama termodinamika memberikan:

$$\begin{aligned}\Delta U &= Q - W = Q - 0 \\ \Delta U &= Q\end{aligned}$$

## 3. Proses isothermal/isotermik

Pada proses isothermal suhu awal gas  $T_1$  sama dengan suhu akhir gas  $T_2$  ( $T_1 = T_2$ ), karena  $\Delta U = \frac{3}{2} nR \cdot \Delta T = 0$ , maka hukum pertama termodinamika memberikan:

$$\begin{aligned}\Delta U &= Q - W; \\ 0 &= Q - W \\ Q &= W = nRT \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)\end{aligned}$$

## 4. Proses adiabatik

Pada proses adiabatik tidak ada kalor yang keluar atau masuk ke sistem, sehingga  $Q = 0$  dan hukum pertama termodinamika memberikan:

$$\begin{aligned}\Delta U &= Q - W = 0 - W \\ \Delta U &= -W = \frac{3}{2} nR(T_1 - T_2)\end{aligned}$$

### Contoh soal:

Sebanyak 2,4 mol gas oksigen ( $O_2$ ) pada suhu  $47^\circ\text{C}$  dimampatkan secara adiabatik, sehingga suhu mutlak nya meningkat menjadi tiga kali semula. Berapakah besar usaha yang harus diberikan pada gas  $O_2$ ? ( $R = 8,3 \text{ J/mol.K}$ )

### Jawab:

Perhatikan Gas  $O_2$  adalah gas diatomik, sehingga memiliki lima derajat kebebasan

Pada proses adiabatik tidak ada kalor yang masuk atau keluar sistem, sehingga  $Q = 0$

Hukum I termodinamika memberikan:

$$\Delta U = -W = \frac{5}{2} nR(T_1 - T_2)$$

$$W = \frac{5}{2} \cdot 2,4 \cdot (8,1) \cdot (320 - 960)$$

$$W = -31872 \text{ J}$$

## C. Kapasitas Kalor Gas

Kapasitas kalor adalah kalor yang diperlukan oleh suatu zat untuk menaikkan suhu zat sebesar satu kelvin

Definisi kapasitas kalor  $C = \frac{Q}{\Delta T}$  satuan kapasitas kalor: J/K  
 $Q = C \cdot \Delta T$

Kalor yang diberikan kepada gas untuk menaikkan suhunya dapat dilakukan pada tekanan tetap (proses isobarik) atau pada volum tetap (isokhorik). Karena itu ada dua jenis kapasitas kalor yang dikenal pada gas, yaitu *kapasitas kalor pada tekanan tetap*  $C_p$  dan *kapasitas kalor pada volum tetap*  $C_v$ ,

- Kapasitas kalor pada tekanan tetap  $C_p = \frac{Q_p}{\Delta T}$
- Kapasitas kalor pada volume tetap  $C_v = \frac{Q_v}{\Delta T}$

Telah kita bahas bahwa pada volum tetap seluruh kalor yang diberikan pada sistem hanya digunakan untuk menaikkan energi dalam sistem ( $\Delta U = Q_v$ ), sedangkan pada tekanan tetap kalor yang diberikan selain digunakan untuk menaikkan energi dalam juga digunakan untuk melakukan usaha, maka:

$$\begin{array}{l} Q_p = \Delta U + W \\ Q_p = Q_v + W \\ Q_p - Q_v = W \end{array} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} Q_p = C_p \cdot \Delta T \\ Q_v = C_v \cdot \Delta T \end{array} \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} C_p \Delta T - C_v \Delta T = p \cdot \Delta V \\ (C_p - C_v) = \frac{p \cdot \Delta V}{\Delta T} \\ C_p - C_v = nR \end{array}$$

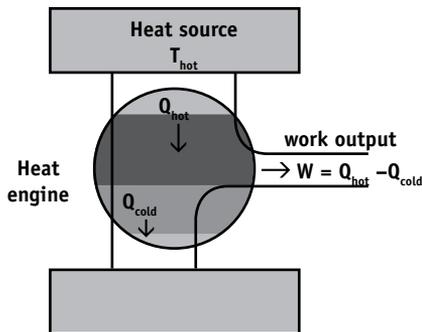
## D. Hukum Kedua Termodinamika

Hukum pertama termodinamika secara esensial adalah hukum kekekalan energi yang memasukkan kalor sebagai model perpindahan energi. Hukum pertama tidak membatasi tentang arah perpindahan kalor yang terjadi. Hukum kedua termodinamika mengatakan bahwa aliran kalor memiliki arah, dengan kata lain tidak semua proses reversibel (arahnya dapat dibalik).

Sebagai contoh beruang kutub berbaring di salju, kalor dari tubuhnya mengalir ke salju sehingga dapat mencairkan salju, tetapi beruang tidak dapat mengambil kalor dari salju untuk menghangatkan tubuhnya. Satu aplikasi penting dari hukum kedua termodinamika adalah mesin kalor, seperti mesin bensin pada mobil.

## 1. Mesin Kalor

Mesin kalor adalah suatu alat yang mengubah energi panas menjadi energi mekanik.



Mesin menyerap sejumlah kalor  $Q_{\text{hot}}$  ( $Q_1$ ) dari sumber panas, melakukan usaha  $W$  dan kemudian membuang kalor  $Q_{\text{cold}}$  ( $Q_2$ ) ke sumber dingin. Karena fluida bekerja dalam satu siklus maka jelas  $\Delta U = 0$ , dengan demikian hukum pertama termodinamika memberikan bahwa usaha  $W$  yang dilakukan oleh mesin kalor sama dengan kalor yang digunakan oleh mesin.

$$Q = Q_1 - Q_2$$

dan

$$W = Q_1 - Q_2$$

*Efisiensi termal* sebuah mesin kalor adalah nilai perbandingan antara usaha yang dilakukan dan kalor yang diserap dari sumber panas (suhu tinggi) selama satu siklus.

Definisi efisiensi mesin kalor

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

### Contoh:

Jika sebuah mesin kalor mempunyai efisiensi 25% dan kehilangan 2700 J pada proses pembuangan, berapakah usaha yang dikerjakan mesin?

Jawab:

Efisiensi mesin  $\eta = 25\%$ , kalor yang dibuang  $Q_2 = 2700$  J, maka usaha  $W$  yang dikerjakan mesin adalah:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$25\% = 1 - \frac{2700}{Q_1}$$

$$0,25 = 1 - \frac{2700}{Q_1}$$

$$0,75 = \frac{2700}{Q_1}$$

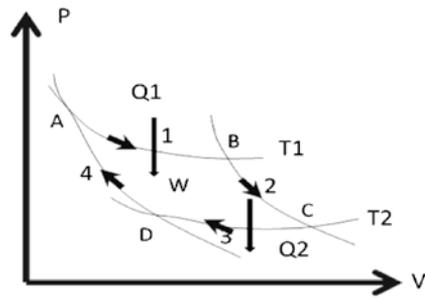
$$Q_1 = \frac{2700}{0,75} = 3600 \text{ J}$$

$$W = Q_1 - Q_2 = 3600 - 2700 = 900 \text{ J}$$

Jadi usaha yang dikerjakan mesin adalah 900 J

## 2. Siklus carnot

Carnot dapat memahami proses dasar yang mendasari usaha oleh semua mesin adalah perubahan dari satu bentuk energi (kalor) menjadi bentuk energi lain (usaha mekanik). Mesin carnot tidaklah memiliki efisiensi 100%, tetapi merupakan mesin yang efisiensinya paling besar dari semua mesin yang mengubah kalor menjadi usaha.



Gambar 10.8 Diagram p - V untuk siklus carnot

- Pada proses pemuaian isotermik (dari A ke B) kalor  $Q_1$  diserap dan pada proses pemampatan isotermik (proses CD) kalor  $Q_2$  dilepaskan.
- Pada proses pemuaian adiabatik (proses BC) dan proses pemampatan adiabatik (proses DA) tidak ada kalor yang keluar ataupun yang masuk sehingga  $Q = 0$

Sesuai dengan hukum I termodinamika:

$$\Delta U = Q - W$$

$$0 = (Q_1 - Q_2) - W$$

$$W = Q_1 - Q_2$$

Dan efisiensi mesin carnot secara nyata adalah

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Untuk gas ideal energi dalam  $U$  sebanding dengan suhu mutlak  $T$ , maka efisiensi maksimum teoritisnya:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Dengan demikian efisiensi mesin carnot

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Untuk semua mesin reversibel yang bekerja dalam siklus antara dua sumber kalor yang sama memiliki efisiensi yang sama. Efisiensi mesin kalor nyata selalu lebih kecil dari pada efisiensi mesin ideal (mesin Carnot)

### Contoh:

Sebuah mesin Carnot bekerja diantara dua reservoir panas  $487^\circ\text{C}$  dan sumber dingin  $107^\circ\text{C}$ . Jika mesin tersebut menyerap kalor  $800\text{ J}$  dari sumber panas, berapakah jumlah kalor yang dibuang dari mesin?

*Jawab:*

Efisiensi mesin  $T_1 = 487^\circ\text{C} = 760\text{ K}$  dan  $T_2 = 107^\circ\text{C} = 380\text{ K}$ , kalor yang serap  $Q_1 = 800\text{ J}$ , maka kalor yang dibuang dari mesin adalah:

$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$1 - \frac{380}{760} = 1 - \frac{Q_2}{800}$$

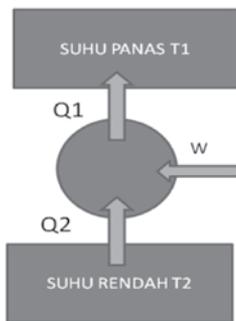
$$0,5 = \frac{Q_2}{800}$$

$$Q_2 = 400 \text{ J}$$

Jadi kalor yang dibuang adalah 400 J

### 3. Mesin Pendingin

Hukum kedua termodinamika berpegang pada kecenderungan alamiah kalor untuk mengalir dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Analogikan dengan air, air mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah. Air dapat mengalir dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi apabila dipaksa dengan suatu alat, misalnya pompa, begitu juga dengan aliran kalor. Kalor dapat mengalir dari benda dingin ke benda yang panas kalau dipaksa. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk memaksa aliran kalor adalah mesin pendingin.



- $T_1 > T_2$
- $Q_2$  = Kalor yang diserap dari suhu rendah
- $Q_1$  = Kalor yang diberikan pada suhu tinggi
- $W = Q_1 - Q_2$  kerja yang diperlukan

Gambar 10.9 Skema sebuah mesin pendingin. Kita harus melakukan usaha pada sistem untuk memindahkan kalor dari sumber dingin ke sumber panas

Pada prinsipnya, prinsip kerja dari mesin pendingin berlawanan arah dengan mesin kalor. Peralatan sehari-hari yang termasuk mesin pendingin adalah kulkas dan pendingin ruangan (AC).



Gambar 10.10 Kulkas



Gambar 10.11 Pendingin ruangan (AC)

Dalam suatu lemari es (kulkas) *gambar 10* bagian dalam bertindak sebagai sumber dingin (pendingin) bagian luar yang lebih hangat bertindak sebagai sumber panas. Kulkas mengambil kalor dari makanan yang tersimpan dalam kulkas dan mengalirkan kalor ke udara disekitar kulkas, dengan demikian kulkas dapat menghangatkan udara disekitarnya.

Mesin pendingin ditunjukkan pada *gambar 11*, pada prinsipnya sama dengan prinsip kerja kulkas. Pada mesin pendingin ruangan dapat mendinginkan ruangan dengan cara memindahkan kalor ke luar ruangan dengan melakukan usaha pada sistem (usaha ini dikerjakan oleh energi listrik), sehingga kalor mengalir dari sumber dingin ke sumber panas.

Ukuran kerja dari mesin pendingin disebut dengan performa dan nilainya dinyatakan dengan koefisien performance ( $K_p$ ), yang besarnya adalah *perbandingan antara kalor yang dipindahkan dari sumber dingin ( $Q_2$ ) dengan usaha ( $W$ ) yang dibutuhkan untuk memindahkan kalor tersebut.*

Definisi koefisien performance:

$$K_p = \frac{Q_2}{W}$$

Koefisien performance paling besar yang mungkin adalah mesin pendingin carnot yang prosesnya adalah kebalikan dari proses mesin kalor carnot.

*Mari kita turunkan persamaannya....*

$$K_p = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \text{ untuk mesin carnot } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ sehingga:}$$

$$K_p = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad \longrightarrow \quad \text{Koefisien performance mesin pendingin carnot}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

- Jika dua benda dalam keadaan seimbang termal dengan benda ketiga, maka ketiga benda itu setimbang termal satu sama lain. Keadaan tersebut dikenal sebagai....
  - Hukum kesetimbangan alam
  - Hukum kalor-suhu
  - Hukum ke nol termodinamika
  - Hukum kesatu termodinamika
  - Hukum kedua termodinamika

Jawaban: C

Pembahasan:

Hukum ke nol termodinamika berbunyi: "Jika 2 buah benda berada dalam kondisi kesetimbangan termal dengan benda yang ke 3, maka ketiga benda tersebut berada dalam kesetimbangan termal satu dengan lainnya". Untuk lebih memahami tentang isi hukum ke nol termodinamika, maka bunyi hukum ini dapat ditulis ulang dengan kata-kata yang lebih sederhana yaitu

“Jika benda A mempunyai temperatur yang sama dengan benda B dan benda B mempunyai temperatur yang sama dengan benda C maka temperatur benda A akan sama dengan temperatur benda C atau disebut ketiga benda (benda A, B dan C) berada dalam kondisi kesetimbangan termal.”

2. Suatu gas yang volumenya  $2 \text{ m}^3$  dipanaskan pada tekanan tetap sehingga volumenya bertambah menjadi  $6 \text{ m}^3$ . Jika usaha yang dilakukan gas  $4 \times 10^5 \text{ J}$ , maka tekanan gas adalah....
- A. 60 kPa                      D. 150 kPa  
 B. 100 kPa                     E. 170 kPa  
 C. 120 kPa

Jawaban: B

Pembahasan:

$$V_1 = 2 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 6 \text{ m}^3$$

$$W = 4 \times 10^5 \text{ J}$$

P....?

Jawab:

$$W = p \cdot \Delta V$$

$$W = p \cdot (V_2 - V_1)$$

$$4 \times 10^5 = p(6 - 2)$$

$$p = \frac{4 \times 10^5}{4}$$

$$p = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$p = 100 \text{ kPa}$$

3. Diantara pernyataan tentang termodinamika berikut ini, yang benar adalah.....
- A. Pada proses isokhorik gas tidak melakukan usaha

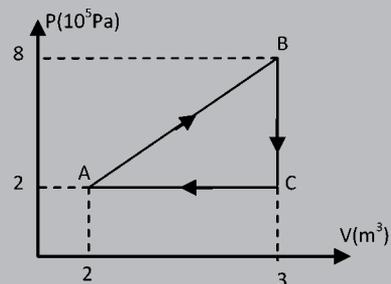
- B. Pada proses isokhorik gas dapat melakukan usaha
- C. Pada proses isobarik gas tidak melakukan atau menerima usaha
- D. Pada proses isobarik selalu diikuti oleh adanya usaha luar
- E. Pada proses adiabatik energi dalam gas menurun

Jawaban: A

Pembahasan:

**Proses Isokorik:** Proses isokorik adalah proses yg dialami oleh gas di mana gas tidak mengalami perubahan volume atau volume tetap. Oleh karena itu, usaha yg dilakukan gas pada proses isokorik adalah nol.

4. Berdasarkan diagram P-V di bawah ini, usaha yang dilakukan tiap siklus adalah....



- A.  $1,5 \times 10^5 \text{ J}$   
 B.  $2,5 \times 10^5 \text{ J}$   
 C.  $3,0 \times 10^5 \text{ J}$   
 D.  $5,2 \times 10^5 \text{ J}$   
 E.  $6,0 \times 10^5 \text{ J}$

Jawaban: C

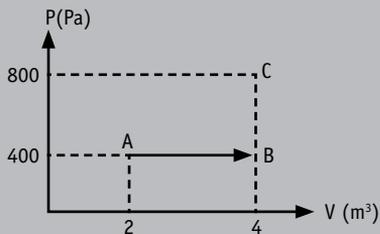
Pembahasan:

Usaha yang dilakukan merupakan luas bidang segitiga

$$W = \frac{1}{2} \times 1 (6 \times 10^5)$$

$$= 3 \times 10^5 \text{ J}$$

5. Gas monoatomik menjalani proses seperti diagram di bawah ini. Jika suhu awal gas 600 K, maka



- (1) Suhu di titik B 1200 K
- (2) Suhu di titik C 2400 K
- (3) Gas tidak melakukan usaha dari titik B ke titik C
- (4) Kalor total yang masuk dalam gas tersebut 4400 J

Pernyataan yang benar adalah....

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

Jawaban: E

Pembahasan:

Semua pernyataan benar

6. 1,5 m<sup>3</sup> gas helium yang bersuhu 27°C dipanaskan secara isobarik sampai 87°C. Jika tekanan gas helium 2 × 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>, gas helium melakukan usaha luar sebesar....
- |           |           |
|-----------|-----------|
| A. 60 kJ  | D. 480 kJ |
| B. 120 kJ | E. 660 kJ |
| C. 280 kJ |           |

Jawaban: A

### Pembahasan

Diketahui:

$$V_1 = 1,5 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 87^\circ\text{C} = 360 \text{ K}$$

$$P = 2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$W = P\Delta V$$

Mencari V<sub>2</sub>:

$$\frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$$

$$V_2 = \left(\frac{V_1}{T_1}\right) \times T_2$$

$$= \left(\frac{1,5}{300}\right) \times 360 = 1,8 \text{ m}^3$$

$$W = P\Delta V = 2 \times 10^5 (1,8 - 1,5)$$

$$= 0,6 \times 10^5 = 60 \times 10^3 = 60 \text{ kJ}$$

7. Mesin Carnot bekerja pada suhu tinggi 600 K, untuk menghasilkan kerja mekanik. Jika mesin menyerap kalor 600 J dengan suhu rendah 400 K, maka usaha yang dihasilkan adalah....

- |          |          |
|----------|----------|
| A. 120 J | D. 148 J |
| B. 124 J | E. 200 J |
| C. 135 J |          |

Jawaban: E

### Pembahasan

$$\eta = \left(1 - \frac{T_r}{T_t}\right) \times 100\%$$

Hilangkan saja 100% untuk memudahkan perhitungan:

$$\eta = \left(1 - \frac{400}{600}\right) = \frac{1}{3}$$

$$\eta = \left(\frac{W}{Q_1}\right)$$

$$\frac{1}{3} = \frac{W}{600}$$

$$W = 200 \text{ J}$$

8. Sebuah mesin Carnot yang menggunakan reservoir suhu tinggi bersuhu 800 K mempunyai efisiensi sebesar 40%. Agar efisiensinya naik menjadi 50%, maka suhu reservoir suhu tinggi dinaikkan menjadi

- A. 900 K                      D. 1180 K  
 B. 960 K                      E. 1600 K  
 C. 1000 K

Jawaban: B

**Pembahasan**

Rumus efisiensi (tanpa %)

$$\eta = 1 - \frac{T_r}{T_t}$$

$$T_r = (1 - \eta)T_t$$

$$T_t = \frac{T_r}{(1 - \eta)}$$

Data dari Efisiensi pertama,

$$T_t = 800 \text{ K}$$

$$\eta = 40\% = 0,4 \rightarrow (1 - \eta) = 0,6$$

Dari sini diperoleh suhu rendah  $T_r$

$$T_r = (1 - \eta) T_t$$

$$T_r = 0,6 \times 800$$

$$T_r = 480 \text{ K}$$

Dari data efisiensi kedua,

$$\eta = 50\% = 0,5 \rightarrow (1 - \eta) = 0,5$$

$$T_r = 480 \text{ K}$$

Suhu tingginya:

$$T_t = \frac{T_r}{(1 - \eta)}$$

$$= \frac{480}{0,5} = 960 \text{ K}$$

## LATIHAN SOAL BAB 10

Pilih lah salah satu jawaban yang tepat

- Dalam teori kinetik gas terdapat anggapan ,bahwa:
  - Tumbukan antara partikel-partikel gas tidak elastic
  - Tumbukan antara partikel-partikel gas elatik sempurna
  - Jarak antara partikel-partikel lebih kecil daripada ukuran partikel
  - Antara partikel-partikel selalu terdapat gaya tarik menarik
  - Antara partikel terdapat gaya tolak menolak
- Proses yang berlangsung pada volume tetap, disebut:

- Adiabtik
- Isobarik
- Isotermik
- Isokhorik
- Siklus carnot

- Efisiensi dari mesin carnot dirumuskan dengan:

A.  $\frac{T_2 - T_1}{T_2}$                       D.  $\frac{T_2 + T_1}{T_2}$

B.  $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$                       E.  $\frac{T_1 + T_2}{T_1}$

C.  $\frac{T_2 - T_1}{T_1}$

- Sebuah mesin bekerja di antara tangki bersuhu 360 K dan 300 K, efisiensi mesin adalah:

- A.  $16\frac{2}{3}\%$                       D.  $83\frac{1}{3}\%$   
 B.  $33\frac{1}{3}\%$                       E.  $20\frac{2}{3}\%$   
 C.  $66\frac{2}{3}\%$

5. Inti dari hukum I termodinamika adalah ....

- A. Dalam Suatu Proses Energy Panas Selalu Tetap  
 B. Dalam Suatu Proses Energy Kinetik Harus Tetap  
 C. Dalam Suatu Proses Energy Dalam Tidak Boleh Berubah  
 D. Dalam Suatu Proses Jumlah Energy Selalu Tetap  
 E. Dalam Suatu Proses Jumlah Ebergi Selalu berubah

6. Dalam sebuah ruang tertutup terdapat N buah partikel gas dengan suhu mutlak T Kelvin. Konstanta Boltzman = k, maka energi kinetik partikel gas tersebut adalah....

- A.  $\frac{3}{2} N k T$                       D.  $2 N k T$   
 B.  $\frac{2}{3} N k T$                       E.  $N k T$   
 C.  $\frac{1}{2} N k T$

7. Sebuah tabung dengan volume 8 liter bertekanan 48 atm bersuhu  $87^{\circ}\text{C}$ . Jika volume tabung diubah menjadi 4 liter dan suhunya dijadikan  $27^{\circ}\text{C}$ , maka tekanan gas menjadi....

- A. 40 atm                      D. 90 atm  
 B. 60 atm                      E. 160 atm  
 C. 80 atm

8. Bila temperatur mutlak suatu gas ideal dinaikan menjadi 9 kali semula,

maka kecepatan partikel-partikel gas itu menjadi ... kali semula.

- A.  $\frac{1}{9}$                       D. 3  
 B.  $\frac{1}{3}$                       E. 9  
 C. 3

9. Suatu gas volumenya  $0,5 \text{ m}^3$  perlahan-lahan dipanaskan pada tekanan tetap hingga volumenya menjadi  $2 \text{ m}^3$ . Jika usaha luar gas tersebut  $3 \times 10^5 \text{ Joule}$ , maka tekanan gas adalah ...

- A.  $6,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$   
 B.  $2,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$   
 C.  $1,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$   
 D.  $6,0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$   
 E.  $3,0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

10. Mesin carnot beroperasi pada suhu  $27^{\circ}\text{C}$  dan  $177^{\circ}\text{C}$  menghasilkan kerja  $10^4 \text{ joule}$ . Panas yang dibuang ke reservoir suhu rendah adalah ...

- A.  $5 \times 10^3 \text{ joule}$   
 B.  $2 \times 10^4 \text{ joule}$   
 C.  $3 \times 10^4 \text{ joule}$   
 D.  $4 \times 10^4 \text{ joule}$   
 E.  $6 \times 10^4 \text{ joule}$

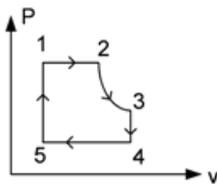
11. Menurut Teori Kinetik Gas, tekanan gas adalah....

- A. berbanding lurus dengan banyaknya partikel gas  
 B. berbanding lurus dengan volume gas  
 C. berbanding terbalik dengan energi kinetik rata-rata partikel gas  
 D. berbanding terbalik dengan suhu mutlaknya  
 E. berbanding terbalik dengan konstanta gas umum

12. Hubungan antara tekanan dan energi kinetik partikel gas dinyatakan dengan  $P \cdot v = \frac{2}{3} N \cdot E_k$

1.  $V$  adalah kecepatan
  2.  $V$  adalah volume
  3.  $N$  adalah banyaknya molekul gas
  4.  $N$  adalah jumlah partikel gas
- A. 1,2 dan 3      D. 1,2,3 dan 4  
 B. 1 dan 3      E. 4 saja  
 C. 2 dan 4

13. Sejumlah gas ideal mengalami proses seperti gambar berikut.



Proses yang menggambarkan adiabatik dan isokhorik berturut-turut ditunjukkan pada nomor

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

14. Suatu pesawat pendingin Carnot mempunyai koefisien kinerja 6,5. Jika reservoir yang tinggi  $27^\circ\text{C}$ , maka reservoir yang bersuhu rendah adalah....

- A.  $-5^\circ\text{C}$       D.  $-12^\circ\text{C}$   
 B.  $-8^\circ\text{C}$       E.  $-13^\circ\text{C}$   
 C.  $-10^\circ\text{C}$

15. Suatu mesin Carnot, jika reservoir panasnya bersuhu 400 K akan mempunyai efisiensi 40%. Jika reservoir panasnya bersuhu 640 K, efisiensi-nya....%

- A. 50,0      D. 62,5  
 B. 52,5      E. 64,0  
 C. 57,0



## A. PENGERTIAN OPTIKA GEOMETRI

Apa sih optika geometri? Optika geometri adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari mengenai sifat pemantulan dan pembiasan cahaya. Sedangkan cabang ilmu yang mempelajari sifat-sifat interferensi, difraksi, dan polarisasi cahaya ada di optika fisis.

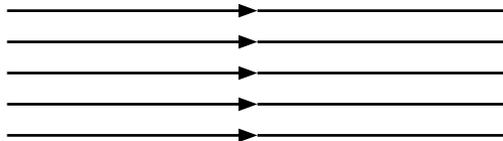
## B. PEMANTULAN CAHAYA

### 1. Berkas Cahaya

Berkas cahaya adalah kelompok sinar-sinar cahaya. Berkas cahaya dibagi 3, yaitu berkas cahaya sejajar, berkas cahaya menyebar, dan berkas cahaya mengumpul.

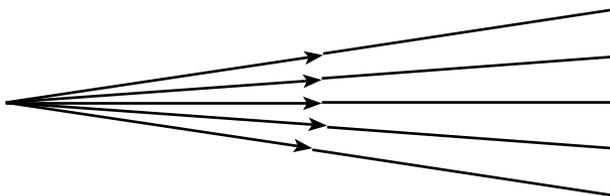
#### a. Berkas Cahaya Sejajar

Berkas cahaya sejajar adalah berkas cahaya yang arahnya sejajar satu sama lain.



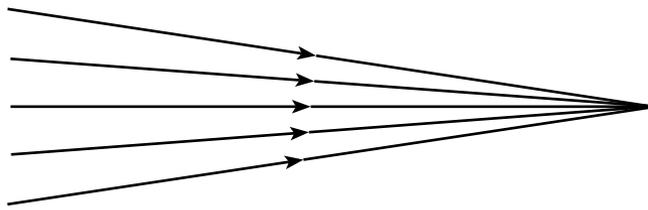
#### b. Berkas Cahaya Menyebar (Divergen)

Berkas cahaya menyebar (divergen) adalah berkas cahaya yang berasal dari satu titik kemudian menyebar ke beberapa arah.



c. Berkas Cahaya Mengumpul (Konvergen)

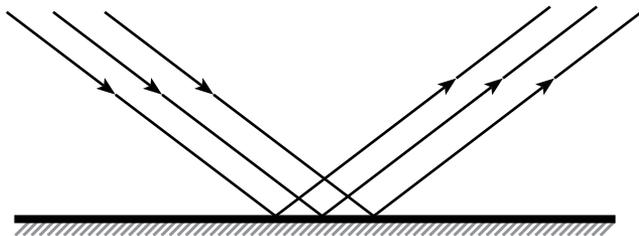
Berkas cahaya mengumpul (konvergen) adalah berkas cahaya yang menuju ke suatu titik tertentu.



## 2. Jenis Pemantulan Cahaya

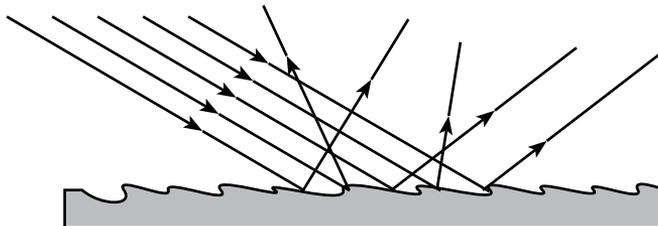
a. Pemantulan Teratur

Pemantulan teratur adalah pemantulan cahaya yang terjadi pada permukaan pantul yang mendatar atau rata.



b. Pemantulan Baur (Difus)

Pemantulan baur (difus) adalah pemantulan cahaya yang terjadi pada permukaan pantul yang tidak rata.



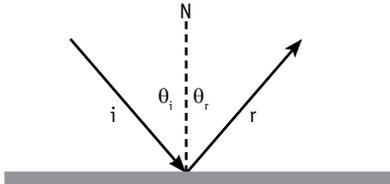
## 3. Hukum Pemantulan Cahaya

- Sinar datang, yaitu sinar yang datang menuju permukaan benda.
- Sinar pantul, yaitu sinar yang dipantulkan dari permukaan benda.
- Titik datang atau titik sinar jatuh, yaitu titik pada permukaan benda di mana sinar jatuh dan dipantulkan.
- Garis normal, yaitu garis yang dibuat melalui titik datang dan tegak lurus permukaan benda.
- Sudut datang, yaitu sudut yang dibentuk antara sinar datang dan garis normal.
- Sudut pantul, yaitu sudut yang dibentuk antara garis normal dan sinar pantul.

## TRIK & TIPS

Pada pemantulan cahaya, berlaku hukum snellius, yaitu :

1. Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal terletak pada satu bidang datar.
2. Sudut datang besarnya sama dengan sudut pantul. ( $i = r$ )



Keterangan:

$i$  = sinar datang

$r$  = sinar pantul

$N$  = garis normal

$\theta_i$  = sudut datang

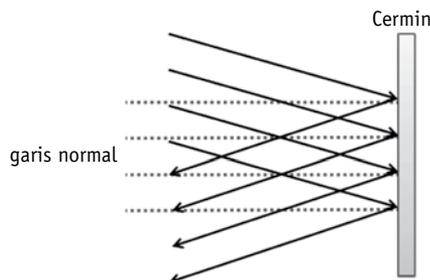
$\theta_r$  = sudut pantul

### C. PEMANTULAN CAHAYA PADA CERMIN DATAR

Cermin datar adalah cermin yang permukaan pantulnya berupa sebuah bidang datar, sedangkan garis normal pada cermin datar adalah garis yang melalui titik jatuh sinar dan tegak lurus bidang cermin.

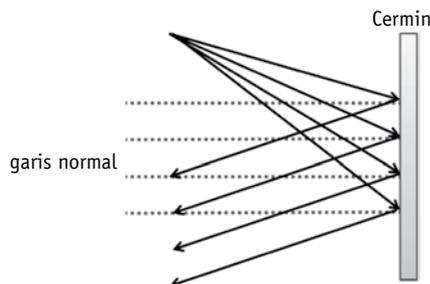
#### 1. Pemantulan Berkas Cahaya yang Datang Sejajar

Berkas cahaya yang datang sejajar yang jatuh pada cermin datar akan dipantulkan sejajar.



#### 2. Pemantulan Berkas Cahaya yang Menyebar (Divergen)

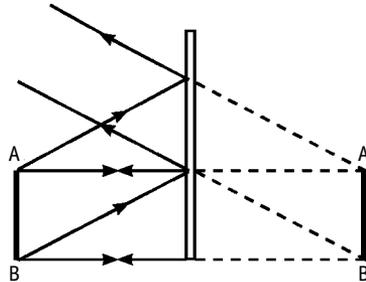
Berkas cahaya yang datang menyebar yang jatuh pada cermin datar akan dipantulkan menyebar pula.



### 3. Pembentukan Bayangan pada Cermin Datar

Untuk melukis bayangan pada cermin datar, kamu harus gunakan hukum pemantulan cahaya, yaitu:

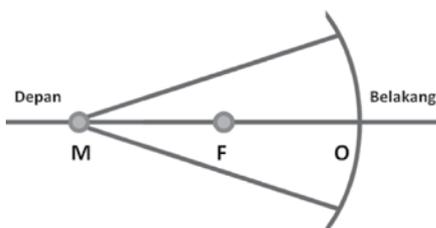
**Sudut Datang = Sudut Pantul**



Sifat-sifat bayangan pada cermin datar adalah

- bayangan yang terbentuk tegak dan menghadap berlawanan arah terhadap bendanya,
- bayangannya maya terletak di belakang cermin,
- bayangannya sama tegak dengan bendanya
- bayangannya sama besar dengan bendanya,
- bayangannya sama tinggi dengan bendanya,
- bentuk bayangan sama dengan bentuk benda,
- jarak bayangan ke cermin sama dengan jarak benda ke cermin, dan
- ukurannya sama dengan ukuran benda.

### D. PEMANTULAN CAHAYA PADA CERMIN CEKUNG



Bagian-bagian cermin cekung:

M = titik pusat kelengkungan cermin

O = titik pusat bidang cermin

F = titik api utama (fokus utama) cermin

Garis MO = sumbu utama cermin

Garis FO = jarak titik api cermin (f)

MO = jari-jari kelengkungan cermin (R)

Pada cermin cekung garis normal adalah garis yang menghubungkan antara titik jatuh sinar pada permukaan cermin dengan titik pusat kelengkungan cermin (M).

#### 1. Pemantulan Berkas Cahaya yang Datang Sejajar

Berkas cahaya yang datang sejajar yang jatuh pada permukaan cermin cekung akan dipantulkan mengumpul (konvergen).

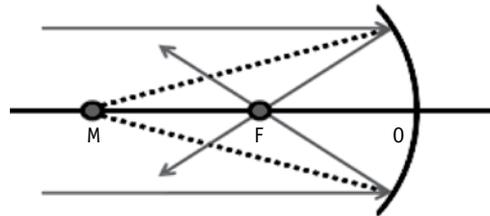
## 2. Pemantulan Berkas Cahaya yang Datang Menyebar

Berkas cahaya yang datang menyebar yang jatuh pada permukaan cermin cekung akan dipantulkan sejajar.

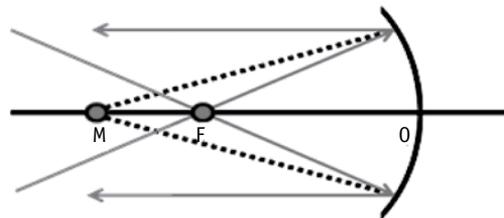
## 3. Pemantulan Sinar-Sinar Istimewa pada Cermin Cekung

Berikut jalannya sinar istimewa jika berkas cahaya mengenai cermin cekung.

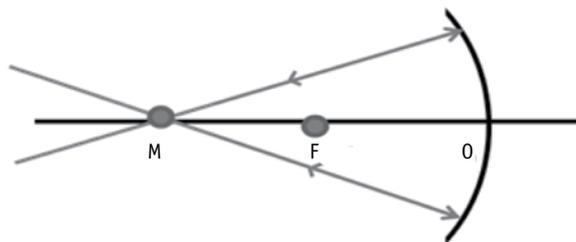
- a. Sinar datang yang sejajar dengan sumbu utama dipantulkan melalui titik fokus (F).



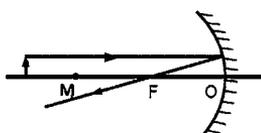
- b. Sinar datang yang melalui titik fokus (F) dipantulkan sejajar dengan sumbu utama.



- c. Sinar datang yang melalui pusat kelengkungan cermin dipantulkan melalui titik pusat kelengkungan cermin tersebut.



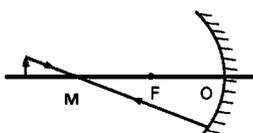
### TRIK & TIPS



sinar datang sejajar sumbu utama



sinar datang melalui titik fokus

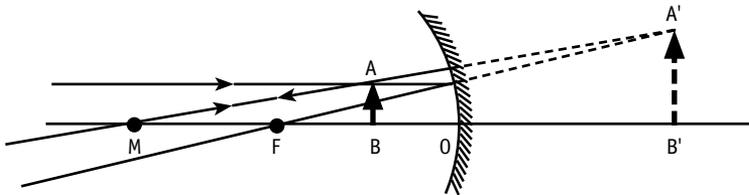


sinar datang melalui pusat kelengkungan

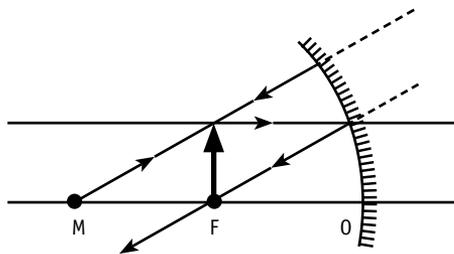
#### 4. Pembentukan Bayangan pada Cermin Cekung

Sifat-sifat bayangan pada cermin cekung, yaitu

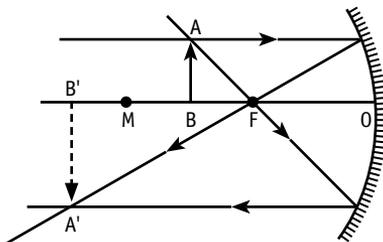
- bila benda berada di antara titik O dan titik F bayangannya adalah maya, tegak dengan bendanya, diperbesar dari bendanya, dan berada di belakang cermin,



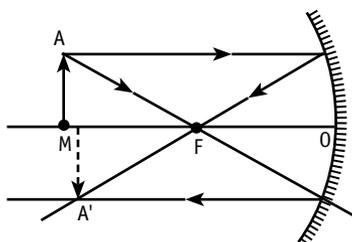
- bila benda berada di titik F, maka titik terbentuk bayangan,



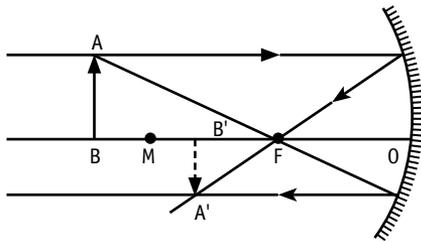
- bila benda berada di antara titik F dan titik M, bayangannya adalah nyata, terbalik dengan bendanya, diperbesar dari bendanya dan berada di depan cermin,



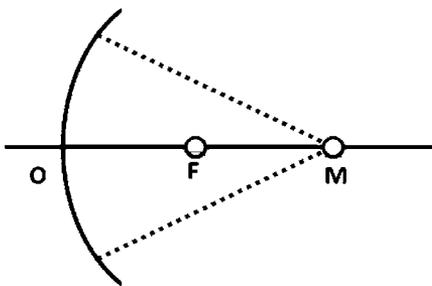
- bila benda berada di titik M. Bayangannya adalah nyata, terbalik dengan bendanya, sama besar dengan bendanya dan berada di depan cermin, dan



- e. bila benda berada di antara titik M dan titik tak terhingga. Bayangannya adalah nyata, terbalik dengan bendanya, diperkecil dari bendanya, berada di depan cermin.



## E. PEMANTULAN SINAR CAHAYA PADA CERMIN CEMBUNG



Bagian-bagian cermin cekung:

M = titik pusat kelengkungan cermin

O = titik pusat bidang cermin

F = titik api utama (fokus utama) cermin

Garis MO = sumbu utama cermin

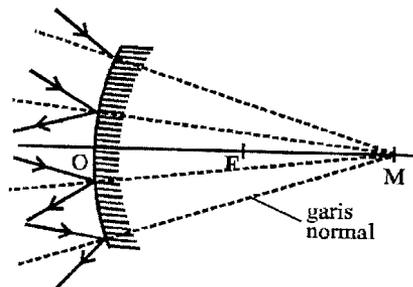
FO = jarak titik api cermin ( $f$ )

MO = jari-jari kelengkungan cermin ( $R$ )

Garis normal pada cermin cembung adalah perpanjangan garis yang menghubungkan antara titik jatuh sinar datang pada cermin dengan titik pusat kelengkungan cermin (M).

### 1. Pemantulan Sinar Datang yang Sejajar

Berkas sinar yang sejajar yang jatuh pada cermin cembung akan dipantulkan menyebar.



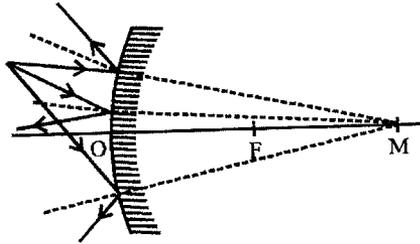
### 2. Pemantulan Sinar Datang yang Menyebar

Berkas sinar datang yang menyebar yang jatuh pada cermin cembung akan dipantulkan menyebar juga.

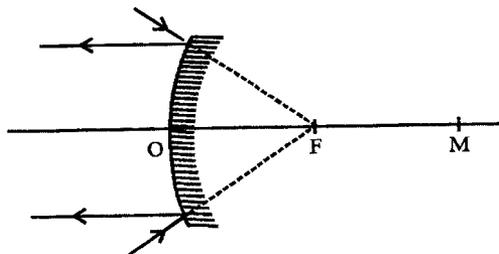
### 3. Pemantulan Sinar-Sinar Istimewa pada Cermin Cembung

Berikut jalannya sinar istimewa jika berkas cahaya mengenai cermin cembung.

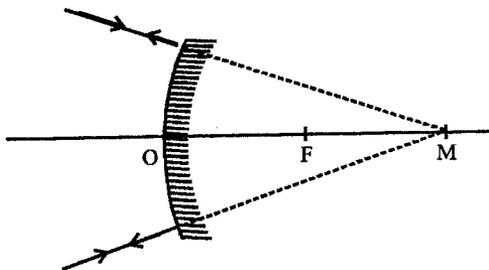
- Sinar datang sejajar sumbu utama akan dipantulkan seolah-olah berasal dari titik fokus (F).



- Sinar datang yang seolah-olah menuju titik fokus (F) dipantulkan sejajar sumbu utama.



- Sinar datang yang seolah-olah menuju ke titik pusat kelengkungan cermin dipantulkan seolah-olah berasal dari titik pusat itu juga.



### 4. Pembentukan Bayangan pada Cermin Cembung

Sifat-sifat bayangan pada cermin cembung adalah

- maya,
- tegak seperti bendanya,
- diperkecil dari bendanya, dan
- benda di belakang cermin.

## F. PERHITUNGAN PADA CERMIN CEKUNG DAN CEMBUNG

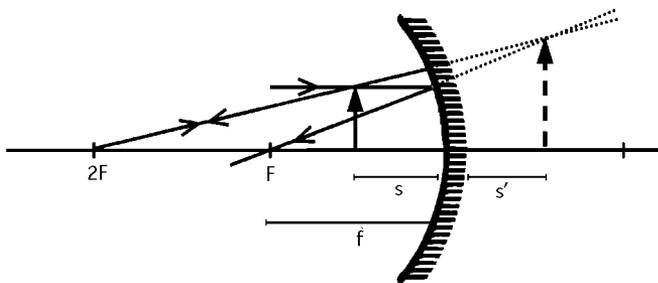
1. Jarak atau panjang fokus adalah jarak antara titik pusat bidang cermin (O) dengan titik fokus utama (F). Jarak fokus dilambangkan dengan  $f$ .

$$\text{Fokus} = f$$

2. Jari-jari cermin adalah jarak antara titik pusat bidang cermin (O) dengan titik pusat kelengkungan cermin (M). Jari-jari cermin dilambangkan dengan  $R$ . Hubungan  $R$  dan  $f$ , yaitu:

$$R = 2f \quad \text{atau} \quad f = \frac{1}{2} R$$

3. Jarak benda adalah jarak antar titik pusat bidang cermin (O) dengan letak benda. Jarak benda dilambangkan dengan  $s$ .
4. Jarak bayangan → jarak antara titik pusat bidang cermin (O) dengan letak bayangan. Jarak bayangan dilambangkan dengan  $s'$ . Pada cermin berlaku rumus:



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

### TRIK & TIPS

Kamu ingat ini perjanjian tanda ini yah :  
 Untuk cermin cekung,  $R$  dan  $f$  positif  
 Untuk cermin cembung,  $R$  dan  $f$  negatif  
 Untuk bayangan nyata,  $s'$  positif  
 Untuk bayangan maya,  $s'$  negatif

5. Perbesaran benda dihitung dengan rumus:

$$M = \frac{h'}{h} = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

Keterangan:

$M$  = perbesaran jika  $0 < M < 1$ , maka bayangan diperkecil  
 $h$  = tinggi benda jika  $M > 1$ , maka bayangan diperbesar.  
 $h'$  = tinggi bayangan

### Contoh soal:

Sebuah benda diletakkan 10 cm di depan cermin cekung. Jika jarak fokus cermin tersebut 6 cm, tentukan jarak bayangan yang dibentuk dan nyatakan sifat-sifatnya.

### Penyelesaian:

Diketahui:

$$s = 10 \text{ cm (di antara } F \text{ dan } M)$$

$$f = 6 \text{ cm}$$

Ditanyakan:  $s'$  dan sifat bayangan?

Jawab:

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

$$\frac{1}{6} = \frac{1}{10} + \frac{1}{s'}$$

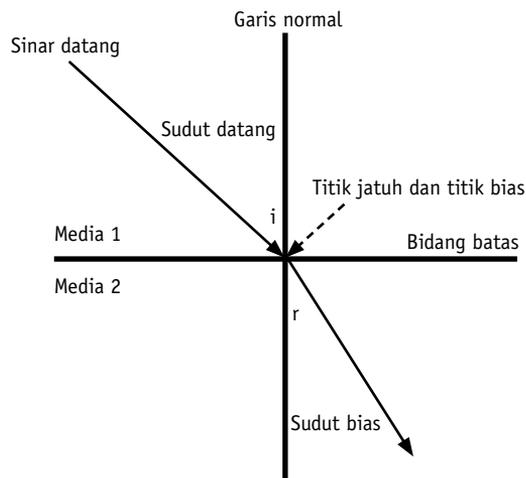
$$\frac{1}{s'} = \frac{10}{60} - \frac{6}{60} = \frac{4}{60}$$

$$s' = 15 \text{ cm}$$

Sifat bayangannya yaitu nyata, diperbesar, dan terbalik.

## G. PEMBIASAN CAHAYA

Apa sih pembiasan cahaya? Pembiasan cahaya adalah pembelokan arah rambat cahaya dari suatu medium menuju medium lain.



Istilah-istilah yang digunakan dalam pembiasan cahaya, yaitu:

- garis normal adalah garis yang melalui titik jatuh sinar dan tegak lurus bidang batas,

- sinar bias adalah sinar hasil pembiasan sinar datang,
- sinar datang adalah sinar yang jatuh pada bidang batas,
- sudut bias adalah sudut yang dibentuk sinar bias dengan garis normal,
- sudut datang adalah sudut yang dibentuk sinar datang dengan garis normal,
- titik bias adalah titik pada bidang batas yang merupakan awal sinar bias, dan
- titik jauh adalah titik pada bidang batas tempat sinar jatuh.

### TRIK & TIPS

- Sinar yang datang dari media kurang rapat ke media yang lebih rapat dibiaskan mendekati garis normal.
- Sinar yang datang dari media lebih rapat ke media kurang rapat dibiaskan menjauhi garis normal.
- Sinar yang datang tegak lurus bidang batas tidak dibiaskan melainkan diteruskan

## 1. Hukum Snellius untuk Pembiasan

Sinar datang, garis normal, dan sinar bias terletak pada satu bidang datar. Pada pembiasan cahaya berlaku rumus:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Keterangan:

$i$  = sudut datang

$r$  = sudut bias

$v_1$  = cepat rambat cahaya pada medium 1

$v_2$  = cepat rambat cahaya pada medium 2

$\lambda_1$  = panjang gelombang cahaya pada medium 1

$\lambda_2$  = panjang gelombang cahaya pada medium 2

$n_1$  = indeks bias medium 1

$n_2$  = indeks bias medium 2

## 2. Indeks Bias

Indeks bias mutlak adalah perbandingan cepat rambat cahaya di udara dengan cepat rambat cahaya pada medium. Indeks bias dirumuskan:

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

Keterangan:

$n$  = indeks bias

$c$  = cepat rambat cahaya di udara

$v$  = cepat rambat cahaya di medium

Indeks bias relatif adalah perbandingan cepat rambat cahaya dalam medium satu terhadap cepat rambat cahaya dalam medium yang lain. Indeks bias relatif dirumuskan:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Keterangan:

$n_{21}$  = indeks bias relatif medium 2 terhadap medium 1

$v_1$  = cepat rambat cahaya pada medium 1

- $v_2$  = cepat rambat cahaya pada medium 2
- $n_1$  = indeks bias medium 1
- $n_2$  = indeks bias medium 2

Tabel 11.1 Indeks Bias Beberapa Medium

No	Medium	Indeks Bias
1	Air	1,333
2	Balsem Kanada	1,5
3	Benzene	1,501
4	Es	1,31
5	Etanol	1,36
6	Gliserol	1,476
7	Hydrogen (0o, 76)	1,00013
8	Kaca Flinta	1,575

No	Medium	Indeks Bias
9	Kaca Korona	1,517
10	Kaca kwarts	1,4585
11	Karbondikosida (0o, 76)	1,00045
12	Karbondisulfida	1,625
13	Karbontetraklorida	1,459
14	Udara (0°, 76)	1,00029
15	Intan	2,417

### 3. Sudut Bias

Bila berkas sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat, pada saat sudut biasnya ( $r$ ) mencapai  $90^\circ$ , maka sudut datangnya disebut dengan sudut batas atau sudut kritis ( $i_k$ ).

### 4. Pemantulan Sempurna

Bila seberkas sinar datang dari medium lebih rapat ke medium kurang rapat dengan sudut datang yang lebih besar dari sudut batas, maka sinar-sinar itu tidak akan dibiarkan melainkan dipantulkan. Peristiwa pemantulan ini dinamakan pemantulan sempurna.

#### Contoh soal:

Seberkas sinar datang dengan sudut datang  $40^\circ$  dari air ke udara. Besarnya sudut bias sinar adalah ... ( $n_{\text{air}} = \frac{4}{3}$ ,  $n_{\text{udara}} = 1$ )

Penyelesaian:

Diketahui:  $i = 40^\circ$

$$n_{\text{air}} = \frac{4}{3}, n_{\text{udara}} = 1$$

Ditanyakan:  $r$ ?

Jawab:

Menurut hukum Snellius:

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

$$\frac{\sin 40}{\sin r} = \frac{1}{\frac{4}{3}}$$

$$\Leftrightarrow \sin r = \frac{4}{3} \times \sin 40^\circ$$

$$\Leftrightarrow \sin r = 0,857$$

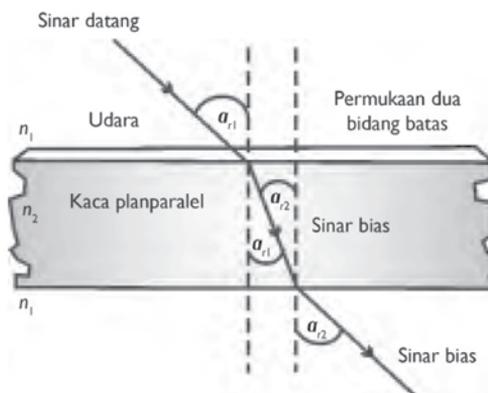
$$r = 59,9^\circ$$

Jadi, sudut biasnya adalah 58,9°.

## H. PEMBIASAN CAHAYA PADA KACA PLAN PARALEL

Jika seberkas sinar datang dari medium dengan indeks bias  $n_1$  ke suatu kaca plan paralel dengan indeks bias  $n_2$  dimana  $n_2 > n_1$ , maka sinar yang keluar akan sejajar dengan sinar yang masuk.

Pergeseran sinar keluar terhadap sinar masuk



Dimana  $t$  merupakan pergeseran sinar dan  $d$  adalah tebal kaca plan paralel. Besarnya pergeseran ( $t$ ) dihitung dengan rumus:

$$t = \frac{d \cdot \sin(i - r)}{\cos r}$$

### Contoh soal:

Sinar masuk yang ke dalam kaca yang mempunyai ketebalan 10 cm dengan sudut datang  $60^\circ$  dan dibiaskan dengan sudut  $30^\circ$ , maka besarnya pergeseran sinar keluar terhadap sinar masuk adalah...

Penyelesaian:

Diketahui:

$$i = 60^\circ; r = 30^\circ; d = 10 \text{ cm}$$

Ditanyakan:  $t$ ?

Jawab:

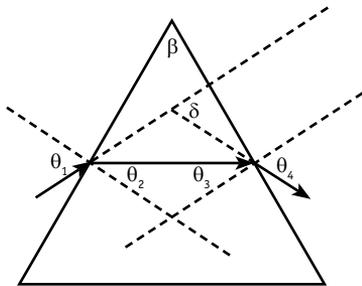
$$\begin{aligned} t &= \frac{d \cdot \sin(i - r)}{\cos r} \\ &= \frac{10 \cdot \sin(60 - 30)}{\cos 30} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{10 \cdot \frac{1}{2}}{\frac{1}{2}\sqrt{3}} \\
 &= \frac{10}{\sqrt{3}} = 5,75 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Jadi, pergeseran sinar keluar terhadap sinar masuk adalah 5,75 cm.

## I. PEMBIASAN CAHAYA PADA PRISMA

Prisma adalah benda bening yang terbuat dari bahan gelas yang dibatasi oleh dua bidang permukaan yang membentuk sudut tertentu. Kedua bidang permukaan itu disebut bidang pembias dan sudut yang dibentuk oleh kedua permukaan dinamakan sudut pembias.



Keterangan:

$\theta_1$  = sudut datang pertama

$\theta_4$  = sudut bias akhir

$\beta$  = sudut pembias prisma

$\delta$  = sudut deviasi

Sudut deviasi adalah sudut yang dibentuk oleh perpanjangan cahaya yang masuk ke prisma dengan cahaya yang meninggalkannya. Pada setiap deviasi rumusnya:

$$\theta_2 + \theta_3 = \beta \quad \text{dan} \quad \theta_1 + \theta_4 = \delta - \beta$$

Deviasi minimum prisma ( $\delta_{\min}$ ) dicapai bila sudut datang pertama sama dengan sudut bias akhir, dirumuskan:

$$\theta_1 = \theta_4$$

Sehingga pada deviasi minimum rumusnya:

$$\theta_1 = \theta_4 \rightarrow 2\theta_1 = 2\theta_4 = \delta_m + \beta$$

$$\theta_2 = \theta_3 \rightarrow 2\theta_2 = 2\theta_3 = \beta$$

Jika indeks bias prima =  $n_p$  dan indeks medium =  $n_m$ , maka rumusnya:

$$\sin \frac{1}{2}(\beta + \delta_m) = \frac{n_p}{n_m} \cdot \sin \frac{1}{2}\beta$$

Jika  $\beta \leq 10^\circ$ , maka rumusnya:

$$\delta_{\min} = \left[ \frac{n_p}{n_m} - 1 \right] \cdot \beta$$

### Contoh soal:

Cahaya monokromatik datang pada sebuah prisma yang mempunyai sudut pembias  $30^\circ$  dan terjadi deviasi minimum. Cahaya meninggalkan prisma dengan sudut bias  $25^\circ$ . Berapakah besarnya sudut datang cahaya pada prisma tersebut ...

Penyelesaian:

Diketahui:

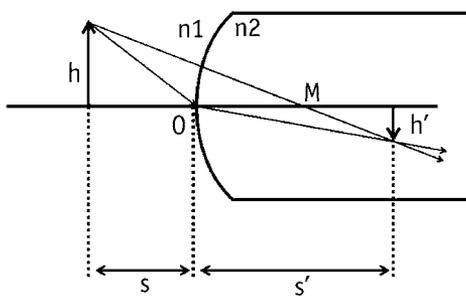
$$\beta = 30^\circ, \theta_4 = 25^\circ$$

Ditanya:  $\theta_1$ ?

Jawab:

Pada saat terjadi deviasi minimum, maka sudut datang = sudut keluar artinya  $\theta_1 = \theta_4$ .  
Jadi,  $\theta_1 = 25^\circ \rightarrow$  besarnya sudut datang cahaya pada prisma adalah  $25^\circ$ .

## J. PEMBIASAN CAHAYA PADA BIDANG LENGKUNG (SFERIS)



Keterangan:

$n_1$  = indeks bias medium tempat sinar datang

$n_2$  = indeks bias bidang lengkung

OM = jari-jari bidang lengkung, yang dinotasikan dengan R

s = jarak benda ke bidang lengkung

$s'$  = jarak bayangan ke bidang lengkung

h = tinggi benda

$h'$  = tinggi bayangan

Pada pembiasan cahaya bidang lengkung rumus-rumusya yaitu:

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R} \quad \text{dan} \quad M = \frac{h'}{h} = \left| \frac{s'}{s} \cdot \frac{n_1}{n_2} \right|$$

Berikut aturan penentuan tanda pada pembiasan cahaya bidang lengkung.

1. Tanda R

- Bila permukaan bidang batas cembung dilihat dari arah sinar datang, maka R positif.
- Bila permukaan bidang batas cekung dilihat dari arah sinar datang, maka R negatif.

2. Tanda  $s'$

- Bila bayangan nyata, maka  $s'$  positif.
- Bila bayangan maya, maka  $s'$  negatif

## K. PEMBIASAN CAHAYA PADA BIDANG DATAR

Pada pembiasan cahaya pada bidang lengkung rumusnya adalah:

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Pada bidang datar  $R = \infty$ , sehingga rumusnya:

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = 0$$

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = 0$$

$$\frac{n_1}{s} = -\frac{n_2}{s'} \text{ atau } s' = \frac{n_2}{n_1} \cdot s$$

### Contoh soal:

Sebuah benda berada pada dasar bejana berisi air sedalam 50 cm. Jika indeks bias air  $\frac{4}{3}$ , dan indeks bias udara = 1, maka berapakah jarak bayangan benda dari permukaan air?

Penyelesaian:

Diketahui:

$$n_1 = 1, n_2 = \frac{4}{3}, s = 50 \text{ cm}$$

Ditanya:  $s'$ ?

Jawab:

$$\begin{aligned} s' &= \frac{n_2}{n_1} \cdot s \\ &= \frac{1}{\frac{4}{3}} \cdot 50 \\ &= -37,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

Jadi, jarak bayangan benda dari permukaan air adalah 37,5 cm

## L. LENSA

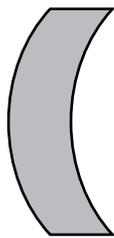
Apa itu lensa? Lensa merupakan benda bening yang dibatasi oleh dua buah bidang lengkung atau satu buah bidang lengkung dan satu buah bidang datar.

### 1. Jenis Lensa

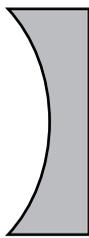
Berdasarkan kelengkungannya lensa digolongkan menjadi dua jenis, yaitu:

a. Lensa cekung atau lensa konkaf, yang meliputi:

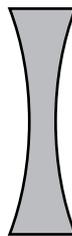
- 1) lensa cekung-cembung atau lensa konveks-konkaf,
- 2) lensa cekung datar atau lensa plankonkaf, dan
- 3) lensa cekung rangkap atau lensa bikonkaf.



konvekskonkaf



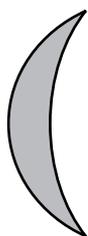
Plankonkaf



bikonkaf

b. Lensa cembung atau lensa konveks, terbagi:

- 1) lensa cembung rangkap atau lensa bikonveks,
- 2) lensa cembung datar atau lensa plan konveks, dan
- 3) lensa cembung-cekung atau lensa konkaf-konveks.



Konkafkonveks

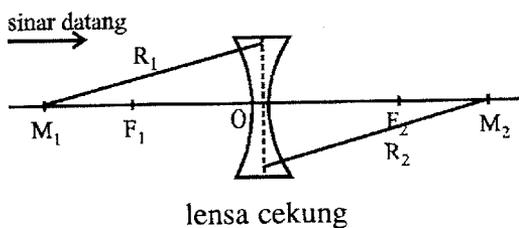


plankonveks

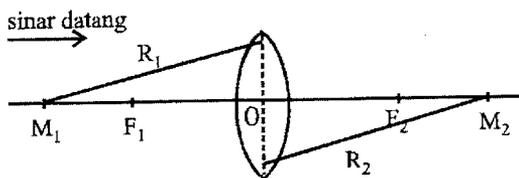


bikonveks

Bagian-bagian lensa cekung dan cembung:



lensa cekung



lensa cembung

Keterangan:

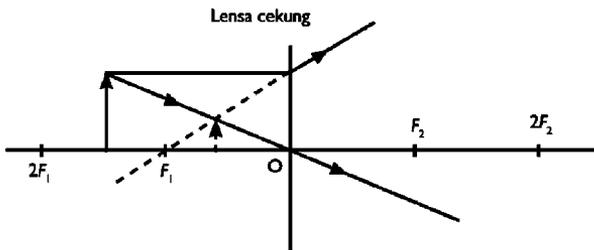
$M_1$  dan  $M_2$  = pusat kelengkungan lensa

$F_1$  dan  $F_2$  = pusat titik fokus

$O$  = pusat optik lensa

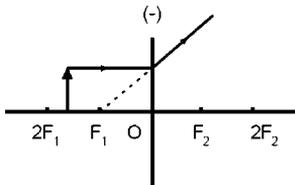
Garis  $M_1 O M_2$  = sumbu utama lensa

## 2. Pembiasan pada Lensa Cekung

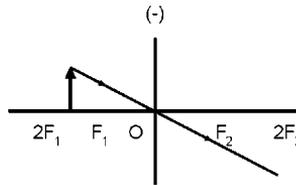


Berikut jalannya sinar istimewa pada pembiasan lensa cekung.

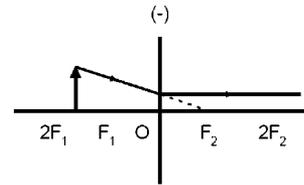
- Sinar datang yang sejajar dengan sumbu utama lensa dibiaskan seolah-olah berasal dari titik fokus.
- Sinar datang yang seolah-olah menuju ke titik fokus dibiaskan sejajar dengan sumbu utama lensa.
- Sinar datang yang melalui pusat optik lensa tidak dibiaskan, tetapi diteruskan.



Sinar datang sejajar sumbu utama



Sinar datang melalui pusat optik



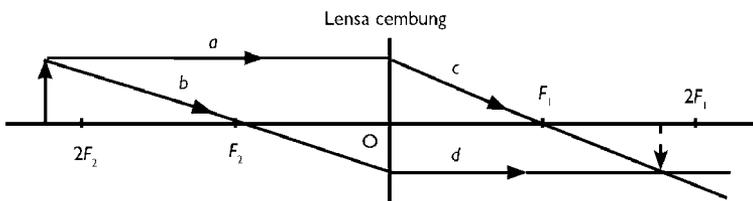
Sinar datang menuju titik fokus

### TRIK & TIPS

Kamu ingat ini yah, bayangan yang dibentuk oleh lensa cekung:

- (1) selalu maya
- (2) Tegak pada bendanya
- (3) Diperkecil dari bendanya
- (4) Berada sepihak dengan bendanya terhadap lensa.

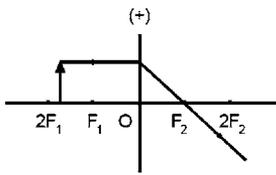
## 3. Pembiasan pada Lensa Cembung



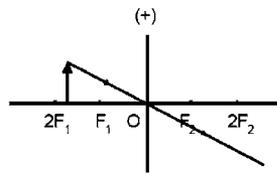
Berikut jalannya sinar istimewa pada pembiasan lensa cembung.

- Sinar datang yang sejajar sumbu utama lensa dibiaskan melalui titik fokus.
- Sinar datang yang melalui titik fokus dibiaskan sejajar dengan sumbu utama lensa.

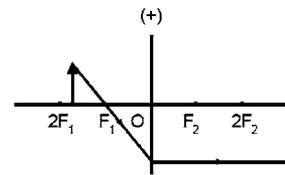
- c. Sinar datang yang melalui pusat optik lensa tidak dibiaskan, tetapi diteruskan.



sinar datang sejajar sumbu utama



sinar datang melalui pusat optik

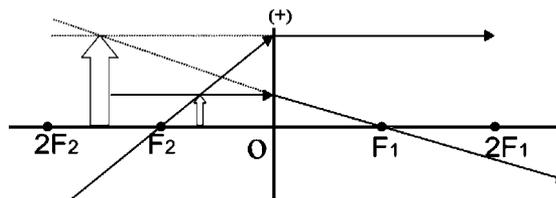


sinar datang melalui fokus depan lensa

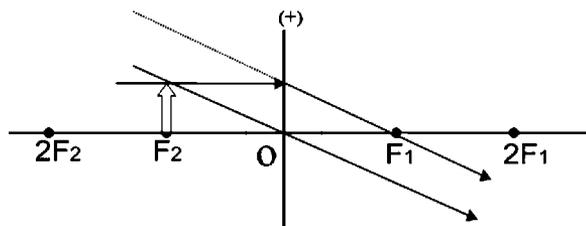
#### 4. Pembentukan Bayangan pada Lensa Cembung

Lensa cembung bersifat konvergen yaitu bersifat mengumpulkan sinar, jadi kalau kamu ingin melukis bayangan yang dibentuk pada lensa cembung dibutuhkan paling sedikit dua sinar istimewa.

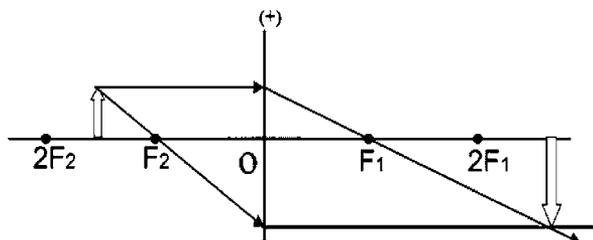
- a. Bila benda berada diantara titik O dan F, maka bayangannya maya, tegak, diperbesar dari bendanya dan letaknya sepihak dengan bendanya dari lensa, dan benda berada di belakang benda.



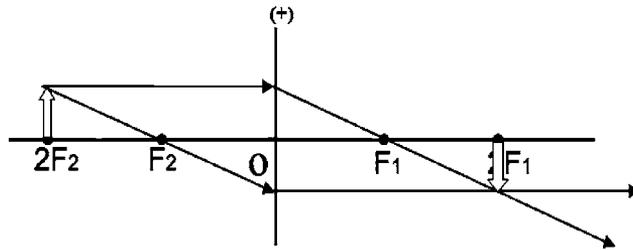
- b. Bila benda berada di titik F, maka tidak terbentuk bayangan.



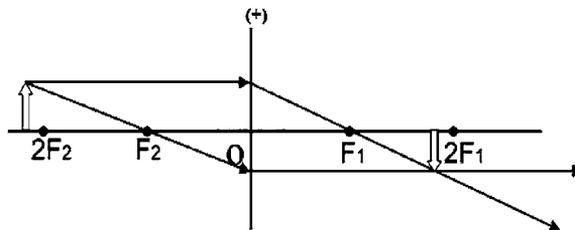
- c. Bila benda berada diantara F dan 2F, maka bayangannya nyata, terbalik, diperbesar dari bendanya dan letaknya tidak sepihak dengan bendanya terhadap lensa.



- d. Bila benda berada di  $2F_2$ , maka bayangannya nyata, terbalik, sama besar dengan bendanya, dan berada di titik  $2F_1$  berlainan pihak dengan bendanya terhadap lensa.



- e. Bila benda berada di titik  $2F_2$  dan tak hingga, maka bayangannya nyata, terbalik, diperkecil dari bendanya dan berada berlainan pihak dengan bendanya terhadap lensa.



## 5. Penentuan Bayangan pada Lensa Cekung dan Lensa Cembung

Rumus penentuan bayangan pada lensa cekung dan cembung adalah

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f} \quad \text{dan} \quad \frac{h'}{h} = \left| \frac{s'}{s} \right|$$

Keterangan:

$M$  = perbesaran

$H$  = tinggi benda

$h'$  = tinggi bayangan

$s$  = jarak benda ke pusat optik lensa

$s'$  = jarak bayangan ke pusat optik lensa

Berikut perjanjian tanda pada lensa.

- a. Untuk benda:
  - 1) benda nyata (di depan lensa):  $s$  positif, dan
  - 2) benda maya (di belakang lensa):  $s$  negatif
- b. Untuk bayangan:
  - 1) bayangan nyata (di belakang lensa):  $s'$  positif, dan
  - 2) bayangan maya (di depan lensa):  $s'$  negatif
- c. Untuk fokus:
  - 1) lensa cembung (konvergen):  $f$  positif, dan
  - 2) lensa cekung (divergen):  $f$  negatif

**Contoh soal:**

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

Penyelesaian:

Untuk menentukan panjang bayangan benda, kita tentukan dahulu bayangan ujung A dan ujung B. Jika diketahui  $f = +10$  cm (karena lensa cembung),  $S_A = 50$  cm, dan  $S_B = 20$  cm

Pada ujung A:

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

$$\frac{1}{s_A'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_A}$$

$$\frac{1}{s_A'} = \frac{1}{10} - \frac{1}{50}$$

$$\frac{1}{s_A'} = \frac{4}{50}$$

$$s_A' = \frac{50}{4} = 12,5 \text{ cm}$$

Pada ujung B:

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

$$\frac{1}{s_B'} = \frac{1}{f} - \frac{1}{s_B}$$

$$\frac{1}{s_B'} = \frac{1}{10} - \frac{1}{20}$$

$$\frac{1}{s_B'} = \frac{1}{20}$$

$$s_B' = \frac{20}{1} = 20 \text{ cm}$$

Jadi, perpanjangan benda  $\rightarrow S_B' - S_A' = 20 - 12,5 = 7,5$  cm

## 6. Kekuatan Lensa

Kekuatan lensa adalah kemampuan lensa untuk mengumpulkan atau menyebarkan berkas cahaya yang diterimanya. Kekuatan lensa berbanding terbalik dengan jarak fokusnya. Rumus:

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

Keterangan:

P = kekuatan lensa (dalam satuan dioptri)

F = jarak fokus lensa (dalam satuan meter)

### TRIK & TIPS

Dioptri  $\rightarrow$  kekuatan lensa yang mempunyai jarak fokus 1 meter.

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

Semakin kecil jarak fokus lensa, semakin besar kekuatannya.

Jika lensa ditempatkan pada suatu medium yang berbeda, maka kekuatan lensa pun akan berbeda. Nah untuk menentukan jarak fokus suatu lensa yang ditempatkan pada suatu medium, kamu pakai rumus ini yah:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_L - n_m}{n_m} \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Keterangan:

$n_L$  = indeks bias lensa

$n_m$  = indeks bias medium

$R_1, R_2$  = jari-jari lensa dalam satuan meter

### TRIK & TIPS

Ingat ini yah:

Jari-jari lensa mempunyai nilai positif (+) jika cembung, nilai negatif (-) jika cekung, dan tak hingga ( $\infty$ ) jika datar.

Nilai  $R_1$  dan  $R_2$  untuk berbagai jenis lensa.

- Lensa cembung rangkap (bikonveks): R positif
- Lensa cembung datar (plan-konveks): R positif
- Lensa cembung-cekung (konkaf-konveks): R positif
- Lensa cekung rangkap (bikonkaf): R negatif
- Lensa cekung datar (plan-konkaf): R negatif
- Lensa cekung cembung (konveks-konkaf): R negatif

#### Contoh soal:

Sebuah lensa plan-konkaf berada di udara dengan jarak fokusnya 40 cm. Kekuatan lensa tersebut adalah ...

Penyelesaian:

Diketahui:  $f = -40 \text{ cm} = -0,4 \text{ m}$  (lensa plan konkaf (-))

Ditanyakan: P?

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

$$P = \frac{1}{-0,4} = -2,5 \text{ dioptri}$$

Jadi, kekuatan lensa plan-konkaf tersebut adalah -2,5 dioptri.

## 7. Lensa Gabungan

Bila beberapa lensa tipis yang masing-masing berkekuatan  $P_1, P_2, P_3, \dots$ , dan jarak fokus masing-masing lensa adalah  $f_1, f_2, f_3, \dots$ , digabung rapat dan sumbu

utama lensanya berimpit, maka rumus kekuatan lensa dan jarak fokus gabungannya adalah

$$P_g = P_1 + P_2 + P_3 + \dots$$
$$\frac{1}{f_g} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots$$

Keterangan:

$P_g$  = kekuatan lensa gabungan

$f_g$  = jarak fokus gabungan

### Contoh soal:

Jika dua buah lensa tipis yang berjarak fokus masing-masing 10 cm dan -20 cm digabungkan, maka kekuatan lensa gabungannya adalah ...

Penyelesaian:

Diketahui:  $f_1 = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

$f_2 = -20 \text{ cm} = -0,2 \text{ m}$

Ditanyakan:  $P_g$ ?

Jawab:  $P_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ dioptri}$

$P_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{-0,2} = -5 \text{ dioptri}$

Kekuatan lensa gabungan

$P_g = P_1 + P_2$

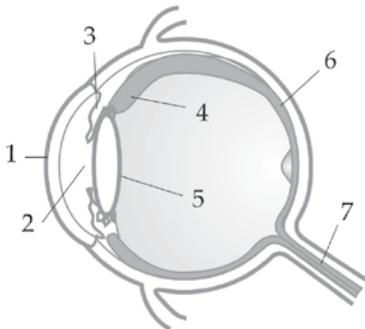
$P_g = 10 \text{ dioptri} + (-5) \text{ dioptri} = 5 \text{ dioptri}$

Jadi, kekuatan lensa gabungannya adalah 5 dioptri

## Alat-Alat Optik

### A. MATA

#### 1. Bagian Penting dan Fungsi Mata



Keterangan:

- 1) kornea mata berfungsi untuk melindungi bagian dalam mata,
- 2) pupil berfungsi sebagai tempat masuknya cahaya ke dalam mata,
- 3) iris berfungsi memberi warna mata dan mengatur besar kecilnya pupil,
- 4) otot mata berfungsi untuk memencembung atau memipihkan lensa mata,

- 5) lensa mata berfungsi untuk membentuk bayangan dari benda yang dilihat,
- 6) retina berfungsi sebagai layar tempat bayangan terbentuk, dan
- 7) saraf mata berfungsi untuk membawa kesan bayangan yang terbentuk ke otak.

## 2. Pembentukan Bayangan pada Mata

- a. Mata dapat melihat suatu benda jika benda tersebut memantulkan cahaya.
- b. Cahaya yang masuk ke mata kemudian dibiaskan oleh lensa mata, sehingga terbentuk bayangan di retina.
- c. Bayangan yang dihasilkan bersifat nyata, terbalik, dan diperkecil.
- d. Bayangan diteruskan ke otak oleh saraf-saraf penglihatan sehingga kita dapat melihat.
- e. Bayangan akan terlihat paling jelas bila jatuh pada bintik kuning, karena bintik kuning adalah bagian yang paling peka terhadap cahaya.

## 3. Daya Akomodasi

- a. Daya akomodasi adalah kemampuan mata untuk mengubah kecembungan lensa mata sehingga bayangan dapat tepat jatuh pada retina.
- b. Jarak antara lensa mata dengan retina adalah tetap.
- c. Untuk melihat benda yang letaknya berubah-ubah, kecembungan lensa mata harus diubah.
- d. Berubahnya kelengkungan lensa berarti berubah pula jarak fokus lensa.
- e. Jika mata melihat benda yang jauh letaknya, otot mata dalam keadaan rileks dan lensa mata menjadi lebih pipih (menipis). Tetapi jika mata melihat benda yang dekat, otot mata dalam keadaan mengencang dan lensa mata menjadi lebih cembung (tebal).
- f. Keadaan tanpa akomodasi adalah saat otot mata dalam keadaan istirahat dan lensa dalam keadaan menipis (pipih). Hal ini terjadi pada saat mata melihat benda yang jauh letaknya.
- g. Keadaan berakomodasi maksimal adalah saat otot mengencang dan lensa mata dalam keadaan cembung maksimal.

## 4. Titik Jauh dan Titik Dekat

- a. Titik jauh (*punctum remotum*) adalah titik terjauh dari mata yang masih dapat dilihat dengan mata dalam keadaan tidak berakomodasi.
- b. Titik dekat (*punctum proximum*) adalah titik terdekat dari mata yang masih dapat dilihat dengan jelas oleh mata dalam keadaan berakomodasi maksimal.
- c. Orang dewasa dengan mata normal titik jauhnya terletak pada jarak tak terhingga ( $\infty$ ) sedangkan titik dekatnya adalah 25 cm.

### TRIK & TIPS

Ingat istilah-istilah ini yah:

Titik dekat ( $S_n$ ) atau punctum proksium (PP) → titik dekat yang masih terlihat jelas oleh mata berakomodasi maksimum.

Titik jauh atau punctum remotum (pr) → titik terjauh yang masih jelas terlihat oleh mata tak berakomodasi.

Daya akomodasi mata → kemampuan lensa mata memipih atau mencembung untuk menyesuaikan jarak benda yang terlihat.

## 5. Cacat Mata

### a. Rabun Jauh (Miopi)

- 1) Penderita rabun jauh (miopi) tidak dapat melihat benda-benda yang letaknya jauh dengan jelas karena lensa tidak dapat dipipihkan sehingga sinar-sinar sejajar yang datang dari tempat yang jauh akan membentuk bayangan di depan retina.
- 2) Titik jauh penderita miopi  $< \sim$ .
- 3) Penderita rabun jauh (miopi) dapat ditolong dengan menggunakan kaca mata yang berlensa cekung atau negatif.
- 4) Kekuatan lensa yang digunakan oleh penderita miopi tergantung pada titik jauh penderitanya.
- 5) Jadi, agar dapat melihat benda-benda pada jarak tak terhingga ( $\sim$ ), seperti mata normal, penderita rabun jauh harus menggunakan lensa kaca mata yang menghasilkan bayangan di depan lensa pada jarak yang sama dengan titik jauh penderita.
- 6) Bayangan yang terbentuk bersifat maya sehingga  $s' =$  titik jauh penderita.
- 7) Rumus pada lensa cekung, yaitu

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

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

Keterangan:

$s =$  titik terjauh mata normal, yaitu  $\sim$

$s' =$  titik jauh penderita (bernilai (-) karena bayangan yang terlihat maya (dalam satuan m))

**Contoh soal:**

Seseorang menggunakan lensa kacamata negatif berkekuatan 0,5 dioptri. Titik jauh orang tersebut adalah ...

Penyelesaian:

Diketahui:  $P = -0,5$  dioptri,  $s = \infty$  (titik jauh mata normal)

Ditanyakan: titik jauh ( $s'$ )?

Jawab: Kekuatan lensa dihitung dengan rumus

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

Sedangkan pada lensa berlaku hubungan

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}, \text{ maka } \frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = P$$

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{s'} = -0,5$$

$$s' = \frac{1}{-0,5} = -2 \text{ meter}$$

Jadi, titik jauh orang tersebut adalah 2 meter.

b. Rabun Dekat (Hipermetropi)

- 1) Penderita rabun dekat (hipermetropi) tidak dapat melihat benda-benda yang letaknya dekat dengan jelas, meskipun mata telah berakomodasi maksimal karena lensa mata tidak dapat dicembungkan sebagaimana mestinya, sehingga sinar-sinar dari benda yang dekat akan membentuk bayangan di belakang retina.
- 2) Titik dekat penderita hipermetropi  $>25$  cm.
- 3) Penderita rabun dekat dapat ditolong dengan kacamata yang berlensa cembung atau positif.
- 4) Kekuatan lensa yang digunakan oleh penderita hipermetropi tergantung pada titik dekat penderita. Agar dapat melihat benda pada jarak baca normal (25 cm), maka penderita rabun dekat harus menggunakan lensa kacamata yang menghasilkan bayangan di depan lensa pada jarak yang sama dengan titik dekat penderita.
- 5) Bayangan yang terlihat adalah maya sehingga  $s' = -$  titik dekat penderita.
- 6) Rumus pada lensa cembung:

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

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

Keterangan:

$s$  = titik dekat mata normal (25 cm)

$s'$  = titik dekat penderita (bernilai  $-$ ) karena bayangan yang terbentuk maya

**Contoh soal:**

Seseorang menggunakan lensa kacamata positif berkekuatan 0,5 dioptri. Titik dekat orang tersebut adalah ...

Penyelesaian:

Diketahui :  $P = 0,5$  dioptri,  $s = 25$  cm = 0,25 m (mata normal)

Ditanyakan :  $s'$ ?

$$\text{Jawab} \quad : \quad P = \frac{1}{f}$$

$$P = \frac{1}{f} = 0,5$$

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

$$\frac{1}{0,25} + \frac{1}{s'} = 0,5$$

$$\frac{1}{s'} = 0,5 - \frac{1}{0,25}$$

$$\frac{1}{s'} = 0,5 - 4 = -3,5$$

$$s' = -0,286$$

$$s' = -28,6 \text{ cm}$$

Jadi, titik dekat penderita tersebut adalah 28,6 cm.

c. Mata Tua (Presbiopi)

- 1) Mata tua (Presbiopi) merupakan penglihatan tidak normal disebabkan oleh berkurangnya daya akomodasi seseorang karena usia lanjut.
- 2) Penderita presbiopi tidak dapat melihat benda yang terlalu jauh dan terlalu dekat dengan jelas.
- 3) Penderita presbiopi mempunyai titik dekat  $> 25$  cm dan titik jauh  $< \infty$ .
- 4) Penderita presbiopi dapat ditolong dengan menggunakan kacamata berlensa rangkap yaitu lensa cekung di bagian atas dan lensa cembung di bagian bawah.

d. Astigmatisma

- 1) Penderita astigmatisma tidak mampu melihat garis-garis horizontal dan vertikal secara simultan (bersama-sama).
- 2) Hal ini disebabkan oleh bentuk kornea mata yang tidak berbentuk bola melainkan lebih melengkung pada satu bidang daripada bidang yang lain.
- 3) Penderita astigmatisme dapat ditolong dengan menggunakan lensa silindris.

## EASY-AWAY

Untuk menghafal ciri-ciri cacat mata, ini rumus cepatnya:

**Mata normal (Emetrop)** →  $S_n = 25 \text{ cm}$ ;  $p_r = \sim$

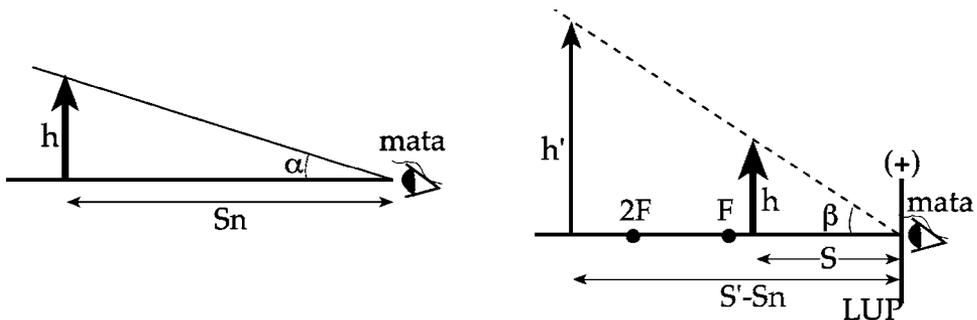
**Rabun jauh (miopi)** →  $S_n < 25 \text{ cm}$ ;  $p_r < \sim$  → Dibantu dengan kacamata berlensa cekung (negatif)

**Rabun dekat (hipermetropi)** →  $S_n > 25 \text{ cm}$ ;  $p_r = \sim$  → Dibantu dengan kacamata berlensa cembung (positif)

**Mata tua (presbiopi)** →  $S_n > 25 \text{ cm}$ ;  $p_r < \sim$  → Dibantu dengan kacamata berlensa rangkap (positif dan negatif)

## B. LUP ATAU KACA PEMBESAR

Lup (kaca pembesar) adalah alat optik yang terdiri dari sebuah lensa cembung yang digunakan untuk mengamati benda-benda kecil sehingga tampak lebih besar dan jelas. Bayangan yang dihasilkan oleh lup yaitu maya, tegak, dan diperbesar.



### 1. Pengamatan Lup dengan Mata Tak Berakomodasi

- Untuk mata yang tak berakomodasi, bayangan yang dibentuk lup terletak di titik jauh. Untuk mata normal  $s' = \infty$ .
- Agar bayangan terletak di titik jauh, maka benda harus diletakkan di titik fokus. Jadi untuk mata yang tak berakomodasi,  $s = f$  dan  $s' = \infty$ .
- Perbesaran sudut (angular) lup untuk mata yang tak berakomodasi adalah

$$M = \frac{S_n}{f}$$

Keterangan:

$M$  = perbesaran sudut

$S_n$  = arak titik dekat pengamat

$f$  = jarak fokus

## 2. Pengamatan Lup dengan Mata Berakomodasi Maksimum

- Untuk mata yang berakomodasi maksimum, bayangan yang dibentuk lup terletak di titik dekat ( $s' = -s_n$ ).
- Perbesaran sudut (angular) lup untuk mata yang berakomodasi maksimum adalah

$$M = \frac{S_n}{f} + 1$$

## 3. Pengamatan Lup dengan Mata Berakomodasi pada Jarak X

- Bayangan yang dibentuk lup terletak pada jarak  $x$  di depan mata sehingga  $s' = -x$ .
- Perbesaran sudut menggunakan persamaan:

$$M = \frac{S_n}{f} + \frac{S_n}{x}$$

### Contoh soal:

Sebuah lup mempunyai jarak fokus 5 cm, digunakan untuk melihat benda kecil yang berjarak 5 cm dari lup. Perbesaran angular lup itu adalah ...

Penyelesaian:

Diketahui:  $f = 5$  cm

$s = 5$  cm

Benda diletakan di titik fokus sehingga bayangan yang dibentuk oleh lup terletak di titik jauh. Dalam keadaan ini mata tidak berakomodasi.

Ditanya:  $M$ ?

Jawab:  $M = \frac{S_n}{f}$

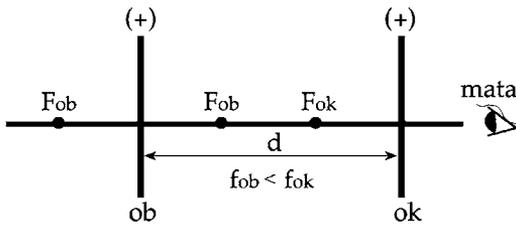
Karena titik dekat mata normal adalah 25 cm, maka  $S_n = 25$  cm.

$$M = \frac{25}{5} = 5$$

Jadi, perbesaran angularnya yaitu 5 kali.

## C. MIKROSKOP

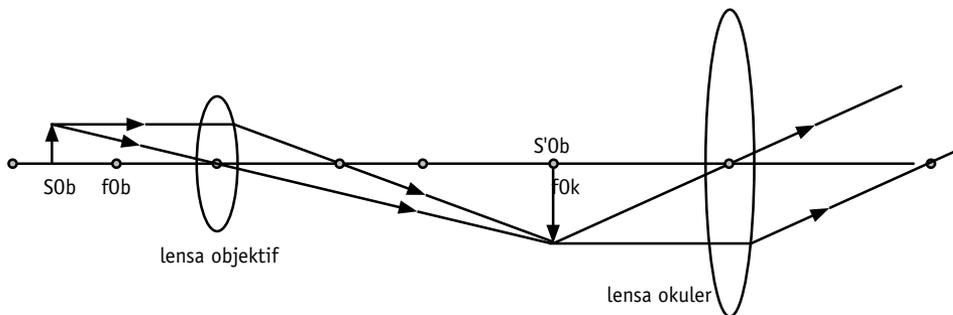
- Mikroskop adalah alat optik yang digunakan untuk melihat benda-benda yang sangat kecil atau mikroskopis.
- Mikroskop terdiri atas susunan dua lensa cembung, yaitu lensa objektif dan lensa okuler.



- Lensa objektif adalah lensa cembung yang dekat dengan benda.
- Lensa okuler adalah lensa cembung yang dekat dengan mata.
- Jarak fokus lensa okuler lebih panjang daripada fokus lensa objektif.
- Benda yang akan diamati diletakkan diantara titik F dan 2F dari lensa objektif ( $F_{OB} < S_{OB} < 2 F_{OB}$ ).
- Bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif bersifat nyata, terbalik dan diperbesar.
- Bayangan yang dibentuk oleh lensa okuler bersifat maya, terbalik, dan diperbesar.

### 1. Pengamatan Mikroskop Tanpa Akomodasi

Jika mata tidak berakomodasi, maka bayangan benda yang dibentuk oleh lensa objektif berada di titik fokus lensa okuler sehingga bayangan yang dibentuk oleh lensa okuler berada di tak terhingga. Perhatikan gambar berikut!



Perbesaran dari lensa objektif, rumusnya:

$$M_{OB} = \frac{S'_{OB}}{S_{OB}}$$

Perbesaran dari lensa okuler, rumusnya:

$$M_{OK} = \frac{S'_{OK}}{S_{OK}} \text{ atau } M_{OK} = \frac{Sn}{f_{OK}}$$

Perbesaran mikroskop, rumusnya:

$$M_{TOT} = |M_{OB} \times M_{OK}|$$

$$M_{TOT} = \left| \frac{S'_{OB}}{S_{OB}} \times \frac{Sn}{f_{OK}} \right|$$

Panjang mikroskop adalah jarak lensa objektif dengan lensa okuler, rumusnya:

$$d = S'_{OB} + S_{OK} \text{ atau } d = S'_{OB} + f_{OK}$$

Keterangan:

$M_{OB}$  = perbesar dari lensa objektif

$M_{OK}$  = perbesar dari lensa okuler

$M_{TOT}$  = perbesar total pada mikroskop

$S_{OB}$  = jarak benda terhadap lensa objektif

$S'_{OB}$  = jarak bayangan terhadap lensa objektif

$Sn$  = jarak titik dekat mata pengamat

$f_{OK}$  = jarak fokus lensa okuler

### Contoh soal:

Mikroskop disuatu laboratorium mempunyai panjang tabung 24,1 cm. Panjang fokus objektifnya 4 mm dan panjang fokus okulernya 5 cm. Jika mata mengamati benda tanpa berakomodasi, maka jarak benda terhadap lensa objektif adalah...

Penyelesaian:

Diketahui :  $f_{OB} = 4 \text{ mm}$

$f_{OK} = 5 \text{ cm} = 50 \text{ mm}$

$d = 21,4 \text{ cm} = 214 \text{ mm}$

Ditanyakan :  $S_{OB}?$

Jawab : Untuk mata tanpa berakomodasi:  $S_{OK} = f_{OK} = 50 \text{ mm}$

Panjang tabung:  $d = S'_{OB} + S_{OK}$

$$\begin{aligned} S'_{OB} &= d - S_{OK} \\ &= 214 - 50 \\ &= 164 \text{ mm} \end{aligned}$$

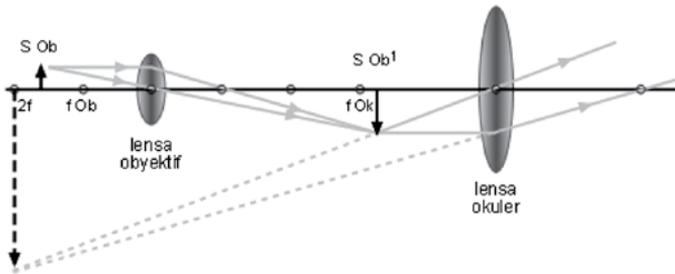
Pada lensa objektif berlaku rumus:

$$\begin{aligned} \frac{1}{f_{OB}} &= \frac{1}{S'_{OB}} + \frac{1}{S_{OB}} \\ \frac{1}{S_{OB}} &= \frac{1}{f_{OB}} - \frac{1}{S'_{OB}} \\ \frac{1}{S_{OB}} &= \frac{1}{4} - \frac{1}{164} \\ \frac{1}{S_{OB}} &= \frac{40}{164} \\ S_{OB} &= \frac{164}{40} = 4,1 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jadi, jarak benda terhadap lensa objektif adalah 4,1 mm.

## 2. Pengamatan Mikroskop dengan Akomodasi Maksimum

Jika mata berakomodasi maksimum, bayangan yang dibentuk lensa objektif berada pada jarak  $s'_{OB}$  atau berjarak  $s_{OK}$  terhadap lensa okuler. Bayangan yang dibentuk oleh lensa okuler berada pada titik dekat mata sehingga  $S'_{OK} = -S_n$ . Perhatikan gambar berikut!



Perbesaran lensa objektif, rumusnya:

$$M_{OB} = \frac{S'_{OB}}{S_{OB}}$$

Perbesaran dari lensa okuler, rumusnya:

$$M_{OK} = \frac{S_n}{f_{OK}} + 1$$

Perbesaran total mikroskop, rumusnya:

$$M_{TOT} = \left| \frac{S'_{OB}}{S_{OB}} \times \left( \frac{S_n}{f_{OK}} + 1 \right) \right|$$

Panjang mikroskop, rumusnya:

$$d = S'_{OB} + S_{OK}$$

### Contoh soal:

Mikroskop mempunyai lensa objektif yang menghasilkan perbesaran 100 kali. Mikroskop itu digunakan oleh orang yang titik dekatnya 25 cm, agar memperoleh perbesaran total 600 kali, maka jarak fokus okuler yang diperlukan bila mata berakomodasi maksimum adalah...

Penyelesaian:

Diketahui :  $M_{OB} = 100$  kali

$M_{TOT} = 600$  kali

$S_n = 25$  cm

Ditanyakan :  $f_{OK}$ ?

Jawab :  $M_{TOT} = M_{OB} \times M_{OK}$   
 $M_{TOT} = \left| \frac{S'_{OB}}{S_{OB}} \times \left( \frac{S_n}{f_{OK}} + 1 \right) \right|$   
 $600 = 100 \times \left( \frac{25}{f_{OK}} + 1 \right)$

$$6 - 1 = \frac{25}{f_{OK}}$$

$$f_{OK} = 5 \text{ cm}$$

Jadi, jarak fokus okulernya adalah 5 cm.

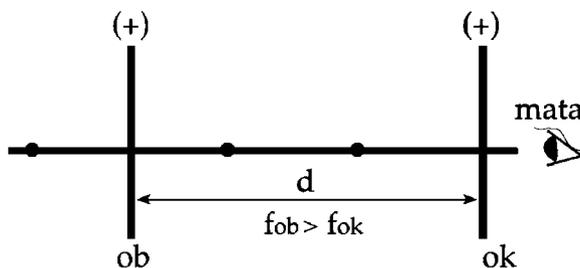
## D. TEROPONG ATAU TELESKOP

Teropong atau teleskop adalah alat optik yang digunakan untuk melihat benda-benda yang sangat jauh agar tampak lebih dekat dan jelas. Dua jenis utama teropong, yaitu teropong bias dan teropong pantul.

1. Teropong bias (lensa), yang terdiri dari beberapa lensa, contohnya teropong bintang, teropong bumi, teropong prisma, dan teropong panggung.
2. Teropong pantul (cermin), yang terdiri dari beberapa lensa dan cermin.

### 1. Teropong Bintang

- Teropong bintang merupakan alat optik yang digunakan mengamati objek-objek yang berada di angkasa luar.
- Teropong bintang terdiri atas dua lensa cembung yang merupakan lensa objektif dan lensa okuler.



- Jarak fokus lensa objektif lebih panjang dari jarak fokus lensa okuler ( $f_{OB} > f_{OK}$ ).
- Lensa objektif teropong membentuk bayangan yang bersifat nyata, terbalik, dan diperkecil
- Lensa okuler membentuk bayangan yang bersifat maya, terbalik, dan diperbesar.

#### a. Pengamatan Teropong Bintang dengan Mata Tak Berakomodasi

- 1) Jika mata pengamat tidak berakomodasi, bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif berada sekaligus di titik fokus lensa objektif berimpit dengan titik fokus lensa okuler.
- 2) Lensa okuler akan membentuk bayangan yang berada di tempat tak terhingga.

Perbesaran sudut teropong, rumusnya:

$$M = \frac{S'_{OB}}{S_{OK}}$$

Untuk mata tak berakomodasi  $s'_{OB} = f_{OB}$  dan  $s_{OK} = f_{OK}$ , rumusnya:

$$M = \frac{f_{OB}}{f_{OK}}$$

Panjang teropong (jarak antarlensa), rumusnya:

$$d = f_{OB} + f_{OK}$$

- b. Pengamatan Teropong Bintang dengan Mata Berakomodasi Maksimum  
Jika mata pengamat berakomodasi maksimum, maka bayangan yang dibentuk oleh lensa objektif tetap berada pada titik fokus lensa objektif dan berada di antara titik pusat optik dan titik fokus lensa okuler.

Perbesaran sudut teropong, rumusnya:

$$M = \frac{S'_{OB}}{S_{OK}}$$

Untuk mata yang berakomodasi maksimum  $s'_{OB} = f_{OB}$ , dan  $s'_{OK} = -S_n$ , rumusnya:

$$M = \frac{f_{OB}}{f_{OK}} \quad M = \frac{f_{OB}}{f_{OK}} \cdot \left( \frac{S_n + f_{OK}}{S_n} \right)$$

Panjang teropong, rumusnya:

$$d = f_{OB} + f_{OK}$$

### Contoh soal:

Perbesaran sudut suatu teleskop dengan  $f_{okuler} = 25$  cm dan  $f_{objektif} = 75$  cm adalah....

Penyelesaian:

Diketahui :  $f_{OB} = 75$  cm

$f_{OK} = 25$  cm

Ditanyakan : M?

Jawab : Perbesaran sudut pada teropong:

$$\begin{aligned} M &= \frac{f_{OB}}{f_{OK}} \\ &= \frac{75}{25} = 3 \text{ kali} \end{aligned}$$

Dengan demikian perbesaran sudutnya adalah 3 kali.

## 2. Teropong Bumi

- Teropong bumi digunakan untuk mengamati benda-benda yang berada di permukaan bumi.

- Teropong bumi terdiri dari tiga lensa cembung, yaitu lensa objektif, lensa okuler, dan lensa pembalik yang terletak diantara lensa objektif dan lensa okuler.

a. Pengamatan Teropong Bumi dengan Mata Tak Berakomodasi

- 1) Mata yang tidak berakomodasi, bayangan yang dibentuk lensa objektif (bersifat nyata, terbalik, dan diperkecil) berada pada titik fokus lensa objektif yang merupakan titik 2F lensa pembalik.
- 2) Pada lensa pembalik akan dibentuk bayangan di titik 2F yang lain yang bersifat nyata, terbalik, dan sama besar.
- 3) Pada lensa okuler dibentuk bayangan yang bersifat → maya tegak dan diperbesar yang terletak di tempat tak terhingga ( $s'_{OK} = -\infty$ )

Perbesaran sudut, rumusnya:

$$M = \frac{f_{OB}}{f_{OK}}$$

Panjang teropong, rumusnya:

$$d = f_{OB} + 4f_{pb} + f_{OK}$$

Dimana  $f_{pb}$  adalah jarak fokus lensa pembalik

b. Pengamatan Teropong Bumi dengan Mata Berakomodasi Maksimum

- 1) Mata yang berakomodasi maksimum, bayangan yang dibentuk oleh lensa pembalik berada di antara titik fokus ( $f_{OK}$ ) dan titik pusat optik lensa okuler.
- 2) Pada lensa okuler dibentuk bayangan yang bersifat maya, tegak, dan diperbesar.

Perbesaran sudut, rumusnya:

$$M_{OK} = \frac{f_{OB}}{f_{OK}} = \frac{Sn + f_{OK}}{Sn}$$

Panjang teropong, rumusnya:

$$d = S'_{OB} + 4f_{pb} + S_{OK}$$

**Contoh soal:**

Teropong bumi digunakan untuk mengamati benda di tak terhingga. Jika jarak fokus lensa objektif, lensa pembalik, dan lensa okuler masing-masing 60 cm, 50 cm, 9 cm, dan 7 cm. Panjang teropong itu jika mata tak berakomodasi adalah ...

Penyelesaian:

Diketahui :

$$f_{OB} = 60 \text{ cm}$$

$$f_{pb} = 9 \text{ cm}$$

$$f_{OK} = 7 \text{ cm}$$

Ditanyakan :  $d$ ?

Jawab : Panjang teropong dihitung dengan rumus:

$$d = f_{OB} + 4f_{pb} + f_{OK}$$

$$d = 60 + (4 \times 9) = 7$$

$$d = 103 \text{ cm}$$

Jadi, panjang teropong adalah 103 cm.

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Tentukan jenis dan kekuatan lensa kacamata yang harus digunakan oleh orang yang mempunyai titik dekat 50 cm.

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

Penyelesaian:

Jawaban: B

Diketahui :  $S_n = 50 \text{ cm}$

Ditanyakan : jenis lensa dan nilai  $P$ ?

Jawab :

$$s = 25 \text{ cm}$$

$$s' = -S_n = -50 \text{ cm}$$

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{25} + \frac{1}{-50}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{2-1}{50}$$

$$f = 50 \text{ cm}$$

$$P = \frac{100}{f} = \frac{100}{50} = 2 \text{ dioptri}$$

2. Sebuah mikroskop mempunyai lensa objektif dan lensa okuler yang masing-masing berjarak titik fokus 4 cm dan 10 cm. Sebuah

benda relik diletakkan pada jarak 6 cm dari lensa objektif. Seorang bermata normal melihat benda tersebut dengan berakomodasi maksimum. Berapakah perbesaran sudutnya....

- A. 9 kali
- B. 8 kali
- C. 7 kali
- D. 6 kali
- E. 5 kali

Penyelesaian:

Jawaban: C

Diketahui:  $f_{ob} = 4 \text{ cm}$ ;  $f_{ok} = 10 \text{ cm}$

$S_n = 25 \text{ cm}$ ;  $S_{ob} = 6 \text{ cm}$

Ditanyakan:  $M$ ?

$$\text{Jawab: } \frac{1}{s_{OB}} + \frac{1}{s'_{OB}} = \frac{1}{f_{OB}}$$

$$\frac{1}{6} + \frac{1}{s'_{OB}} = \frac{1}{4}$$

$$s'_{OB} = 12 \text{ cm}$$

$$M = \frac{s'_{OB}}{s_{OB}} \times \left( \frac{S_n}{f_{OK}} + 1 \right)$$

$$= \frac{12}{6} \times \left( \frac{25}{10} + 1 \right)$$

$$= 7 \text{ kali}$$

3. Sebuah teropong bintang dengan  $f_{ob} = 100 \text{ cm}$  dan  $f_{ok} = 5 \text{ cm}$ , digunakan untuk melihat bulan purnama oleh orang bermata normal tanpa berakomodasi. Jika sudut lihat diameter bulan tanpa alat  $3^\circ$ , maka berapakah sudut lihat diameter bulan dengan alat?

- A.  $60^\circ$                       D.  $65^\circ$   
 B.  $45^\circ$                       E.  $50^\circ$   
 C.  $90^\circ$

Penyelesaian:

Jawaban : A

Diketahui :  $f_{ob} = 100$  cm  
 $f_{ok} = 5$  cm  
 $\alpha = 3^\circ$

Ditanyakan:  $\beta$ ?

Jawab :  $\gamma = \frac{f_{OB}}{f_{OK}} = \frac{100}{5}$   
 $= 20$  kali

$$\gamma = \frac{\beta}{\alpha}$$

$$20 = \frac{\beta}{3} \rightarrow \beta = 60^\circ$$

4. Untuk melihat suatu benda di bawah mikroskop yang jarak fokus objektifnya 8 mm, maka benda tersebut tidak boleh diletakkan di bawah objektif sejauh ....  
 A. 9 mm                      D. 17 mm  
 B. 15 mm                    E. 13 mm  
 C. 11 mm

Penyelesaian:

Jawaban: D

$$f_{OB} < s_{OB} < 2f_{OB}$$

5. Sebuah teropong panggung dengan  $f_{ob} = 50$  cm dan  $f_{ok} = -5$  cm digunakan untuk melihat bintang oleh orang yang bermata normal tanpa berakomodasi. Berapakah panjang tubusnya....  
 A. 55 cm                      D. 40 cm  
 B. 50 cm                      E. 35 cm  
 C. 45 cm

Penyelesaian:

Jawaban: C

Diketahui:  $f_{ob} = 50$  cm  
 $f_{ok} = -5$  cm

Ditanyakan:  $d$ ?

$$d = f_{OB} + f_{OK}$$

$$d = 50 - 5 = 45 \text{ cm}$$

## LATIHAN SOAL BAB 11

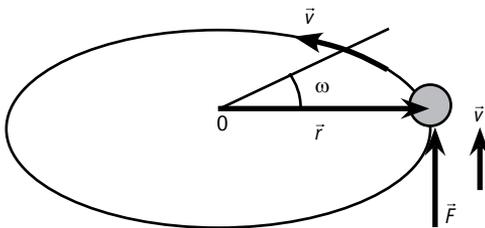
**Pilihlah Salah Satu jawaban yang Tepat**

- Seorang anak dengan tinggi 140 cm. Jika anak tersebut hendak melihat seluruh bayangan tubuhnya pada cermin, maka panjang cermin haruslah... cm.  
 A. 50                      D. 80  
 B. 60                      E. 90  
 C. 70
- Sebuah cermin membentuk sudut  $60^\circ$ . Satu sama lain. Jika sebuah benda berada di antara kedua buah cermin tersebut, maka jumlah bayang yang terbentuk adalah...  
 A. 3                      D. 6  
 B. 4                      E. 7  
 C. 5
- Suatu benda diletakkan 30 cm di depan suatu lensa sehingga diperoleh

- bayangan tegak yang tingginya  $\frac{1}{3}$  kali tinggi benda. Kekuatan lensa tersebut adalah.....dioptri.
- A. -3,33                      D. 6,67  
 B. 3,33                        E. 10,0  
 C. -6,67
4. Seseorang yang memiliki titik jauh 2 meter dapat ditolong dengan menggunakan kacamata berkekuatan ... dioptri.
- A.  $\frac{1}{2}$                               D.  $\frac{1}{5}$   
 B.  $-\frac{1}{2}$                             E.  $-\frac{1}{4}$   
 C.  $\frac{1}{4}$
5. Bayangan akhir yang dihasilkan oleh suatu teropong bintang adalah ....
- A. nyata, terbalik, diperkecil  
 D. maya, tegak, diperkecil  
 B. maya, terbalik, diperbesar  
 E. nyata, terbalik, diperbesar  
 C. nyata, tegak, diperbesar
6. Seseorang yang tingginya 180 cm berdiri tegak 2 meter di depan cermin yang panjangnya 90 cm yang dipasang pada dinding vertikal. Jika batas bawah cermin berjarak 30 cm dari lantai maka tinggi bayangan dirinya yang terlihat pada cermin adalah ... cm.
- A. 180                            D. 30  
 B. 90                                E. 10  
 C. 60
7. Jika bayangan yang terbentuk oleh cermincekung dengan jari-jari kelengkungan 20 cm nyata dan diperbesar dua kali, maka bendanya terletak di muka cermin sejauh ... cm.
- A. 60                                D. 15  
 B. 30                                E. 45  
 C. 25
8. Seorang melihat ke dalam kolam yang dalamnya 2 meter. Jika indeks bias air adalah  $\frac{4}{3}$  maka kedalaman kolam yang dilihat orang itu tampak sedalam ... meter.
- A. 1,8                              D. 1,5  
 B. 1,7                              E. 1,3  
 C. 1,6
9. Sebuah lensa diletakkan di antara benda yang tingginya h dan layar sehingga diperoleh bayangan pada layar yang tingginya  $\frac{1}{3}h$ . Jika lensa digeser akan diperoleh sekali lagi bayangan yang jelas. Tinggi bayangan yang diperoleh adalah....
- A.  $\frac{1}{3}h$                               D. 4h  
 B. h                                    E. 6h  
 C. 3
10. Seseorang melihat sepeda motor yang mendekatinya melalui kaca spion mobil yang jarak fokusnya  $\frac{50}{49}$  m. Jika jarak awal sepeda motor dari kaca spion mobil adalah 50 m dan sepeda motor bergerak dengan laju tetap 10 m/s, maka laju rata-rata bayangan sepeda motor sampai detik ke-4 adalah ... m/s.
- A. 1                                    D.  $\frac{1}{9}$   
 B.  $\frac{1}{4}$                                 E.  $\frac{1}{54}$   
 C.  $\frac{1}{8}$

**D**inamika rotasi ini membahas seputar penggunaan Hukum Newton II untuk rotasi. Sebuah benda bermassa  $m$  yang mula-mula diam akan bergerak bila dikenai gaya  $\mathbf{F}$  dengan percepatan sebesar  $\mathbf{a}$ . Pada bahasan yang lalu juga dipaparkan bahwa sebuah benda yang dikenai torsi, maka benda akan berotasi. Bila sebuah benda berotasi tentunya dia memiliki kecepatan sudut dan mungkin juga percepatan sudut. Adakah kaitan antara percepatan sudut dengan torsi seperti antara dengan pada gerak linear

Persamaan yang menghubungkan antara torsi dan percepatan sudut. Tinjau sebuah benda bermassa  $m$  terikat oleh kawat tipis yang kaku berada sejauh  $r$  dari titik  $O$ . Benda kemudian diberi gaya  $\mathbf{F}$  yang tegak lurus dengan  $r$  (Gambar 1).



Gambar 12.1 Bila  $\mathbf{F}$  diberikan terus-menerus, maka benda akan berotasi terus-menerus

Benda akan melakukan gerak rotasi, dengan arah lintasan sama dengan arah  $\mathbf{F}$  dan mengalami percepatan linear  $\mathbf{a}$  dengan memenuhi persamaan:

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a} \dots (1)$$

Lintasan benda akan melingkar, percepatan setiap saat memiliki arah sejajar dengan lintasan setiap saat. Supaya menjadi torsi kita kalikan persamaan di atas dengan  $r$  pada kedua ruasnya, sehingga kita peroleh:

$$r\mathbf{F} = mra \dots (2)$$

Percepatan tangensial benda sama dengan  $r$  dikalikan percepatan sudutnya atau  $\mathbf{a} = r\alpha$ , sehingga persamaan (2)

bisa kita tuliskan:  $r\mathbf{F} = mr^2\alpha$

Karena  $\mathbf{F}$  tegak lurus vektor  $\mathbf{r}$  maka  $\mathbf{rF}$  bisa dikatakan sebagai torsi yang dialami benda sehingga kita mendapat persamaan:

$$\tau = I\alpha \dots (3)$$

**Persamaan (3)** di atas adalah hukum Newton kedua untuk rotasi. Bila  $\mathbf{F}$  menghasilkan percepatan linear maka  $\mathbf{t}$  menghasilkan percepatan sudut pada benda. Kalian sudah mendapatkan  $\mathbf{I}$  adalah momen inersia, bandingkan **persamaan (1 dan 2)** di atas. Tampak  $\mathbf{I}$  sama dengan massa. Massa menunjukkan kelembaman benda untuk bergerak, begitu juga momen inersia menunjukkan kelembaman benda untuk berotasi. Semakin besar momen inersia suatu benda, maka diperlukan torsi yang semakin besar untuk menggerakkannya agar berotasi.

Jika benda yang berotasi tidak hanya sebuah titik, tetapi sebuah benda tegar, misalnya cakram berjari-jari  $r$  yang diputar pada sumbunya. Silinder terdiri atas banyak partikel. Misalkan torsi yang bekerja pada titik ke  $i$  adalah  $\tau_i$ . Tiap titik bermassa  $m_i$  dan jaraknya dari sumbu rotasi adalah  $r_i$ . Tiap titik memiliki percepatan sudut yang sama, tetapi percepatan linear tiap titik berbeda tergantung pada jarak titik tersebut dengan sumbu rotasi. Maka total torsi yang bekerja pada silinder adalah

$$\begin{aligned} \sum_i \tau_i &= \sum_i m_i r_i^2 \alpha_i \\ \tau &= \left( \sum_i m_i r_i^2 \right) \alpha = I\alpha \end{aligned}$$

**Contoh:**

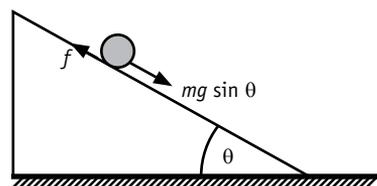
1. Sebuah roda berputar dari kecepatan 10 rad/s menjadi 70 rad/s karena mendapat momen gaya tetap dalam waktu 3 detik. Jika momen kelembaman roda 4 kg m<sup>2</sup>, tentukanlah besar momen gaya tersebut!

**Jawab**

Diketahui:  $\omega_0 = 10 \text{ rad/s}$ ,  $\omega = 70 \text{ rad/s}$ ,  $I = 4 \text{ kgm}^2$ , dan  $t = 3 \text{ s}$ .

$$\begin{aligned} \tau &= I\alpha \\ &= I \cdot \left[ \frac{(\omega - \omega_0)}{t} \right] \\ &= 4 \cdot \left[ \frac{(70 \text{ rad/s} - 10 \text{ rad/s})}{3 \text{ s}} \right] \\ &= 80 \text{ Nm} \end{aligned}$$

2. Sebuah benda pejal bermassa  $M$  dan berjari-jari  $R$ , memiliki momen inersia  $I = kMR^2$ . Benda tersebut menggelinding pada suatu bidang miring dengan sudut kemiringan, seperti tampak pada gambar.



- Berapakah percepatan yang dialami benda pejal tersebut?
- Tentukanlah percepatan yang terjadi, jika benda itu berupa bola dengan momen inersia

$$I = \left(\frac{2}{5}\right) MR^2, \text{ atau silinder dengan } I = \frac{1}{2} MR^2.$$

**Jawab**

Diketahui:  $I$  benda pejal =  $kMR^2$ .

- Menurut Hukum Kedua Newton pada gerak translasi, diperoleh hubungan  **$Mg \sin \theta - f = Ma$  atau  $Ma + f = Mg \sin \theta$  .... (a)**

Berdasarkan prinsip rotasi terhadap pusat benda, berlaku hubungan

$$\tau = I\alpha \rightarrow fR = kMR \alpha \rightarrow f = kMa \quad \dots (b)$$

Substitusikan **Persamaan (b)** ke dalam **Persamaan (a)**, diperoleh

$$Ma + kMa = Mg \sin \theta \rightarrow a = \frac{g \sin \theta}{k + 1}$$

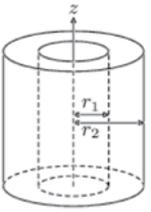
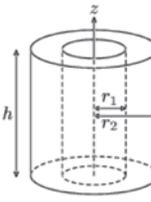
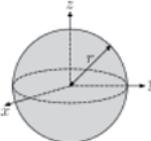
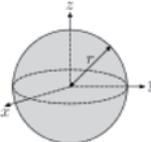
- Untuk silinder dengan  $k = \frac{1}{2}$ , diperoleh

$$a = \frac{g \sin \theta}{\frac{1}{2} + 1} = \left(\frac{2}{3}\right) (g \sin \theta)$$

## A. Momen inersia

Momen inersia adalah hasil kali partikel massa dengan kuadrat jarak tegak lurus partikel dari titik poros.

Benda	Poros	Gambar	Momem Inersia
Batang Silinder	Poros melalui pusat		$I = \frac{1}{12} mL^2$
Batang silinder	Poros melalui ujung		$I = \frac{1}{3} mL^2$
Silinder berongga	Melalui sumbu		$I = mR^2$

Silinder pejal	Melalui sumbu		$I = \frac{1}{2} mR^2$
Silinder pejal	Melintang sumbu		$I = \frac{1}{4} mR^2 + \frac{1}{12} mL^2$
Bola pejal	Melalui diameter		$I = \frac{2}{5} mR^2$
Bola pejal	Melalui salah satu garis singgung		$I = \frac{7}{5} mR^2$

## B. Hubungan antara torsi dengan momen inersia

Hukum II Newton tentang rotasi

$$\tau = I \times \alpha$$

Dimana:

I : momen inersia ( $\text{kg m}^2$ )

$\alpha$  : percepatan sudut ( $\text{rad/s}^2$ )

$\tau$  : torsi (Nm)

### 1. Analogi Gerak Translasi dan Gerak Rotasi

Gerak rotasi dan gerak translasi (persamaan gerak) memiliki banyak persamaan. Besaran gerak translasi memiliki hubungan dengan gerak rotasi. Hubungan tersebut menghasilkan bentuk rumus gerak rotasi yang bisa dianalogikan dengan gerak translasi, seperti terlihat pada tabel berikut.

Tabel 12.1 Hubungan Gerak Translasi dan Gerak Rotasi

Gerak Translasi		Gerak Rotasi		Hubungan
Perpindahan/ kedudukan	$\frac{s}{r}$	Perpindahan sudut	$\theta$	$s = \theta r$
Kecepatan linear rata-rata	$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Kecepatan sudut rata-rata	$\bar{\omega} = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$	$\bar{v} = \bar{\omega} r$
Kecepatan linear sesaat	$v = \frac{ds}{dt}$	Kecepatan sudut sesaat	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$	$v = \omega r$
Menentukan posisi dari fungsi kecepatan linear	$r = r_0 + \int v dt$	Menentukan posisi dari fungsi kecepatan linear	$\theta = \theta_0 + \int \omega dt$	
Percepatan linear rata-rata	$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Percepatan sudut rata-rata	$\bar{\alpha} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	$a = \bar{\alpha} r$
Percepatan linear sesaat	$a = \frac{dv}{dt}$	Percepatan sudut sesaat	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	$a = \alpha r$
Menentukan kecepatan dari fungsi percepatan	$v = v_0 + \int a dt$	Menentukan kecepatan dari fungsi percepatan	$\omega = \omega_0 + \int \alpha dt$	
Gerak lurus berubah beraturan	$v = v_0 + at$ $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ $v^2 = v_0^2 + 2as$	Gerak melingkar berubah beraturan	$\omega = \omega_0 + \alpha t$ $\omega = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2$ $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$	
Jarak Linear	s	Jarak Posisi (sudut)	$\theta$	$s = \theta R$
Kecepatan linear	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$	Kecepatan sudut	$\omega = \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$	$v = \omega R$
Percepatan tangensial	$a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t}$	Percepatan sudut	$\alpha = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	$a = \alpha R$
Kelembaman Translasi (massa)	m	Kelembaman Rotasi (Momen Inersia)	I	$I = \sum_{i=1}^N m_i R_i^2$
Gaya	$F = ma$	Momen Gaya	$\tau = I\alpha$	$\tau = F \times r$
Energi Kinetik	$E_k = \frac{1}{2} mv^2$	Energi kinetik	$E_k = \frac{1}{2} I\omega^2$	
Momentum Linear	$p = mv$	Momentum sudut	$L = I\omega$	
Daya	$P = Fv$	Daya	$p = \tau\omega$	

## C. Keseimbangan Benda Tegar

### 1. Syarat Keseimbangan

Menurut Hukum Pertama Newton, apabila resultan gaya-gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol, percepatan benda tersebut juga akan sama den-

gan nol. Dalam hal ini, dapat diartikan bahwa benda berada dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan tetap. Kondisi ini berlaku untuk gerak translasi dan gerak rotasi. Apabila pada benda berlaku hubungan  $\Sigma F = 0$  dan  $\Sigma \tau = 0$  ( $a = 0$  dan  $\alpha = 0$ ) maka dikatakan benda tersebut dalam keadaan setimbang. Benda yang berada dalam keadaan setimbang tidak harus diam, akan tetapi harus memiliki nilai percepatan linier  $a = 0$  (untuk gerak translasi) dan percepatan sudut  $\alpha = 0$  (untuk gerak rotasi). Sebaliknya, benda yang diam pasti berada dalam keadaan setimbang. Dengan demikian, keadaan setimbang itu terdapat dua macam, yaitu

a. Setimbang statik (benda diam).

$$v = 0 \text{ dan } \omega = 0$$

$$\Sigma F = 0 \text{ dan } \Sigma \tau = 0$$

b. Setimbang mekanik (benda bergerak translasi atau rotasi).

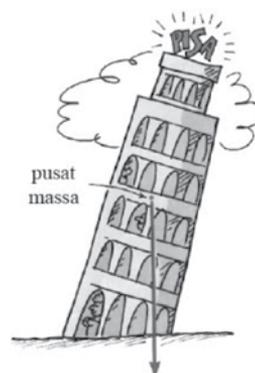
## 2. Pusat Massa dan Titik Berat Benda

Benda tegar yang melakukan gerak rotasi, memiliki pusat massa yang tidak melakukan gerak translasi ( $v = 0$ ). Berbeda dengan sebuah partikel yang bergerak melingkar beraturan, partikel tersebut memiliki pusat massa yang melakukan gerak translasi ( $v \neq 0$ ) dengan arah yang selalu berubah karena adanya percepatan sentripetal, as di mana  $F \neq 0$ .



Gambar 12.2 Pusat massa sebuah kunci Inggris yang sedang berputar berada dalam satu garis lurus

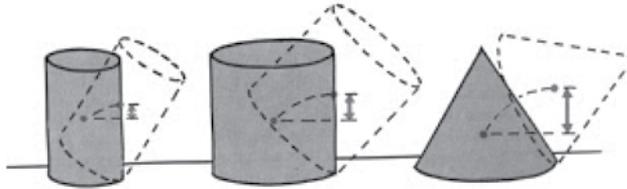
Letak pusat massa suatu benda menentukan kestabilan (kesetimbangan) benda tersebut. Jika dari titik pusat massa benda ditarik garis lurus ke bawah dan garis tersebut jatuh pada bagian alas benda, dikatakan benda berada dalam keadaan setimbang stabil. Namun, apabila garis lurus yang ditarik dari titik pusat massa jatuh di luar alas benda maka benda dikatakan tidak stabil. Menara Pisa yang miring masih tetap dapat berdiri selama berabad-abad. Mengapa menara tersebut



Gambar 12.3 Letak titik pusat massa menara Pisa masih berada di dalam alasnya sehingga menara tetap dalam keadaan stabil.

tidak jatuh? Dari ilustrasi Gambar 12.3, dapat dilihat bahwa garis yang ditarik dari pusat massa menara masih jatuh pada alasnya sehingga menara berada dalam keadaan stabil (setimbang).

Agar tidak mudah terguling, benda dirancang dengan dasar (alas) yang lebar dan titik pusat massa yang rendah. Perhatikan Gambar 12.4 berikut.



Gambar 12.4 Benda berbentuk kerucut merupakan benda yang paling stabil dibandingkan dengan ketiga benda lainnya.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin lebar alas suatu benda, gaya yang dibutuhkan untuk menggulingkannya akan semakin besar karena jarak yang dibutuhkan untuk menaikkan titik pusat massa benda (ditandai tanda panah) sehingga benda dapat digulingkan juga besar. Titik berat benda adalah titik tangkap gaya berat suatu benda, di mana titik tersebut dipengaruhi oleh medan gravitasi. Penentuan letak titik berat ini dapat dilakukan dengan mudah apabila benda bersifat homogen dan beraturan (seperti kubus, bola, dan silinder). Apabila benda tidak homogen atau tidak beraturan, penentuan titik beratnya adalah sebagai berikut.

Anggaplah benda berupa kumpulan titik-titik massa, yaitu  $m_1, m_2, m_3,$  dan seterusnya yang terletak pada koordinat  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3),$  dan seterusnya. Titik berat benda terhadap sumbu-x adalah  $(m_1 + m_2 + m_3 + \dots) gy_0 = m_1 gy_1 + m_2 gy_2 + m_3 gy_3 + \dots$

Titik berat benda terhadap sumbu-y adalah

$$(m_1 + m_2 + m_3 + \dots) gy_0 = m_1 gy_1 + m_2 gy_2 + m_3 gy_3 + \dots$$

maka momen gaya berat benda terhadap sumbu-x adalah :

$$x_0 = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

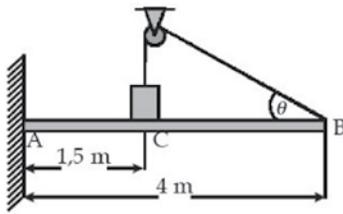
Untuk sumbu-y, momen gaya berat benda tersebut adalah

$$y_0 = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

**Contoh:**

1.



Sistem terlihat pada gambar. Massa batang homogen AB adalah 50 kg dan massa bebannya 150 kg. Ujung A diengselkan ke tembok, sedangkan beban dihubungkan ke ujung B dengan seutas tali melalui sebuah katrol. Massa tali dan gesekan pada katrol diabaikan,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , dan  $\sin \theta = \frac{7}{16}$ .

- Gambarkanlah diagram gaya-gaya yang bekerja pada batang AB dan pada beban, serta hitunglah tegangan talinya.
- Berapakah besar gaya engsel di titik A?

Jawab:

Diketahui:

$m_1 = 150 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 50 \text{ kg}$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $AC = 1,5 \text{ m}$ ,  $AB = 4 \text{ m}$ , dan  $\sin \theta = \frac{7}{16}$ .

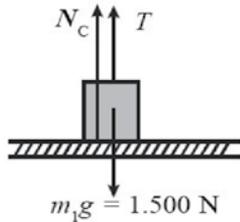
- Gaya pada beban NC adalah gaya normal dari batang pada beban. Dalam keadaan setimbang berlaku:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T + N_c = m_1 g$$

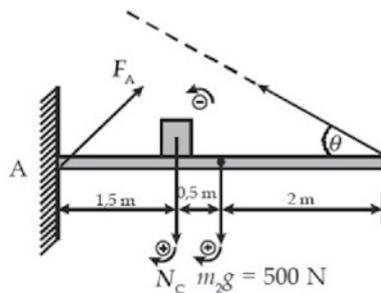
$$T + N_c = 1.500 \text{ N}$$

$$N_c = 1.500 \text{ N} - T \dots\dots\dots (a)$$



Perhatikanlah diagram gaya pada batang.

Gaya reaksi beban terhadap batang adalah  $N_C'$  (bukan  $m_1 g$ ) dengan  $N_C' = N_C$  (pasangan gaya aksi-reaksi).



Gunakan syarat kesetimbangan batang pada titik A.

$$\Sigma \tau_A = 0$$

$$N_c' (AC) + m_2 g (CB) = T \sin \theta (AC)$$

$$N_c' (1,5 \text{ m}) + m_2 g (2 \text{ m}) = T \sin \theta (4 \text{ m}) \dots\dots\dots (b)$$

Substitusikan Persamaan (a) pada Persamaan (b) sehingga diperoleh:

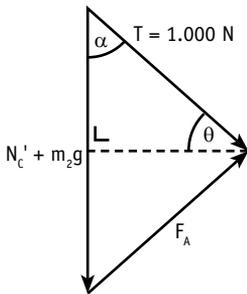
$$(1.500 \text{ N} - T)(1,5 \text{ m}) + (500 \text{ N})(2 \text{ m}) = T \left( \frac{7}{16} \right) (4 \text{ m})$$

$$2.250 \text{ Nm} - 1,5 T \text{ m} + 1.000 \text{ Nm} = \frac{7}{4} T \text{ m}$$

$$9.000 \text{ Nm} - 6 T \text{ m} + 4.000 \text{ Nm} = 7T \text{ m}$$

$$13T \text{ m} = 13.000 \text{ Nm} \rightarrow T = 1.000 \text{ N.}$$

b. Gunakan metode segitiga untuk menghitung gaya engsel  $F_A$



$$\sin \theta = \frac{7}{16} \text{ atau } \theta = 25,94^\circ$$

$$\alpha = 90 - 25,94 = 64,06^\circ$$

Karena  $Nc' = 1500 \text{ N} - T$ ,  
maka  $Nc' = 1500 \text{ N} - 1000 \text{ N} = 500 \text{ N}$

$$F_A = \sqrt{(Nc' + m_2 g)^2 + T^2 - 2(Nc' + m_2 g)T \cos \alpha}$$

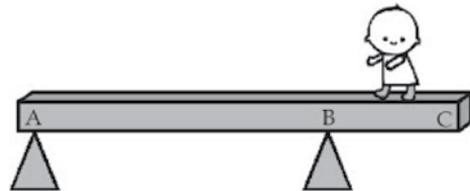
Oleh karena  $Nc' + m_2 g = 500 \text{ N} + 500 \text{ N} = 1000 \text{ N}$ , maka

$$F_A = \sqrt{(1000 \text{ N})^2 + (1000 \text{ N})^2 - 2(1000)(1000) \cos 64,06}$$

$$F_A = \sqrt{2.000.000 \text{ N}^2 - 874.859,38 \text{ N}^2}$$

$$F_A = 1.060,73 \text{ N}$$

2. Batang AC bermassa 40 kg dan panjangnya 3 m. Jarak tumpuan A dan B adalah 2 m (di B papan dapat berputar) seorang anak bermassa 25 kg berjalan dari A menuju C. Berapa jarak minimum anak dari titik C agar papan tetap setimbang (ujung batang A hampir terangkat)?



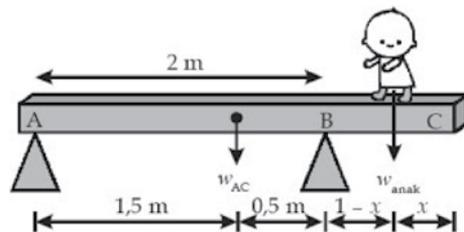
Jawab

Diketahui:

$$m_{\text{anak}} = 25 \text{ kg,}$$

$$m_{AC} = 40 \text{ kg,}$$

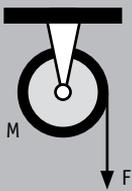
$$AC = 3 \text{ m, dan } AB = 2 \text{ m.}$$



$$\begin{aligned} \Sigma \tau &= 0 \\ w_{AC} (0,5 \text{ m}) &= w_{\text{anak}} (1 - x) \\ (400 \text{ N}) (0,5 \text{ m}) &= (250 \text{ N})(1 - x) \\ 200 \text{ Nm} &= (250 \text{ N}) - (250x \text{ Nm}) \\ 250x \text{ Nm} &= 50 \text{ N} \\ x &= 0,2 \text{ m} \end{aligned}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Perhatikan gambar sebuah roda pejal homogen di bawah!



Pada tepi roda dililitkan sebuah tali dengan gaya  $F = 6 \text{ N}$ . Jika massa roda  $5 \text{ kg}$  dan jari-jarinya  $20 \text{ cm}$ ,

percepatan sudut roda tersebut adalah.....

- A.  $0,12 \text{ rad/s}^2$       D.  $6,0 \text{ rad/s}^2$   
 B.  $1,2 \text{ rad/s}^2$       E.  $12,0 \text{ rad/s}^2$   
 C.  $3,0 \text{ rad/s}^2$

Jawab : E

#### Pembahasan

Diketahui:

$$\begin{aligned} M &= 5 \text{ kg} \\ r &= 20 \text{ cm} = \frac{2}{10} \text{ meter} \\ F &= 6 \text{ N} \\ \alpha &= \dots? \end{aligned}$$

Dari  $\Sigma \tau = I\alpha$

$$\Sigma \tau = I\alpha$$

$$F \cdot r = \frac{1}{2} Mr^2 \alpha$$

$$\alpha = \frac{2F}{rM}$$

$$\alpha = \frac{a(6)}{\frac{2}{10} \cdot 5} = 12 \text{ rad/s}^2$$

2. Seorang penari balet berputar 3 putaran/sekon dengan kedua tangannya direntangkan. Pada saat itu momen inersia penari  $8 \text{ kg m}^2$ . Kemudian lengannya dirapatkan sehingga momen inersianya menjadi  $2 \text{ kg m}^2$ . Frekuensi putaran sekarang menjadi....
- A. 10 putaran/sekon  
 B. 12 putaran/sekon  
 C. 16 putaran/sekon  
 D. 24 putaran/sekon  
 E. 48 putaran/sekon

Jawab: B

#### Pembahasan

Diketahui:

$$\begin{aligned} \omega_1 &= 3 \text{ putaran/s} \\ I_1 &= 8 \text{ kg m}^2 \\ I_2 &= 2 \text{ kg m}^2 \\ \omega_2 &= \dots \end{aligned}$$

Dengan kekekalan momentum sudut:

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

diperoleh frekuensi sudut atau kecepatan sudut yang baru:

$$\begin{aligned} 8(3) &= 2\omega_2 \\ \omega_2 &= \frac{24}{2} = 12 \text{ putaran/sekon} \end{aligned}$$

3. Bola pejal bermassa  $10 \text{ kg}$  mula-mula diam kemudian dilepaskan dari ujung sebuah bidang miring

dan mulai bergerak translasi rotasi. Jari-jari bola adalah 1 meter, dan ketinggian  $h = 28$  m. Tentukan kecepatan bola saat tiba di ujung bawah bidang miring

- A. 20 m/s                      D. 45 m/s  
 B. 30 m/s                      E. 25 m/s  
 C. 40 m/s

Jawab : A

**Pembahasan**

Hukum Kekekalan Energi Mekanik:

$$Ep_1 + Ek_1 = Ep_2 + Ek_2$$

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}I\omega_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}I\omega_2^2$$

$$mgh_1 + 0 + 0$$

$$= 0 + \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}I\omega_2^2$$

$$mgh_1 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{5}mr^2 \left(\frac{v_2}{r}\right)^2$$

$$10gh_1 = 5v_2^2 + 2v_2^2$$

$$10gh = 7v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{10}{7}gh} = \sqrt{\frac{10}{7} \cdot 10 \cdot 28} = 20 \text{ m/s}$$

4. Sebuah partikel bermassa 0,2 kg bergerak melingkar dengan kecepatan sudut tetap 10 rad/s. Jika jari-jari lintasan partikel 30 cm, maka momentum sudut partikel itu adalah....

- A. 0,90 kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>  
 B. 0,45 kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>  
 C. 0,30 kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>  
 D. 0,18 kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>  
 E. 0,16 kg m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>

Jawab : D

**Pembahasan**

Diketahui:

$$m = 0,2 \text{ kg}$$

$$\omega = 10 \text{ rad/s}$$

$$r = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

Momentum sudut  $L = \dots$

Rumus momentum sudut

$$L = mvr$$

$$L = I\omega$$

$$v = \omega r$$

dimana

$L =$  momentum sudut

$$v = \omega r = 10(0,3) = 3 \text{ m/s}$$

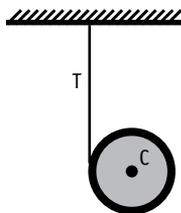
$$L = mvr = 0,2(3)(0,3)$$

$$= 0,18 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$$

**LATIHAN SOAL BAB 12**

**Pilihlah Salah Satu Jawaban Yang Tepat**

1. Pada gambar di samping roda katrol pejal C berputar melepaskan diri dari lilitan tali.



Massa roda C adalah 300 gram. Jika percepatan gravitasi adalah 10 m/s<sup>2</sup>, maka tegangan tali T adalah....

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

2. Seorang penari balet berputar 3 putaran/sekon dengan kedua tan-

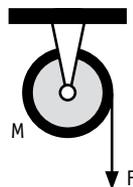
gannya direntangkan. Pada saat itu momen inersia penari  $8 \text{ kg m}^2$ . Kemudian lengannya dirapatkan sehingga momen inersianya menjadi  $2 \text{ kg m}^2$ . Frekuensi putaran sekarang menjadi....

- A. 10 putaran/sekon
- B. 12 putaran/sekon
- C. 16 putaran/sekon
- D. 24 putaran/sekon
- E. 48 putaran/sekon

3. Sebuah partikel bermassa  $0,2 \text{ kg}$  bergerak melingkar dengan kecepatan sudut tetap  $10 \text{ rad/s}$ . Jika jari-jari lintasan partikel  $30 \text{ cm}$ , maka momentum sudut partikel itu adalah....

- A.  $0,90 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$
- B.  $0,45 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$
- C.  $0,30 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$
- D.  $0,18 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$
- E.  $0,16 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-1}$

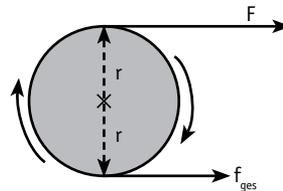
4. Sebuah katrol berbentuk silinder pejal dengan massa  $M = 4 \text{ kg}$  ditarik dengan gaya  $F$  hingga berotasi dengan percepatan sudut sebesar  $5 \text{ rad/s}^2$ .



Jika jari-jari katrol adalah  $20 \text{ cm}$ , tentukan besarnya gaya  $F$  tersebut! Gunakan momen inersia katrol  $I = \frac{1}{2} Mr^2$

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

5. Sebuah silinder pejal bermassa  $10 \text{ kg}$  berada di atas permukaan yang kasar ditarik gaya  $F = 50 \text{ N}$  seperti diperlihatkan gambar berikut, Tentukan percepatan gerak silinder jika jari-jarinya adalah  $40 \text{ cm}$



- A.  $6,67 \text{ m/s}^2$
- B.  $7 \text{ m/s}^2$
- C.  $5,23 \text{ m/s}^2$
- D.  $4 \text{ m/s}^2$
- E.  $2 \text{ m/s}^2$

6. Silinder pejal dengan jari-jari  $5 \text{ cm}$  bermassa  $0,25 \text{ kg}$  bertranslasi dengan kelajuan linear  $4 \text{ m/s}$ . Tentukan energi kinetik silinder jika selain bertranslasi silinder juga berotasi

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

Pada mulanya sesuai dengan teori gelombang dari Huygens orang percaya bahwa cahaya memerlukan medium untuk merambat. Jadi cahaya dapat mencapai Bumi dari Matahari karena di ruang hampa yang dilalui cahaya dianggap ada medium yang disebut eter.

Pada tahun 1887 Michelson dan Morley mengadakan percobaan-percobaan yang sangat cermat, hasilnya sangat mengejutkan, karena adanya eter tidak dapat dibuktikan dengan percobaan. Namun belum ada bukti langsung akan keberadaan eter tersebut.

Hasil percobaan Michelson dan Morley mencakup dua hal yang penting.

1. Hipotesa tentang medium eter tidak dapat diterima sebagai teori yang benar, sebab medium eter tidak lulus dari ujian pengamatan.
2. Kecepatan cahaya adalah sama dalam segala arah, tidak bergantung kepada gerak bumi.

## TEORI RELATIVITAS EINSTEIN.

Di atas telah dibahas bahwa kecepatan cahaya ke segala arah adalah sama, tidak bergantung pada gerak bumi. Tetapi bumi bukanlah satu-satunya planet yang ada dalam jagad raya ini. Kalau begitu bagaimana kecepatan cahaya itu ditinjau dari planet lain yang geraknya berbeda dengan gerakan bumi.

Pada tahun 1905, Einstein mengusulkan bahwa kecepatan cahaya yang besarnya sama ke segala arah itu berlaku ditempat-tempat lain dalam alam semesta ini. Tegasnya kecepatan cahaya adalah sama, tidak bergantung kepada gerak sumber cahaya maupun pengamatnya.

Dalam teori relativitas khusus, Einstein mengemukakan dua postulat yaitu :

### **Postulat pertama**

*"Hukum-hukum fisika memiliki bentuk yang sama pada semua kerangka acuan inersial."*

### Postulat kedua

*"Kelajuan cahaya di ruang hampa ke segala arah adalah sama untuk semua pengamat, tidak bergantung pada gerak sumber cahaya maupun pengamat"*

Teori Einstein membawa akibat-akibat yang sangat luas dirasakan agak menyimpang dari pengalaman-pengalaman yang kita peroleh sehari-hari.

a. Relativitas penjumlahan kecepatan.

Bila  $v_1$  adalah laju kereta api terhadap tanah, dan  $v_2$  adalah laju orang terhadap kereta api, maka laju orang terhadap tanah:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} \quad c = \text{kecepatan cahaya}$$

b. Dilatasi waktu (Perpanjangan waktu)

Waktu yang diamati oleh pengamat yang diam ( $t_0$ ) dengan waktu yang diamati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan  $v$  adalah berbeda.

Hubungannya:  $t$  adalah waktu yang tercatat menurut pengamatan pengamat yang bergerak dengan kecepatan  $v$ .

$$t = t_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

c. Kontraksi Lorentz.

Benda yang panjangnya  $L_0$ , oleh pengamat yang bergerak sejajar dengan panjang benda dan dengan kecepatan  $v$ , panjangnya akan teramati sebagai  $L$ .

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

d. Massa dan energi.

Massa benda yang teramati oleh pengamat yang tidak bergerak terhadap benda, berbeda dengan massa yang teramati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan  $v$  terhadap benda.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$m$  adalah massa yang teramati oleh pengamat yang bergerak dengan kecepatan  $v$  terhadap tanah dan  $m_0$  massa yang teramati oleh pengamat yang tidak bergerak terhadap benda.

Didalam mekanika yang disempurnakan, lazimnya disebut mekanika relativistik, energi benda yang kecepatannya  $v$  dan massanya  $m$  (dalam keadaan diam), bukan  $\frac{1}{2} m \cdot v^2$ , melainkan:

$$Ek = mc^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

Besaran energi kinetik menunjukkan dua besaran, yaitu:

$$\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ dan } mc^2$$

Einstein menginterpretasikan bahwa  $\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$  sebagai energi total benda yang bermassa  $m$  dan kecepatan  $v$ , sedangkan  $mc^2$  energi total ketika diam.

Jadi: 
$$\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = mc^2 + E_k$$

$$E \text{ Total} = E \text{ diam} + E_k$$

Akibat interpretasi ini, benda yang bermassa  $m$  memiliki energi sebesar  $E = mc^2$ . Dengan perkataan lain massa setara dengan energi.

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Suatu peristiwa terjadi selama 3 s menurut pengamat yang bergerak menjauhi peristiwa itu dengan kecepatan  $0,8 c$  ( $c$  = kecepatan cahaya). Menurut pengamat yang diam, peristiwa itu terjadi dalam selang waktu...

- A. 5,0 s                      D. 1,8 s  
B. 4,8 s                      E. 1,2 s  
C. 3,0 s

Pembahasan:

Jawab: A

Diketahui:  $t_m = 3$  sekon

$$v = 0,8 c$$

Ditanya:

Selang waktu kejadian menurut pengamat yang diam ( $t_m$ )

Jawab:

Rumus dilatasi waktu :

$$t_m = t_s \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}$$

Keterangan :

$t_m$  = Selang waktu kejadian menurut pengamat yang bergerak

$t_s$  = Selang waktu kejadian menurut pengamat yang diam

Selang waktu kejadian menurut pengamat yang diam:

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{t_m}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \\
 &= \frac{3}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,8c}{c}\right)^2}} \\
 &= \frac{3}{\sqrt{1 - (0,8)^2}} \\
 &= \frac{3}{\sqrt{0,36}} \\
 &= \frac{3}{0,6} \\
 &= 5 \text{ sekon}
 \end{aligned}$$

2. Panjang benda diukur saat bergerak menyusut 20 cm dari panjangnya saat diukur dalam keadaan diam. Bila panjang benda diukur dalam keadaan diam panjangnya 1 m dan  $c$  = kecepatan cahaya, maka kecepatan gerak benda tersebut adalah...

- A. 0,2 c                      D. 0,6 c  
 B. 0,3 c                      E. 0,8 c  
 C. 0,4 c

Pembahasan:

Jawab : D

Diketahui :

$$L_o = 1 \text{ meter}$$

$$\begin{aligned}
 L &= 1 \text{ meter} - 0,2 \text{ meter} \\
 &= 0,8 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Ditanya:

Kecepatan gerak benda ( $v$ )

Jawab:

Rumus kontraksi panjang :

$$\begin{aligned}
 \gamma &= \frac{L_o}{L} \\
 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} &= \frac{L_o}{L}
 \end{aligned}$$

*Keterangan :*

$\gamma$  = Konstanta

$c$  = Kecepatan cahaya

$L_o$  = Panjang benda ketika diam

$L$  = Panjang benda ketika bergerak

Kecepatan gerak benda:

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} &= \frac{L_o}{L} \\
 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} &= \frac{1}{0,8} \\
 \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} &= 1,25 \\
 \frac{1^2}{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} &= 1,25^2
 \end{aligned}$$

$$1 = 1,5625 - \frac{1,5625v^2}{c^2}$$

$$\frac{1,5625v^2}{c^2} = 1,5625 - 1$$

$$1,5625 v^2 = 0,5625 c^2$$

$$v^2 = \frac{0,5625c^2}{1,5625}$$

$$v^2 = 0,36 c^2$$

$$v^2 = \sqrt{0,36 c^2} = 0,6 c$$

## LATIHAN SOAL BAB 13

Pilihlah salah satu jawaban yang benar

- Percobaan Michelson dan Morley bertujuan membuktikan bahwa..
  - eter ada di alam
  - kecepatan cahaya pada semua arah sama
  - cahaya bersifat partikel
  - cahaya adalah gelombang elektromagnetik
  - cahaya dapat merambat dalam ruang vakum
- Sebuah roket ketika diam di Bumi mempunyai panjang 100 m. Roket tersebut bergerak dengan kecepatan  $0,8c$ . Menurut orang di Bumi, panjang roket tersebut selama bergerak adalah...
  - 50 m
  - 60 m
  - 70 m
  - 80 m
  - 100 m
- Periode suatu pendulum di muka Bumi besarnya 3 detik. Bila pendulum tersebut diamati oleh seseorang yang bergerak relatif terhadap Bumi dengan kecepatan  $0,95c$ , maka periode pendulum tersebut dalam detik menjadi...
  - 0,5
  - 1,5
  - 9,6
  - 15
  - 300
- Perbandingan dilatasi waktu untuk sistem yang bergerak pada kecepatan  $\frac{1}{2}3c$  dengan sistem yang bergerak dengan kecepatan  $\frac{1}{2}c$  adalah...
  - 1 : 2
  - $1 : \sqrt{3}$
  - $\sqrt{3} : 1$
  - 2 : 3
  - 3 : 2
- Bila kelajuan partikel  $0,6c$  maka perbandingan massa relativistik partikel itu terhadap massa diamnya adalah...
  - 5 : 3
  - 25 : 9
  - 5 :
  - 25 : 4
  - 8 : 5
- Sebuah pesawat antariksa bergerak secara relativistik dan pada suatu saat energi kinetiknya adalah  $\frac{1}{12}$  kali energi diamnya. Kelajuan pesawat pada saat itu adalah...
  - $\frac{5}{13}c$
  - $\frac{5}{12}c$
  - $\frac{7}{13}c$
  - $\frac{7}{13}c$
  - $\frac{12}{13}c$
- Pengamat A mengukur kecepatan relativistik sebuah roket sebagai  $v$  dan sebuah komet sebagai  $u$  dimana  $v$  dan  $u$  adalah paralel dalam arah yang sama. Berapakah kelajuan komet relatif terhadap roket?
  - $\frac{u+v}{1+\frac{uv}{c^2}}$
  - $\frac{u-v}{1-\frac{uv}{c^2}}$
  - $(u+v)\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$
  - $(u-v)\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$
  - $\frac{u-v}{1+\frac{uv}{c^2}}$

8. Sebuah sistem pegas berbeban sedang bergerak harmonik sederhana, memiliki periode  $T$  ketika diukur oleh pengamat diam. Jika sistem yang sama diletakkan dalam suatu kerangka acuan inersial yang bergerak pada kelajuan  $0,50 c$  melalui pengamat diam, maka periode sistem ini jika diukur oleh pengamat diam adalah
- A.  $0,50 T$                       D.  $1,2 T$   
 B.  $0,87 T$                       E.  $2,0 T$   
 C.  $1,0 T$
9. Manakah dari rumus berikut yang menyatakan energi total relativistik secara tepat?
- A.  $\frac{1}{2} \frac{p^2}{m}$                       D.  $\frac{1}{2} \frac{m_0 v^2}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$   
 B.  $(m - m_0)c^2$                       E.  $\frac{m_0 v^2}{\frac{1 - v^2}{c^2}}$   
 C.  $c(p^2 + m_0^2 c^2)^{\frac{1}{2}}$
10. Manakah yang memiliki momentum paling besar: sebuah foton 1 MeV, sebuah proton atau sebuah elektron dengan energi kinetik 1 MeV?
- A. Foton  
 B. Proton  
 C. elektron  
 D. elektron dan proton  
 E. ketiganya sama
11. Energi total sebuah partikel dengan massa diam  $m_0$  adalah  $\sqrt{10}$  kali energi diamnya. Momentumnya adalah ....
- A.  $2 m_0 c$                       D.  $4 m_0 c$   
 B.  $\sqrt[3]{2} m_0 c$                       E.  $3 m_0 c$   
 C.  $\sqrt[2]{2} m_0 c$



## A. Arus listrik

Alam konduktor logam terdapat elektron-elektron yang bebas dan mudah untuk bergerak sedangkan pada konduktor elektrolit, muatan bebasnya berupa ion-ion positif dan negatif yang juga mudah bergerak. Bila dalam konduktor ada medan listrik; maka muatan muatan tersebut bergerak dan gerakan dari muatan-muatan ini yang dinamakan arus listrik.

Arah arus listrik ditetapkan searah dengan gerakan muatan-muatan positif.

Bila medan yang menyebabkan gerakan-gerakan muatan tersebut arahnya tetap; akan dihasilkan arus bolak-balik secara harmonik, hasilkan arus bolak-balik (AC- *Alternating Current*).

### 1. Kuat Arus

Kuat arus ( $i$ ) di definisikan sebagai:

**Jumlah muatan yang mengalir melalui suatu penampang persatuan waktu.**

Karena arah arus adalah searah dengan arah muatan positif, maka jumlah muatan yang lewat adalah jumlah muatan positif.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

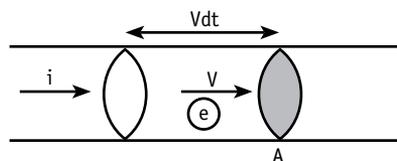
Dimana:  $dq$  = jumlah muatan (Coulomb)

$dt$  = selisih waktu (detik)

$i$  = kuat arus

Satuan dari kuat arus adalah Coulomb/detik yang tidak lain adalah *Ampere*.

Ditinjau dari dari suatu konduktor dengan luas penampang  $A$  dalam suatu interval  $dt$ ; maka jumlah muatan yang lewat penampang tersebut adalah jumlah muatan yang terdapat dalam suatu silinder dengan luas penampang  $A$ , yang panjangnya  $Vdt$ .



Bila  $n$  adalah partikel persatuan volume dan  $e$  muatan tiap partikel.

$$dq = n \cdot e \cdot V \cdot A \cdot dt$$

sehingga diperoleh besarnya:

$$i = \frac{dq}{dt} = n \cdot e \cdot V \cdot A \text{ Ampere}$$

Rapat arus  $J$  didefinisikan sebagai kuat arus persatuan luas.

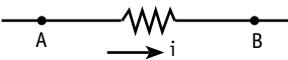
$$J = \frac{i}{A} = n \cdot e \cdot V \text{ Ampere/m}^2$$

## 2. Hukum Ohm

Hubungan antara tegangan, kuat arus dan hambatan dari suatu konduktor dapat diterangkan berdasarkan hukum OHM.

***Dalam suatu rantai aliran listrik, kuat arus berbanding lurus dengan beda potensial antara kedua ujung-ujungnya dan berbanding terbalik dengan besarnya hambatan kawat konduktor tersebut.***

Hambatan kawat konduktor biasanya dituliskan sebagai "R".

$$i = \frac{V_A - V_B}{R}$$


Dimana:  $I$  = kuat arus

$V_A - V_B$  = beda potensial titik A dan titik B

$R$  = hambatan

Besarnya hambatan dari suatu konduktor dinyatakan dalam

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

$R$  = hambatan

satuan = ohm

$L$  = panjang konduktor

satuan = meter

$A$  = luas penampang

satuan =  $m^2$

$\rho$  = hambat jenis atau resistivitas

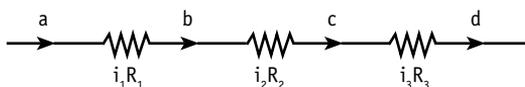
satuan = ohm meter

## 3. Susunan Hambatan Seri dan Hambatan Paralel

Beberapa tahanan dapat disusun secara:

- Seri
- Paralel
- Kombinasi seri dan paralel

### a. Susunan Seri

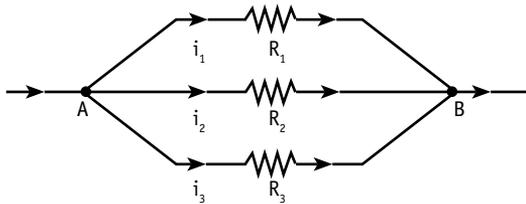


Bila tahanan-tahanan:  $R_1, R_2, R_3, \dots$

disusun secara seri, maka:

- Kuat arus ( $I$ ) yang lewat masing-masing tahanan sama besar:  
—>  $i = i_1 = i_2 = i_3 = \dots$
- Jumlah tegangan pada tiap tiap tahanan sama dengan tegangan sumber:  
—>  $V_S = V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} + \dots$
- Besar hambatan totalnya:  
—>  $R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

### b. Susunan Paralel

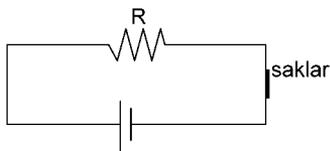


Bila disusun secara paralel, maka:

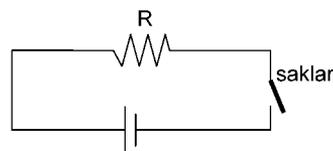
- Beda potensial pada masing-masing ujung tahanan besar  
—> ( $V_A = V_B$ ).
- Jumlah kuat arus pada tiap tiap tahanan sama dengan kuat arusnya:  
—>  $i + i_1 + i_2 + i_3 + \dots$
- Besar hambatan totalnya:  
—>  $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

## 4. Rangkaian Tertutup

Pada rangkaian listrik, **rangkaian tertutup** bisa dikatakan sebagai rangkaian yang tidak berujung pangkal. Misalnya, ada sumber arus listrik yang dihubungkan dengan hambatan pada suatu rangkaian listrik sehingga terjadi aliran arus listrik.



rangkaian tertutup



rangkaian terbuka

### Hukum Kirchoff

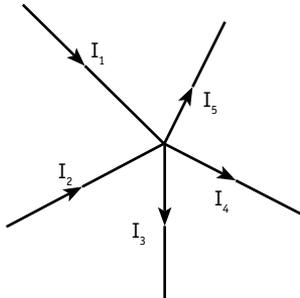
Seorang ahli fisika Gustav Kichoff (1824 – 1887) mengemukakan aturan yang berkaitan dengan cara menghitung kuat arus dan beda potensial dua titik dalam

rangkaian listrik. Aturan yang dikemukakan kirchoff tersebut dikenal dengan hukum Kirchoff.

**a. Hukum I Kirchoff**

Dikenal dengan hukum percabangan, yaitu:

Dalam suatu rangkaian bercabang, jumlah kuat arus yang masuk titik cabang sama dengan jumlah kuat arus yang meninggalkan titik cabang tersebut.



Secara matematis ditulis sebagai:

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

Dari gambar percabangan arus dapat ditulis:

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

**b. Hukum II Kirchoff**

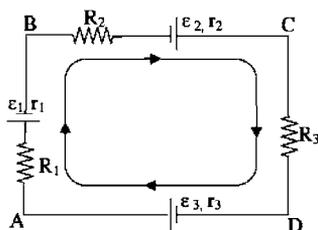
Disebut juga sebagai hukum rangkaian tertutup (*loop*), yang menyatakan *Pada rangkaian tertutup, jumlah aljabar gaya gerak listrik (GGL) dengan jumlah aljabar dari penurunan tegangan (hasil kali kuat arus dan hambatan) adalah sama dengan nol.*

Bisa juga dinyatakan dalam persamaan:

$$\sum \mathcal{E} + \sum I \cdot R = 0$$

Maksud dari jumlah penurunan potensial sama dengan nol adalah tidak ada energi listrik yang hilang dalam rangkaian tersebut, atau dalam arti semua energi listrik bisa digunakan atau diserap.

Gambar di bawah adalah rangkaian tertutup yang disusun oleh beberapa sumber tegangan dan hambatan listrik. Rangkaian tersebut merupakan rangkaian tertutup satu loop. Untuk rangkaian tertutup dengan beberapa sumber tegangan dan hambatan, berlaku hukum II Kirchoff, yaitu:



Dari gambar rangkaian tertutup satu loop di samping, dapat ditulis persamaan:

$$\sum \mathcal{E} + \sum I \cdot R = 0$$

$$(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3) + I(R_1 + r_1 + R_2 + r_2 + R_3 + r_3) = 0$$

atau

$$(-\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3) = I(R_1 + r_1 + R_2 + r_2 + R_3 + r_3)$$

Dengan perjanjian Tanda:

- **Jika arah loop sama dengan** arah arus, maka tegangan pada elemen listrik bertanda positif dengan arah arus, maka tegangan bertanda negative
- **Ketika bertemu baterai** positif bila yang pertama bertanda negative bila yang

**arah arus**, maka tegangan pada semua elemen listrik bertanda positif, sedangkan jika arah loop berlawanan dengan arah arus, maka tegangan bertanda negative

**1 sumber tegangan lain**, tanda untuk sumber tegangan pertama dilewati adalah kutub positif, dan tanda untuk sumber tegangan kedua dilewati adalah kutub negative

### Contoh Soal dan Pembahasan

- Arus sebesar 5 Amper mengalir dalam penghantar metal, berapa coulomb besar muatan  $q$  yang berpindah selama 1 menit.
  - A. 300 Coulomb
  - B. 400 Coulomb
  - C. 500 Coulomb
  - D. 600 Coulomb
  - E. 700 Coulomb

Pembahasan

Diketahui:

$$\text{Kuat arus (i)} = 5 \text{ ampere}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu (t)} &= 1 \text{ menit} \\ &= 60 \text{ sekon} \end{aligned}$$

Ditanya: Muatan ( $q$ ) = ....?

$$\begin{aligned} \text{Jawab: } Q &= i \cdot t = 5 \times 60 \\ &= 300 \text{ coulomb} \end{aligned}$$

Jawab: A

- Berapa besar kuat arus listrik yang memindahkan muatan 30 coulomb melalui sebuah penghantar tiap menit?
  - A. 0,05 Ampere
  - B. 5 Ampere
  - C. 0,5 Ampere
  - D. 0,00005 Ampere
  - E. 0,005 Ampere

Diketahui :  $Q = 30$  coulomb

$$t = 1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$$

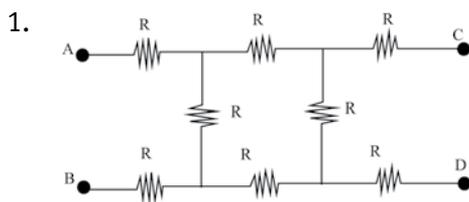
Ditanya :  $I = \dots?$

$$\begin{aligned} \text{Jawab : } I &= \frac{q}{t} = \frac{30}{60} \\ &= 0,5 \text{ ampere} \end{aligned}$$

Jawab:C

## LATIHAN SOAL BAB 14

Pilihlah salah satu jawaban yang tepat



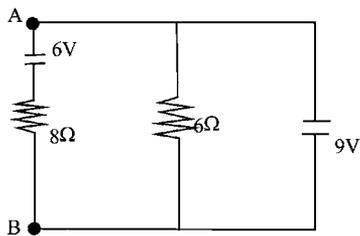
Hambatan pengganti antara titik A dan titik B untuk rangkaian berikut adalah.... R.

- A.  $\frac{11}{4}$
- B.  $\frac{9}{4}$
- C.  $\frac{7}{4}$
- D.  $\frac{5}{4}$
- E. 3

2. Sebuah hambatan  $4 \text{ k}\Omega$  bila dihubungkan dengan sumber tegangan  $20 \text{ volt}$  akan dialiri arus sebesar .... mA.

A. 2                      D. 8  
 B. 4                      E. 10  
 C. 5

3. Perhatikan rangkaian di bawah ini:



Beda potensial antara titik A dan B adalah .... Volt.

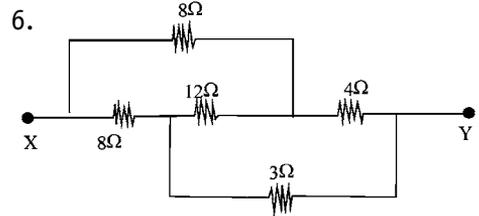
A. 9                      D. 6  
 B. 8                      E. 4,5  
 C. 6,75

4. Sepotong kawat penghantar mempunyai hambatan  $120 \Omega$ , kawat lainnya terbuat dari bahan yang sama dengan berat yang sama, tetapi panjangnya 2 kali kawat semula, mempunyai hambatan....  $\Omega$ .

A. 480                      D. 60  
 B. 420                      E. 30  
 C. 120

5. Pada kawat penghantar mengalir arus  $3,2 \text{ A}$ , maka banyaknya elektron yang melewati penampang penghantar selama 5 sekon adalah....

A.  $1 \times 10^{20}$                       D.  $2,5 \times 10^{20}$   
 B.  $1,5 \times 10^{20}$                       E.  $3 \times 10^{20}$   
 C.  $2 \times 10^{20}$



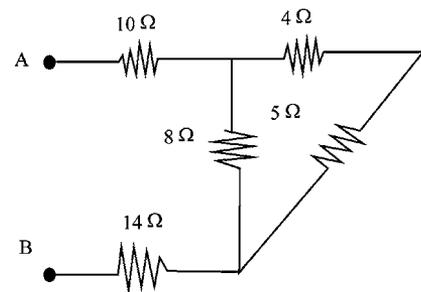
Hambatan pengganti antara titik x dan y pada rangkaian berikut adalah....  $\Omega$ .

A. 12                      D. 6  
 B. 9                      E. 4  
 C. 7

7. Besar hambatan pengganti antara titik A dan titik B pada rangkaian berikut adalah....  $\Omega$ .

A. 30                      D. 40  
 B. 32                      E. 42  
 C. 36

8. Perhatikan rangkaian berikut:



Jika  $V_{AC} = 120 \text{ V}$ , maka  $V_{AB} = \dots \text{ volt}$

A. 120                      D. 40  
 B. 80                      E. 30  
 C. 6

9. Seutas kawat yang panjangnya 10 meter dan tebalnya 4 mm memiliki hambatan  $10 \Omega$ . Nilai hambatan kawat sejenis yang memiliki panjang 5 meter, sedangkan tebalnya 5 mm adalah ....  $\Omega$

- A. 1,2
- B. 2,4
- C. 2,8
- D. 3,2
- E. 4,0

10. Tegangan listrik PLN yang besarnya 240 volt hendak diturunkan dengan transformator yang efisiensinya 60%. Transformator itu mempunyai 3000 lilitan pada kum-

paran primer dan 150 lilitan pada kumparan sekundernya. Jika arus primernya 250 mA, maka besarnya arus sekundernya adalah ...

- A. 5,0 A
- B. 4,5 A
- C. 3,0
- D. 2,5 A
- E. 2,0 A



## A. Momentum dan Impuls

### 1. Pengertian Momentum dan Impuls

Setiap benda yang bergerak mempunyai momentum. Momentum juga dinamakan jumlah gerak yang besarnya berbanding lurus dengan massa dan kecepatan benda. Suatu benda yang bermassa  $m$  bekerja gaya  $F$  yang konstan, maka setelah waktu  $\Delta t$  benda tersebut bergerak dengan kecepatan:

$$v_t = v_o + a \cdot \Delta t$$

$$v_t = v_o + \frac{F}{m} \cdot \Delta t$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot v_t - m \cdot v_o$$

Besaran  $F \cdot \Delta t$  disebut impuls, sedangkan besarnya  $m \cdot v$  yaitu hasil kali massa dengan kecepatan disebut momentum.

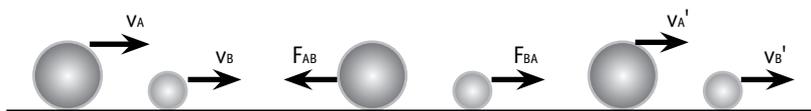
$m \cdot v_t$  = momentum benda pada saat kecepatan  $v_t$

$m \cdot v_o$  = momentum benda pada saat kecepatan  $v_o$

Perubahan momentum adalah akibat adanya impuls dan nilainya sama dengan impuls.

Impuls = Perubahan Momentum

### Hukum Kekekalan Momentum



Misalkan benda A dan B masing-masing mempunyai massa  $m_A$  dan  $m_B$  dan masing-masing bergerak segaris dengan kecepatan  $v_A$  dan  $v_B$  sedangkan  $v_A > v_B$ . Setelah tumbukan kecepatan benda berubah menjadi  $v_A'$  dan  $v_B'$ . Bila  $F_{BA}$  adalah

gaya dari A yang dipakai untuk menumbuk B dan  $F_{AB}$  gaya dari B yang dipakai untuk menumbuk A, maka menurut hukum III Newton:

$$\begin{aligned}
 F_{AB} &= -F_{BA} \\
 F_{AB} \cdot \Delta t &= -F_{BA} \cdot \Delta t \\
 (\text{impuls})_A &= (\text{impuls})_B \\
 m_A v_A' - m_A v_A &= -(m_B v_B' - m_B v_B) \\
 m_A v_A + m_B v_B &= m_A v_A' + m_B v_B'
 \end{aligned}$$

Jumlah momentum dari A dan B sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama/tetap. Hukum ini disebut sebagai Hukum Kekekalan Momentum Linear.

## B. Tumbukan

Pada setiap jenis tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum tetapi tidak selalu berlaku hukum kekekalan energi mekanik. Sebab di sini sebagian energi mungkin diubah menjadi panas akibat tumbukan atau terjadi perubahan bentuk :

Macam tumbukan yaitu

- Tumbukan elastis sempurna, yaitu tumbukan yang tak mengalami perubahan energi. Koefisien restitusi  $e = 1$
- Tumbukan elastis sebagian, yaitu tumbukan yang tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik sebab ada sebagian energi yang diubah dalam bentuk lain, misalnya panas.

Koefisien restitusi  $0 < e < 1$

- Tumbukan tidak elastis, yaitu tumbukan yang tidak berlaku hukum kekekalan energi mekanik dan kedua benda setelah tumbukan melekat dan bergerak bersama-sama.

Koefisien restitusi  $e = 0$

Besarnya koefisien restitusi ( $e$ ) untuk semua jenis tumbukan berlaku

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

$v_A'$ ;  $v_B'$  = kecepatan benda A dan B setelah tumbukan

$v_A$ ;  $v_B$  = kecepatan benda A dan B sebelum tumbukan

Energi yang hilang setelah tumbukan dirumuskan:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{hilang}} &= \sum Ek_{\text{sebelum tumbukan}} - \sum Ek_{\text{sesudah tumbukan}} \\
 E_{\text{hilang}} &= \left\{ \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 \right\} - \left\{ \frac{1}{2} m_A (v_A')^2 + \frac{1}{2} m_B (v_B')^2 \right\}
 \end{aligned}$$

Tumbukan yang terjadi jika bola dijatuhkan dari ketinggian  $h$  meter dari atas lantai.

Kecepatan bola waktu menumbuk lantai dapat dicari dengan persamaan:

$$v_A = \sqrt{2gh}$$

Kecepatan lantai sebelum dan sesudah tumbukan adalah 0.

$$v_B = v_B' = 0$$

Dengan memasukkan persamaan tumbukan elastis sebagian :

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

diperoleh:  $e = -\frac{v_A' - 0}{v_A - 0}$  atau  $e = -\frac{v_A'}{v_A}$

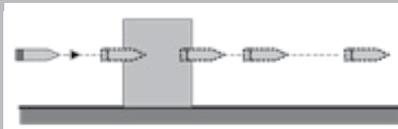
dengan demikian diperoleh:  $e = \sqrt{\frac{h'}{h}}$

$h'$  = tinggi pantulan  $h$  = tinggi bola jatuh.

Untuk mencari tinggi pantulan ke-n dapat dicari dengan:  $h_n = h_0 e^{2n}$

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Sebuah balok 2 kg yang diam di atas lantai di tembak dengan sebutir peluru bermassa 100 gram dengan kecepatan 100 m/s.



Jika peluru menembus balok dan kecepatannya berubah menjadi 50 m/s, tentukan kecepatan gerak balok?

- A. 2,5 m/s                      D. 3,5 m/s  
 B. 2 m/s                        E. 1,5 m/s  
 C. 3 m/s

#### Pembahasan

Hukum kekekalan momentum:

$$m_p v_p + m_b v_b = m_p v_p' + m_b v_b'$$

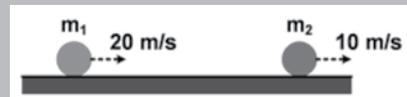
$$0,1 \times 100 + 0 = 0,1 \times 50 + 2v_b'$$

$$2v_b' = 5$$

$$v_b' = 2,5 \text{ m/s}$$

Jawab : A

2. Bola pertama bergerak ke arah kanan dengan kelajuan 20 m/s mengejar bola kedua yang bergerak dengan kelajuan 10 m/s ke kanan sehingga terjadi tumbukan lenting sempurna.



Jika massa kedua bola adalah sama, masing-masing sebesar 1 kg, tentukan kecepatan masing-masing bola setelah tumbukan

- A. 6 m/s                        D. 9 m/s  
 B. 8 m/s                        E. 10 m/s  
 C. 7 m/s

#### Pembahasan

Terlebih dahulu buat perjanjian tanda:

Arah kanan (+)

Arah kiri (-)

Dari hukum kekekalan momentum didapat persamaan:

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

$$1 \times 20 + 1 \times 10 = 1v_1' + 1v_2'$$

$$v_1' = 30 - v_2'$$

(Persamaan 1)

Koefisien restitusi ( $e$ ) untuk tumbukan lenting sempurna adalah  $e = 1$ .

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

$$1 = \left(\frac{v_1' - v_2'}{10 - 20}\right)$$

$$v_1' - v_2' = -10$$

(Persamaan 2)

**Gabungan persamaan 1 dan 2:**

$$v_1' - v_2' = -10$$

$$(30 - v_2') - v_2' = -10$$

$$40 = 2v_2'$$

$$v_2' = 20 \text{ m/s}$$

$$v_1' = 30 - 20 = 10 \text{ m/s}$$

Jawab : E

3. Bola hitam dan bola hijau saling mendekat dan bertumbukan seperti diperlihatkan gambar di bawah



Jika koefisien restitusi tumbukan adalah 0,5 dan massa masing-

masing bola adalah sama sebesar 1 kg, tentukan kelajuan kedua bola setelah tumbukan

- A. 2,5 m/s                      D. -12,5 m/s  
B. -2,5 m/s                    E. 12,5 m/s  
C. 5,4 m/s

**Pembahasan**

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

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{v_1' - v_2'}{v_2 - v_1}\right)$$

$$\frac{1}{2} = \left(\frac{v_1' - v_2'}{-10 - 20}\right)$$

$$2(v_1' - v_2') = -30$$

$$v_1' - v_2' = -15$$

$$v_1' = v_2' - 15$$

(Persamaan 1)

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

$$(1)(20) + (1)(-10) = (1)(v_1') + (1)(v_2')$$

$$10 = v_1' + v_2'$$

**Persamaan 2**

**Gabungan 1 dan 2 :**

$$10 = v_1' + v_2'$$

$$10 = (v_2' + 15) + v_2'$$

$$25 = 2v_2' \rightarrow v_2' = 12,5 \text{ m/s}$$

$$v_1' = v_2' - 15$$

$$v_1' = 12,5 - 15 = -2,5 \text{ m/s}$$

## LATIHAN SOAL BAB 15

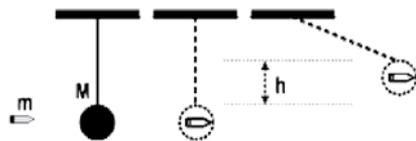
**Pilihlah Salah Satu Jawaban Yang Tepat**

1. Sebuah granat yang diam tiba-tiba meledak dan pecah menjadi 2 bagian yang bergerak dalam arah berlawanan. Perbandingan massa

kedua bagian itu adalah  $m_1 : m_2 = 2 : 3$ . Bila energi yang dibebaskan adalah  $5 \times 10^5$  joule, maka perbandingan energi kinetik pecahan granat kedua dan pecahan pertama adalah.....

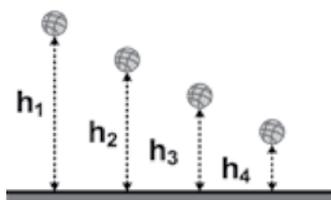
- A. 4 : 9                      D. 3 : 2  
 B. 2 : 3                      E. 1 : 2  
 C. 9 : 4

2. Bola bermassa  $M = 1,90$  kg digantung dengan seutas tali dalam posisi diam seperti gambar di bawah.



Sebuah peluru bermassa  $m = 0,10$  kg ditembakkan hingga bersarang di dalam bola. Jika posisi bola mengalami kenaikan sebesar  $h = 20$  cm dan percepatan gravitasi bumi adalah  $10 \text{ m/s}^2$  tentukan kelajuan peluru saat mengenai bola!

- A. 10 m/s                      D. 15 m/s  
 B. 30 m/s                      E. 25 m/s  
 C. 40 m/s
3. Bola karet dijatuhkan dari ketinggian 1 meter seperti gambar berikut!



Jika bola memantul kembali ke atas dengan ketinggian 0,6 meter, tentukan tinggi pantulan bola berikutnya adalah ....

- A. 1 m                      D. 3,6 m  
 B. 1,4 m                      E. 4,2 m  
 C. 0,36 m

4. Sebuah benda dengan massa 2 kg jatuh bebas dari suatu ketinggian 80 m diatas a tanah. Besar momen-tum ketika benda sampai di permukaan tanah adalah.... (percepatan gravitasi  $g = 10 \text{ m/s}^2$ )
- A. 40 kg m/s                      D. 160 kg m/s  
 B. 80 kg m/s                      E. 180 kg m/s  
 C. 120 kg m/s

5. Sebuah bola bermassa 0,15 kg mula-mula diam, kemudian setelah dipukul dengan tongkat,kecepatan bola 15 m/s.Impuls dari gaya pemukul tersebut adalah.....
- A. 5,25 Ns                      D. 2,25 Ns  
 B. 4,25 Ns                      E. 1,25 Ns  
 C. 3,25 Ns

6. Sebuah mobil yang massanya 1.500 kg bergerak dengan kecepatan 72 km/jam, tiba-tiba menabrak sebuah tebing. Mobil tersebut berhenti setelah 0,2 sekon. Besar gaya rata-rata yang bekerja pada mobil selama tumbukan adalah....
- A. 50.000 N                      D. 200.000 N  
 B. 100.000 N                      E. 250.000 N  
 C. 150.000 N

7. Sebuah senapan bermassa 0,80 kg menembakkan peluru bermassa 0,0016 kg dengan kecepatan dengan kecepatan 700 m/s. Kecepatan senapan mendorong bahu penembak adalah ....
- A. 14 m/s                      D. 17 m/s  
 B. 15 m/s                      E. 18 m/s  
 C. 16 m/s

8. Sebuah bola dengan massa  $m$  di lemparkan mendatar dengan kelajuan  $v$ . Bola ini mengenai dinding dan dipantulkan dengan kelajuan yang sama..Besarnya impuls yang di kerjakan dinding pada bola adalah.....

A. 0

B.  $\frac{1}{4} mv$

C.  $\frac{1}{2} mv$

D.  $mv$

E.  $2 mv$



Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya, ada yang kembali ke bentuk aslinya, bila gaya dihilangkan (elastis). Dan ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak (plastis). Sifat kelentingan dengan dua pengertian yang dinamakan stress dan strain.

### 1. Stress ( Tegangan )

Adalah gaya persatuan Luas

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

Dimana:  $\delta$  = Stress

A = Luas

F = Gaya

### 2. Strain/Regangan

Dikarenakan pada perubahan relative dari bentuk atau ukuran benda yang mengalami stress.

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

### 3. Modulus Elastisitas

Perbandingan antara stress dan strain yang ditimbulkannya disebut modulus elastisitas /young.

$$\gamma = \frac{\delta}{e} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{F}{A} \cdot \frac{L_0}{\Delta L}$$

## Grafik Tegangan dan Regangan

Hubungan antara tegangan dan regangan setiap bahan berbeda, tergantung jenis dan bahannya. Bila tegangan dan regangan digambarkan dalam suatu grafik akan diperoleh bentuk yang berbeda-beda. Tegangan dan regangan adalah proporsional, daerah ini memenuhi hukum Hooke, karena tegangan sebanding dengan regangan.

Jika beban ditambah, regangan akan semakin besar dan bila sampai lewat dari titik bahan tidak akan kembali ke bentuk semula, jika regangan diadukan (garis putus), dikatakan bahan mempunyai regangan tetap.

### Contoh:

Batang baja yang panjang 2,5 m penampangnya  $6 \text{ cm}^2$  dan modulus elastisitasnya  $21 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$  disambung dengan batang aluminium yang penampangnya  $4 \text{ cm}^2$  dan modulus elastisitasnya  $7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ . Kedua ujung batang logam tersebut dipasang gaya 500 N. Ternyata pertambahan panjang kedua logam itu sama, tentukan:

- Panjang batang aluminium mula-mula
- Tegangan dari tiap-tiap batang logam
- Regangan dari tiap-tiap batang logam

Penyelesaian:

Diketahui:  $L_0 \text{ baja} = 2,5 \text{ m}$   
 $A_{\text{al}} = 4 \text{ cm}^2 = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$   
 $A_{\text{baja}} = 6 \text{ cm}^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$   
 $\gamma_{\text{al}} = 7 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$   
 $\gamma_{\text{baja}} = 21 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$   
 $F = 500 \text{ N}$

- Ditanya:
- $L_0 \text{ Al} \dots\dots?$
  - $\delta_{\text{Al}} \dots? \delta_{\text{baja}} \dots?$
  - $e_{\text{Al}} \dots? e_{\text{baja}} \dots?$

Jawab:

$$\gamma_{\text{baja}} = \frac{F}{A} \cdot \frac{L_0}{\Delta L}$$
$$21 \cdot 10^{10} = \frac{500}{6 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{2,5}{\Delta L}$$
$$\Delta L = \frac{1250}{126 \cdot 10^6} = 9,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

- Panjang batang aluminium mula-mula

$$\gamma_{\text{Al}} = \frac{F}{A} \cdot \frac{L_0}{\Delta L}$$
$$7 \cdot 10^{10} = \frac{500}{4 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{L_0}{9,9 \cdot 10^{-6}}$$
$$L_0 = 0,55 \text{ m}$$

- b. Tegangan dari tiap-tiap batang logam

$$\delta_{al} = \frac{F}{A} = \frac{500}{4 \cdot 10^{-4}} = 1,25 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\delta_{baja} = \frac{F}{A} = \frac{500}{6 \cdot 10^{-4}} = 8,33 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

c.  $e_{baja} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1,41 \cdot 10^{-6}}{2,5} = 3,968 \cdot 10^{-6}$

$$e_{Al} = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1,41 \cdot 10^{-6}}{0,55} = 1,786 \cdot 10^{-5}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Sobot punya sebuah kawat dengan luas penampang 2 mm<sup>2</sup>, kemudian diregangkan oleh gaya sebesar 5,4 N sehingga bertambah panjang sebesar 5 cm. Bila panjang kawat mula-mula adalah 30 cm, berpakah modulus elastisitas dari kawat tersebut?

- A.  $1,53 \times 10^6 \text{ N/m}^2$   
 B.  $1,3 \times 10^6 \text{ N/m}^2$   
 C.  $1,65 \times 10^6 \text{ N/m}^2$   
 D.  $1,62 \times 10^7 \text{ N/m}^2$   
 E.  $1,86 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

Jawab: D

Diketahui

$$A = 2 \text{ mm}^2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$F = 5,4 \text{ N}$$

$$\Delta l = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$l_0 = 30 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$\gamma = \frac{F}{A} \cdot \frac{l_0}{\Delta L}$$

$$\gamma = \frac{5,4 \times 3 \cdot 10^{-1}}{2 \cdot 10^{-6} \times 5 \cdot 10^{-2}} = 1,62 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

## LATIHAN SOAL BAB 16

### Pilihlah Salah Satu Jawaban Yang Tepat

1. Diberikan gaya pada suatu pegas 200 N dengan luas penampang batang 50 m<sup>2</sup>. Berapa tegangan yang di hasilkan dari pegas tersebut?
- a. 9,0 N/m<sup>2</sup>      d. 3,0 N/m<sup>2</sup>  
 b. 5,0 N/m<sup>2</sup>      e. 2,5 N/m<sup>2</sup>  
 c. 4,0 N/m<sup>2</sup>
2. Sebuah kawat luas penampangnya 4 mm<sup>2</sup> dan panjangnya 10 m. Ka-

wat diregangkan dengan gaya 48 N. Jika modulus young tembaga  $12 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ . Berapa pertambahan panjang kawat?

- a.  $14 \times 10^{-4} \text{ m}$       d.  $11 \times 10^{-4} \text{ m}$   
 b.  $13 \times 10^{-4} \text{ m}$       e.  $10 \times 10^{-4} \text{ m}$   
 c.  $12 \times 10^{-4} \text{ m}$

3. Sebuah logam mempunyai modulus Young  $4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ , luas penampangnya 20 cm<sup>2</sup> dan panjang batang adalah 5 meter. Konstanta gaya dari logam tersebut adalah ....

- a. 400 N/m      d. 6400 N/m  
 b. 3200 N/m    e. 1600 N/m  
 c. 800 N/m
4. Besarnya tegangan yang dilakukan pada sebuah batang adalah  $2 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>. Jika panjang batang adalah 4 meter dan modulus elastistasnya  $2,5 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>, maka pertambahan panjang batang adalah .....
- a. 0,8 cm      d. 5.0 cm  
 b. 6,4 cm      e. 3,2 cm  
 c. 16, cm
5. Untuk meregangkan sebuah pegas sebesar 4 cm diperlukan usaha 0,16 J. Gaya yang diperlukan untuk meregangkan pegas tersebut sepanjang 2 cm diperlukan gaya sebesar...
- A. 0,8 N      D. 3,2 N  
 B. 1,6 N      E. 4,0 N  
 C. 2,4 N
6. Sepotong kawat logam homogen dengan panjang 140 cm dan luas penampangnya 2 mm<sup>2</sup> ketika ditarik dengan gaya sebesar 100 N bertambah panjang 1 mm. Modulus elastik bahan kawat logam tersebut adalah....
- A.  $7 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>    D.  $7 \times 10^{11}$  N/m<sup>2</sup>  
 B.  $7 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup>    E.  $7 \times 10^{17}$  N/m<sup>2</sup>  
 C.  $7 \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup>
7. Diberikan gaya pada suatu pegas 200 N dengan luas penampang batang 50 m<sup>2</sup>. Berapa tegangan yang di hasilkan dari pegas tersebut?
- A. 9,0 N/m<sup>2</sup>      D. 3,0 N/m<sup>2</sup>  
 B. 5,0 N/m<sup>2</sup>      E. 2,5 N/m<sup>2</sup>  
 C. 4,0 N/m<sup>2</sup>
8. Sebuah kawat luas penampangnya 4 mm<sup>2</sup> dan panjangnya 10 m. Kawat diregangkan dengan gaya 48 N. Jika modulus young tembaga  $12 \times 10^{10}$  N/m<sup>2</sup>. Berapa pertambahan panjang kawat?
- A.  $14 \times 10^{-4}$  m      D.  $11 \times 10^{-4}$  m  
 B.  $13 \times 10^{-4}$  m      E.  $10 \times 10^{-4}$  m  
 C.  $12 \times 10^{-4}$  m

**A. Gelombang**

Getaran yang merambat, sedangkan getaran itu sendiri memiliki energi. Fenomena merambatnya energi pada gelombang merupakan fakta yang sangat penting sehingga didefinisikan sebagai energi yang merambat.

Sifat-sifat gelombang:

1. Dapat dipantulkan (refleksi)
2. Dapat dibiaskan (refraksi)
3. Dapat dibelokkan dengan melewati pada celah sempit
4. Dapat dijumlahkan (interferensi)

Pengelompokkan gelombang:

1. Berdasarkan arah getar
  - a. Gelombang Transversal  
Gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya. Contoh: gelombang tali dan gelombang cahaya.
  - b. Gelombang Longitudinal  
Gelombang yang arah getarnya sejajar dengan arah rambatnya. Contoh: gelombang slinki dan gelombang bunyi.
2. Berdasarkan medium
  - a. Gelombang mekanik  
Gelombang yang memerlukan medium untuk merambat. Contoh: gelombang tali, gelombang permukaan air, dan gelombang bunyi.
  - b. Gelombang Elektromagnetik  
Gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Contoh: gelombang cahaya dan gelombang radio.

Teori dan pendapat tentang gelombang elektromagnetik diantaranya:

1. Percobaan James Clerk Maxwell (1831 – 1879)  
Cepat rambat gelombang elektromagnetik sama dengan cepat rambat cahaya  $3 \times 10^8$  m/s.

2. Percobaan Pieter Zeman (1825 – 1943)  
Medan magnet sangat berpengaruh terhadap berkas cahaya. Percobaan ini memperkuat pembuktian Maxwell.
3. Percobaan Heinrich Rudolph Hertz (1857 – 1894)  
Membuktikan bahwa gelombang elektromagnetik adalah gelombang transversal, hal tersebut sesuai dengan kenyataan bahwa cahaya dapat mengalami polarisasi, ini memperkuat kesimpulan Maxwell.

## B. Definisi Gelombang Elektromagnetik

1. Merupakan gelombang transversal.
2. Tidak memerlukan medium untuk merambat (dapat merambat di hampa udara / vakum).
3. Memiliki sifat-sifat seperti gelombang diantara refleksi, refraksi, difraksi, dan interferensi.
4. Merupakan rambatan medan listrik dan medan magnet kesegala arah saling tegak lurus secara periodik.
5. Tidak bermuatan listrik.
6. Kecepatannya hanya bergantung pada permeabilitas magnet dan permitivitas listrik, ditulis:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

dengan:  $\mu_0$  = permeabilitas magnet =  $4\pi \times 10^{-7}$  Wb/Am

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik =  $8,85 \times 10^{-12}$  C<sub>2</sub>/Nm

7. Dalam vakum kecepatan gelombang elektromagnetik = kecepatan cahaya =  $3 \times 10^8$  m/s.
8. Untuk persamaan gelombang elektromagnetik, ditulis:

$$c = \lambda \cdot f$$

dengan: c = cepat rambat gelombang elektromagnetik (m/s)

$\lambda$  = panjang gelombang elektromagnetik (m)

f = frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz)

### Contoh soal:

Suatu gelombang elektromagnetik merambat dalam ruang hampa dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s. Apabila frekuensi gelombang tersebut 10 Hz. Tentukan panjang gelombangnya?

*Penyelesaian:*

Frekuensi gelombang f = 10 M Hz =  $10^7$  Hz

Cepat rambat gelombang C =  $3 \times 10^8$  m/s

Jawab: Panjang gelombang =  $\lambda$   
 $c = \lambda \cdot f$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{10^7} = 30 \text{ cm}$$

### C. Spektrum gelombang elektromagnetik

Spektrum gelombang elektromagnetik dikelompok berdasarkan frekuensi besar ke frekuensi kecil, dapat dilihat pada tabel

No.	Gelombang elektromagnetik	Frekuensi	Panjang gelombang
1.	Sinar gamma	$10^{18} - 10^{24}$ Hz	$3 - 6 \times 10^{-7}$ A
2.	Sinar X	$10^{16} - 10^{20}$ Hz	$3 \cdot 10^{-2} - 10^2$ A
3.	Sinar ultraviolet	$10^{14} - 10^{16}$ Hz	$10^3 - 10^2$ A
4.	Cahaya tampak	$10^{14}$ Hz	$4 \times 10^3 - 7 \times 10^3$ A
5.	Sinar inframerah	$10^{11} - 10^{14}$ Hz	$10^3 - 10^7$ A
6.	Gelombang mikro	$10^9 - 10^{11}$ Hz	$10^7 - 10^9$ A
7.	Gelombang TV dan radio	$4 \times 10^7 - 2 \times 10^8$ Hz	$1,5 \times 10^{10} - 7,5 \times 10^{10}$ A
8.	Gelombang radio AM	$5 \times 10^5 - 2 \times 10^7$ Hz	$1,5 \times 10^{11} - 6 \times 10^{12}$ A

Intensitas gelombang elektromagnetik

Intensitas gelombang elektromagnetik sebanding dengan nilai maksimum medan magnetik dan medan listrik, ditulis:

$$I = \frac{E_{\text{maks}} \cdot B_{\text{maks}}}{2 \cdot \mu_0}$$

dengan:  $I$  = intensitas rata-rata gelombang elektromagnetik (watt/m<sup>2</sup>)

$E_{\text{maks}}$  = medan listrik (N/C)

$B_{\text{maks}}$  = medan magnet (wb/m<sup>2</sup>)

$\mu_0$  = permeabilitas magnet =  $4\pi \times 10^{-7}$  wb/A.m

dan berlaku juga persamaan:  $\frac{E_{\text{maks}}}{B_{\text{maks}}} = C$ , dimana  $C$  = cepat rambat cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s).

### D. Pemanfaatan gelombang elektromagnetik

Dimanfaatkan dalam RADAR (*Radio detection and ranging*) dan pancaran dilakukan secara terarah dalam bentuk pulsa dengan silang waktu tertentu.

$$S = \frac{1}{2} (C \cdot \Delta t)$$

dengan:  $S$  = jarak yang ditempuh gelombang bolak-balik (m)

$c$  = cepat rambat gelombang ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\Delta t$  = selang waktu antara pancaran dari penerima gelombang elektromagnetik

### Contoh Soal dan Pembahasan

- Sebuah radar memancarkan gelombang elektromagnetik yang mengenai pesawat terbang musuh dan kembali dalam waktu  $4\mu$  detik. Tentukan jarak pesawat terbang musuh tersebut dari radar
  - 0,06 m
  - 0,6 m
  - 0,06 cm
  - 0,6 cm
  - 6 m

Jawab: A

Pembahasan

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned} \text{Waktu} = t &= 4\mu \text{ detik} \\ &= 4 \cdot 10^{-6} \text{ detik;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Cepat rambat gelombang} &= C \\ &= 3 \times 10^8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jarak pesawat terbang

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} (3 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^{-6}) \\ &= \frac{1}{2} (12 \cdot 10^2) = 6 \cdot 10^2 \text{ m} \end{aligned}$$

- Suatu gelombang elektromagnetik merambat dalam ruang hampa dengan kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s. Apabila frekuensi gelombang tersebut 10 Hz. Tentukan panjang gelombangnya ?

- 35 m
- 24 m
- 30 m
- 25 m
- 45 m

Jawab: ( c )

*Penyelesaian:*

$$\begin{aligned} \text{Frekuensi gelombang } f &= 10 \text{ M Hz} \\ &= 10^7 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Cepat rambat gelombang

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

Jawab: Panjang gelombang =  $\lambda$

$$C = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = \frac{C}{f}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{10^7} = 30 \text{ m}$$

## LATIHAN SOAL BAB 16

**Pilihlah Salah Satu Jawaban Yang Tepat**

- Suatu perubahan medan listrik menghasilkan ....
  - Gelombang bunyi
  - Gelombang mekanik

- Gelombang elektromagnetik
  - Suatu medan magnet
  - Tidak ada yang istimewa
- Dalam vakum, kelajuan suatu gelombang elektromagnetik ...

- A. Bergantung pada frekuensinya  
 B. Bergantung pada panjang gelombang  
 C. Bergantung pada medan listriknya  
 D. Bergantung pada medan listrik dan medan magnetnya  
 E. Adalah suatu tetapan umum
2. Yang termasuk sifat gelombang elektromagnetik adalah ...
- A. Dapat berinterferensi dan difraksi  
 B. Dapat dibelokkan dalam medan listrik  
 C. Memerlukan medium untuk perambatannya  
 D. Dapat didifraksikan tetapi tidak dapat dipolarisasikan  
 E. Dapat dipolarisasikan tetapi tidak dapat berinterferensi
3. Frekuensi tertinggi didapatkan dalam ...
- A. Gelombang radar  
 B. Cahaya ultraviolet  
 C. Cahaya inframerah  
 D. Gelombang radio  
 E. Sinar - X
4. Gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang terpanjang adalah ...
- A. Sinar - X  
 B. Sinar inframerah  
 C. Sinar Ultraungu  
 D. Sinar Gamma  
 E. Gelombang radio
5. Lapisan atmosfer yang memantulkan gelombang radio MF dan HF adalah ...
- A. Stratosfer      d. Eksosfer  
 B. Mesosfer      e. Termosfer  
 C. Ionosfer
6. Jika frekuensi sebuah gelombang radio 30 MHz, maka panjang gelombang radio tersebut adalah ...
- A. 50 m      D. 20 m  
 B. 40 m      E. 10  
 C. 30 m
7. Diantara kelompok warna-warna berikut ini yang frekuensinya merupakan urutan yang naik adalah ...
- A. Biru - hijau - kuning - merah  
 B. Hijau - merah - kuning - biru  
 C. Merah - kuning - hijau - biru  
 D. Merah - biru - hijau - kuning  
 E. Kuning - merah - biru - hijau
8. Lebar frekuensi sinar hijau 500 - 550 nm adalah ...
- A.  $6,5 \cdot 10^{14}$  Hz -  $7,0 \cdot 10^{14}$  Hz  
 B.  $6,0 \cdot 10^{14}$  Hz -  $6,5 \cdot 10^{14}$  Hz  
 C.  $5,5 \cdot 10^{14}$  Hz -  $6,0 \cdot 10^{14}$  Hz  
 D.  $5,0 \cdot 10^{14}$  Hz -  $5,5 \cdot 10^{14}$  Hz  
 E.  $4,5 \cdot 10^{14}$  Hz -  $5,0 \cdot 10^{14}$  Hz
9. Penyinaran sinar - X dalam selang waktu yang terlalu lama pada tubuh manusia dapat menyebabkan ...
- A. Penguatan tulang  
 B. Kerusakan jaringan sel-sel manusia  
 C. Mempercepat sirkulasi darah  
 D. Memperkuat jaringan sel-sel manusia  
 E. Manusia memiliki daya penglihatan tembus pandang
11. Sifat sifat gelombang elektromagnetik:

1. Dapat merambat dalam ruang hampa.
  2. merupakan gelombang elektromagnet
  3. kecepatannya = kecepatan cahaya
  4. dapat mengalami polarisasi
- Pernyataan yang benar adalah:
- A. 1, 2, 3                      D. 4 saja  
 B. 1 dan 3                      E. 1, 2, 3, dan 4  
 C. 2 dan 4
12. Sinar X mempunyai daya tembus sangat besar sebab:
- A. sinar x merupakan gelombang elektromagnet  
 B. sinar x panjang gelombangnya sangat pendek  
 C. sinar x kecepatannya sangat besar  
 D. sinar x frekuensinya sangat kecil  
 E. sinar x tidak bermuatan listrik
13. Cepat rambat cahaya di udara  $3 \times 10^8$  m/s. Jika cahaya merambat di dalam suatu medium yang permitivitasnya  $10^{-11} \text{C}^2/\text{Nm}^2$  dan permeabilitasnya  $1,6 \times 10^{-6} \text{Wb/A.m}$  maka cepat rambat cahaya di dalam medium tersebut adalah:
- A.  $1,60 \times 10^8$  m/s  
 B.  $2,00 \times 10^8$  m/s  
 C.  $2,25 \times 10^8$  m/s  
 D.  $2,50 \times 10^8$  m/s  
 E.  $3,00 \times 10^8$  m/s
14. Kuat medan listrik maksimum dari gelombang elektromagnet di suatu tempat 100 N/C. Cepat rambat gelombang elektromagnet di ruang hampa  $3 \cdot 10^8$  m/s,  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{Nm}^2$ . Intensitas gelombang elektromagnet . . . .
- A. 2,950 watt/m<sup>2</sup>  
 B. 8,850 watt/m<sup>2</sup>  
 C. 13,275 watt/m<sup>2</sup>  
 D. 17,700 watt/m<sup>2</sup>  
 E. 26,550 watt/m<sup>2</sup>



## A. Atom

Sebuah atom terdiri dari inti atom sangat kecil, yang dikelilingi electron-elektron menyerupai awan elektron. Partikel partikel positif yang menyusun inti ini disebut proton. Proton proton bermuatan positif ini dengan mudah dideteksi oleh kamar ionisasi.

Dengan menggunakan hukum kekekalan momentum dan energi, Chadwick mampu membuktikan bahwa massa partikel neutron memiliki massa hamper sama dengan massa proton. Jumlah proton dalam suatu inti disebut nomor atom dilambangkan oleh  $Z$ , sedangkan jumlah nucleon dalam inti atom disebut nomor massa dilambangkan  $A$ . Jika unsur dilambangkan oleh  $X$  maka inti atom dengan nomor atom dan nomor massa tertentu disebut nuklida. Sebuah nuklida dilambangkan dengan lambang nuklida  ${}^A_ZX$

### 1. Isotop, Isobar, dan Isoton

- Isotop adalah dua jenis atom yang memiliki massa yang berbeda, contoh yang nyata dalam hal ini adalah neon bermassa 20 dan 22 dilambangkan sebagai  ${}^{20}_{10}\text{Ne}$  dan  ${}^{22}_{10}\text{Ne}$
- Isobar adalah dua jenis atom yang memiliki nomor massa yang sama,  ${}^3_1\text{H}$  dengan  ${}^4_1\text{He}$  merupakan contoh isobar.
- Isoton adalah dua jenis atom yang jumlah neutronnya sama.

### 2. Kestabilan Inti

Inti tetap stabil karena adanya gaya inti kuat atau gaya nuklir kuat. Gaya nuklir kuat termasuk gaya tarik dengan jangkauan sangat pendek kira-kira 2 fm yang terbentuk diantara semua partikel inti. Radioaktivitas terjadi karena ketidakstabilan inti atom, dan inti atom yang dapat memancarkan sinar radioaktif disebut inti atom tidak stabil. Sebaliknya inti atom yang tidak dapat memancarkan sinar radioaktif disebut inti atom stabil (defek massa). Massa ini bukan hilang

melainkan berubah menjadi energi ikat inti.

### 3. Defek Massa dan Enerfi Ikat Inti

Massa inti atom harusnya sama dengan jumlah massa proton dan neutron penyusun inti tersebut. Tetapi kenyataan massa inti lebih kecil daripada jumlah massa partikel penyusunnya. Berarti dalam hal pembentukan inti terjadi penyusutan massa (defek massa). Massa ini bukan hilang melainkan berubah menjadi energi ikat inti.

Besarnya defek massa dapat dirumuskan sebagai:

$$Dm = (Zm_p + (A-Z)m_n) - m_{inti}$$

dengan:  $Dm$  = defek massa

$Z$  = Jumlah proton dalam inti atom dalam inti atom

$A$  = Jumlah proton dan neutron dalam inti atom

Manfaat dan bahaya radioaktif dalam kehidupan sehari-hari

Dalam kehidupan sehari-hari, radioaktif ini dipakai pada bidang-bidang sebagai berikut:

- a. Dalam bidang kedokteran
  - untuk mengetahui keefektifan kerja jantung atau ginjal dengan sodium 24
  - menentukan lokasi tumor otak, mendeteksi tumor kelenjar gondok dengan yodium 131
  - membunuh sel-sel kanker dalam tubuh manusia dengan kobalt 60
- b. Dalam bidang pertanian

Dengan radiasi sinar gamma dari kobalt 60 akan didapatkan mutasi sel tumbuhan sehingga dihasilkan generasi yang lebih baik dan mendapatkan bibit yang lebih unggul

## B. Radioaktivitas

Radioaktivitas adalah kemampuan inti atom yang tak-stabil untuk memancarkan radiasi menjadi inti yang stabil. Materi yang mengandung inti tak-stabil yang memancarkan radiasi, disebut zat radioaktif.

Dalam tahun 1896 seorang fisikawan Perancis Henry Becquerel (1852-1908) untuk pertama kalinya menemukan radiasi dari senyawa-senyawa uranium. Radiasi ini tak tampak oleh mata, radiasi ini dikenal karena sifatnya, yaitu

- Menghitamkan film
- Dapat mengadakan ionisasi
- Dapat memendarkan bahan-bahan tertentu
- Merusak jaringan tubuh
- Daya tembusnya besar

Radiasi ini tidak dapat dipengaruhi oleh perubahan keadaan lingkungan seperti: suhu, tekanan suatu reaksi kimia.

Contoh: Uranium disebut bahan radio aktif, dan radiasi yang dipancarkan disebut sinar radio aktif.

Gejala ini diperoleh Becquerel ketika mengadakan penelitian terhadap sifat-sifat Fluoresensi yakni perpendaran suatu bahan selagi disinari cahaya. Fosforesensi yaitu berpendarnya suatu bahan setelah disinari cahaya, jadi berpendar setelah tak disinari cahaya. Fluoresensi dan Fosforesensi tidak bertentangan dengan hukum kekekalan energi, bahan-bahan berpendar selagi menerima energi atau setelah menerima energi. Persenyawaan uranium tidak demikian halnya, radiasi persenyawaan uranium tanpa didahului oleh penyerapan energi, suatu hal yang sangat bertentangan dengan hukum kekekalan energi. Namun setelah teori relativitas Einstein lahir, gejala itu bukan sesuatu yang mustahil, sebab energi dapat terjadi dari perubahan massa. Penyelidikan terhadap bahan radioaktivitas dilanjutkan oleh suami istri Pierre Curie (1859-1906), dan Marrie Currie (1867-1934), yang menemukan bahan baru.

Bila berkas sinar radioaktif dilewatkan melalui medan listrik dan medan magnet, ternyata hanya 3 jenis sinar pancaran yang lazim disebut sinar  $\alpha$ , sinar  $\beta$ , dan sinar  $\gamma$ .

- a. **Sinar  $\alpha$**  adalah berkas yang menyimpang ke keping negatif. Dari arah simpangannya, jelas bahwa sinar  $\alpha$  adalah partikel yang bermuatan positif. Ternyata sinar  $\alpha$  adalah ion He martabat (valensi) dua.  ${}_2\alpha^4 = {}_2\text{He}^4$   
Daya ionisasi sinar  $\alpha$  sangat besar sedangkan daya tembusnya sangat kecil.
- b. **Sinar  $\beta$**  adalah berkas yang menyimpang ke arah keping positif, sinar  $\beta$  adalah partikel yang bermuatan negatif. Ternyata massa dan muatan sinar sama dengan massa dan muatan elektron.  ${}_1\beta^0 = {}_{-1}e^0$   
Daya ionisasinya agak kecil sedangkan daya tembusnya agak besar.
- c. **Sinar  $\gamma$**  adalah berkas yang tidak mengalami simpangan di dalam medan listrik maupun medan magnet. Ternyata sinar  $\gamma$  adalah gelombang elektromagnetik seperti sinar X. Daya ionisasi sinar  $\gamma$  paling kecil dan daya tembusnya paling besar.

## 1. Struktur Inti

- Inti atom terdiri dari: proton dan neutron.
- Jumlah proton dan neutron dalam inti (disebut nukleon) dinyatakan sebagai nomor atom (A). Jumlah proton dalam inti dinyatakan sebagai nomor atom (Z) dan jumlah neutron dalam inti adalah A-Z.
- Nuklida adalah suatu campuran nukleon tertentu yang membentuk jenis inti atom tertentu.
- Nomor atom (Z) dan jumlah neutron dalam inti adalah A-Z.
- Nuklida adalah suatu campuran nukleon tertentu yang membentuk jenis inti atom tertentu.

- ${}_Z^A X$  yang memiliki nomor atom (Z) sama, tetapi memiliki nomor massa (A) berbeda. Berarti nuklida itu memiliki sifat kimia yang sama, sedangkan sifat fisika berbeda.
- ISOBAR: nuklida-nuklida yang memiliki nomor massa (A) sama, akan tetapi nomor atom (Z) berbeda.
- ISOTON: nuklida yang memiliki jumlah neutron sama.

## 2. Stabilitas Inti

- Nuklida bersifat stabil jika : jumlah proton (Z) kurang dari 20 dan harga N (jumlah neutron) / Z (jumlah proton) sama dengan satu atau jumlah sama dengan jumlah neutron atau jumlah proton (Z) lebih dari 20 dan harga N / Z berkisar 1 - 1,6.
- Nuklida-nuklida dengan N/Z diluar pita kestabilan merupakan nuklida tidak stabil disebut sebagai nuklida radio aktif

## 3. Tenaga Ikat Inti (Energi Binding)

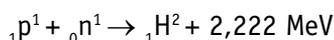
Telah diketahui bahwa inti terdiri dari proton dan neutron. Proton didalam inti tolak menolak, adanya kesatuan didalam inti disebabkan oleh adanya gaya yang mempertahankan proton itu dalam inti, gaya ini disebut gaya inti (nucleus force). Penilaian yang cermat menunjukkan bahwa massa inti yang lebih kecil lebih stabil dari jumlah massa proton dan netron yang menyusunnya. Massa detron ( ${}_1^2\text{H}$ ) lebih kecil dari massa proton dan netron yang menjadi komponen-komponen detron.

Detron terdiri atas satu proton dan satu netron

- massa 1 proton = 1,007825 sma
- massa 1 netron = 1,008665 sma
- jumlah = 2,016490 sma
- massa detron = 2,014103 sma

Perbedaan massa  $m = 0,002387 \text{ sma} = 2,222 \text{ MeV}$

Hal ini menunjukkan ketika proton bergabung dengan netron dibebaskan energi sebesar 2,222 MeV



Untuk membelah detron kembali menjadi proton dan netron diperlukan energi 2,222 MeV, karenanya tenaga sebesar 2,222 MeV disebut tenaga ikat (energi binding) detron. Karena detron terdiri atas 2 nukleon, maka tenaga ikat tiap nukleon adalah

$$\frac{2,222}{2} = 1,111 \text{ MeV}$$

Tenaga ikat nukleon paling besar pada unsur yang nomor atomnya 50. Makin besar tenaga ikat, makin besar pula energi yang diperlukan untuk memecah unsur itu, ini berarti makin stabil keadaan unsur itu.

Karena tenaga ikat tiap nukleon paling besar pada atom yang nomor atomnya 50 dapat ditarik kesimpulan :

- Ketika inti-inti ringan bergabung menjadi inti-inti yang lebih berat akan disertai dengan pembebasan energi.
- Bila inti-inti berat terbelah menjadi inti-inti yang sedang akan dibebaskan energi.

Dengan demikian energi ikat inti di dapat dari adanya perbedaan massa penyusun inti. Massa intinya sendiri dan perbedaan ini disebut dengan Defect massa. Maka energi ikat inti adalah :  $\{(\Sigma \text{massa proton} + \Sigma \text{massa neutron}) - \text{massa inti}\} \cdot c^2$  (1 sma  $c^2 = 931 \text{ MeV}$ )

#### 4. Peluruhan (Disintegrasi)

Inti atom unsur radio aktif dalam keadaan tidak stabil. Sinar  $\alpha, \beta$  keluar dari inti atom secara spontan, akibatnya inti atom mengalami perubahan yang timbul karena radiasi partikel secara spontan.

#### 5. Hukum Pergeseran

- Keluarnya sinar  $\alpha$  dari inti atom berakibat berkurangnya nomor atom sebanyak dua dan berkurangnya nomor massa sebanyak empat.
- Radiasi sinar  $\beta$  berakibat naiknya nomor atom dengan satu.
- Radiasi sinar  $\gamma$  hanya merupakan proses penyertaan tanpa merubah nomor atom dan nomor massa.

#### 6. Reaksi Inti

Zat radioaktif alam mempunyai inti yang berubah dengan sendirinya setelah memancarkan sinar radioaktif., tetapi inti atom yang tidak bersifat radioaktif dapat diubah sehingga menjadi zat radioaktif (radioaktif buatan).yaitu dengan jalan menembaki inti itu dengan partikel-partikel (ingat peristiwa transmutasi) yang mempunyai kecepatan tinggi.

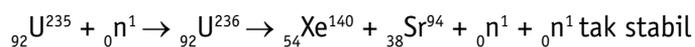
Penembakan inti dengan kecepatan tinggi ini disebut reaksi inti.

Contoh :  ${}_2\text{He}^4 + {}_7\text{N}^{14} \rightarrow {}_8\text{O}^{17} + {}_1\text{H}^1$

#### 7. Reaksi Berantai

Reaksi yang berulang hanya berakhir akibat zat yang bereaksi itu habis atau berubah menjadi zat yang lain.

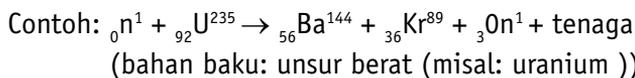
Contoh: Reaksi berantai ENRICO PERMI (1937)



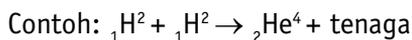
Hasil reaksi ini masih mengandung 2 buah NETRON ( ${}_0\text{n}^1$ ) sehingga neutron ini akan menembak uranium lain sehingga terjadi reaksi seperti semula.

## 8. Reaksi Fisi dan Fusi

- a. FISI adalah reaksi pembelahan dari sebuah atom menjadi dua bagian atom lain yang disertai dengan pelepasan tenaga.



- b. FUSI adalah reaksi penggabungan 2 buah unsur ringan disertai pengeluaran tenaga.



- tenaga fusi > tenaga fisi
- fisi lebih muda terjadi daripada fusi, (fusi temperatur harus tinggi).

## 9. Alat-alat Deteksi

### ■ Pencacah Geiger (penghitung Geiger Muller)

- Kamar kabut Wilson (Geiger Chamber)
- Imulsi Film
- Detektor Sintilasi

Orang mengenal radiasi radioaktif pertama kali melalui pelat foto, kemudian berkembang menjadi alat deteksi emulsi fotografi. Perkembangan alat deteksi tersebut kemudian disusul dengan detektor Geiger Muller yang memanfaatkan ionisasi menjadi pulsa listrik. Kemudian alat ini berkembang menjadi tabung ionisasi dan tabung detektor proporsional. Dengan ditemukannya bahan-bahan sintilasi, yaitu bahan yang jika ditembus radiasi akan memancarkan cahaya, timbul adanya detektor sintilasi.

Pada dasarnya sistem peralatan deteksi radiasi dapat digolongkan menjadi dua bagian utama, bagian pertama adalah transduser yang disebut detektor, yaitu berupa alat yang mengubah radiasi radioaktif menjadi sinyal listrik. bagian kedua berupa alat elektronik yang mampu memperkuat dan memproses sinyal listrik menjadi besaran yang diamati.

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Massa inti atom  ${}_{20}^{40}\text{C}$  adalah 40,078 sma. Jika massa proton = 1,0078 sma dan neutron = 1,0087 sma, defek massa pembentukan  ${}_{20}^{40}\text{C}$  adalah....
- A. 0,165 sma      D. 0,320 sma  
B. 0,252 sma      E. 0,330 sma  
C. 0,262 sma

Jawab : (B)

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Defek massa} &= \text{total massa nukleon penyusun inti} - \text{massa inti} \\ &= 20 \times 1,0078 + 20 \times 1,0087 - 40,078 = 0,252 \text{ sma} \end{aligned}$$

2. Perhatikan pernyataan-pernyataan berikut!
- 1) Sinar gamma digunakan untuk membunuh sel-sel kanker

- 2) Sinar gamma digunakan untuk mensterilkan alat-alat kedokteran
- 3) Sinar alfa digunakan untuk mendeteksi adanya kebocoran suatu pipa
- 4) Sinar beta digunakan untuk mendeteksi kebocoran suatu pipa

Pernyataan yang merupakan manfaat sinar radioaktif yang dihasilkan radioisotop adalah...

- A. (1), (2), dan (3)
- B. (1) dan (3) saja
- C. (2) dan (4) saja
- D. (1), (2), dan (4)
- E. (1) dan (4)

Jawab : (A)

**Penyelesaian:**

Sinar gamma dapat digunakan untuk membunuh sel-sel kanker

Sinar gamma dapat digunakan untuk mensterilkan alat-alat kedokteran

Radiasi alpha dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran suatu pipa

Sebenarnya radiasi beta dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran pipa juga

## LATIHAN SOAL BAB 18

### Pilihlah Salah Satu Jawaban Yang Tepat

1. Jika massa inti  $\text{He}^4 = 4,0020 \text{ sma}$ , massa proton =  $1,0078 \text{ sma}$ , massa neutron =  $1,0087 \text{ sma}$  dan  $1 \text{ sma} = 930 \text{ Mev}$ , maka energi ikat adalah...
  - A. 23 Mev
  - B. 23,44 Mev
  - C. 28,83 Mev
  - D. 43,44 Mev
  - E. 46,22 Mev
2. Suatu unsur radioaktif mempunyai massa 10 gram dan waktu paruh 30 menit. Banyaknya zat radioaktif yang meluruh sesudah 2 jam adalah...
  - A. 0,625 gram
  - B. 1,250 gram
  - C. 2,500 gram
  - D. 8,750 gram
  - E. 9,375 gram
3. Waktu paruh  $^{24}\text{Na}$  adalah 15 hari. Waktu yang diperlukan supaya 75 persen sampel yang mengandung nuklida ini meluruh adalah...
  - A. 15 hari
  - B. 30 hari
  - C. 45 hari
  - D. 60 hari
  - E. 75 hari
4. Di dalam reactor atom fungsi moderator adalah
  - A. tempat berlangsungnya reaksi
  - B. memperlambat gerak neutron
  - C. menyerap kalor hasil reaksi
  - D. memperlambat gerak electron
  - E. mengontrol populasi neutron
5. Setelah 72 hari, iodine 131 yang memiliki waktu paruh 8 hari tinggal memiliki massa 10 gram. Massa awal unsure tersebut adalah...

- A. 80 gram            D. 5120 gram  
 B. 720 gram          E. 8260 gram  
 C. 2160 gram
6. Kelemahan dari model atom Rutherford adalah....
- A. gaya elektrostatis berfungsi sebagai gaya sentripetal  
 B. gaya sentripetal ini menyebabkan elektron bergerak dipercepat  
 C. elektron yang dipercepat memancarkan gelombang elektromagnetik  
 D. atom terdiri dari inti yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif  
 E. saat mengelilingi inti, elektron memiliki lintasan tertentu
7. Radiasi dari radio isotop Co-60 dimanfaatkan untuk...
- A. penghancuran batu ginjal  
 B. detektor asap  
 C. menentukan umur fosil  
 D. terapi pada kelenjar gondok  
 E. membunuh sel kanker
8. Inti atom yang terbentuk memenuhi reaksi fusi berikut ini:
- $${}_1\text{H}^1 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_1\text{d}^2 + {}_1\text{e}^0 + E$$
- Diketahui:
- Massa  ${}_1\text{H}^1 = 1,0078 \text{ sma}$   
 Massa  ${}_1\text{d}^2 = 2,01410 \text{ sma}$   
 Massa  ${}_1\text{e}^0 = 0,00055 \text{ sma}$   
 $1 \text{ sma} = 931 \text{ MeV}$
- Nilai E (energi yang dihasilkan) pada reaksi fusi tersebut adalah ...
- A. 0,44 MeV            D. 1,02 MeV  
 B. 0,88 MeV            E. 1,47 MeV  
 C. 0,98 MeV

## A. Pengertian Gelombang

Gejala mengenai gerak gelombang banyak kita jumpai sehari-hari. Kita tentu mengenal gelombang yang dihasilkan oleh sebuah benda yang dijatuhkan ke dalam air, sebab hal itu mudah kita amati. Di dalam perambatannya ada gelombang yang memerlukan medium perantara, misalnya gelombang air, gelombang bunyi. Tetapi ada juga yang tidak memerlukan medium perantara, misalnya gelombang cahaya dan gelombang elektromagnet. Di dalam bab ini dibahas hanyalah gelombang di dalam medium yang lenting yang disebut **Gelombang Mekanis**.

Karena sifat kelentingan dari medium maka gangguan keseimbangan ini dirambatkan ketitik lainnya. Jadi gelombang adalah usikan yang merambat dan gelombang yang bergerak akan merambatkan energi (tenaga).

Sifat umum gelombang, antara lain

- dapat dipantulkan (refleksi)
- dapat dibiaskan (refraksi)
- dapat dipadukan (interferensi)
- dapat dilenturkan (defraksi)
- dapat dipolarisasikan (diserap arah getarnya)

Berdasarkan arah getaran partikel terhadap arah perambatan gelombang dapat dibedakan menjadi **Gelombang Transversal** dan **Gelombang Longitudinal**.

**Gelombang Transversal** ialah gelombang yang arah perambatannya tegak lurus pada arah getaran partikel, misalnya: gelombang pada tali, gelombang permukaan air, gelombang elektromagnetik.

**Gelombang Longitudinal** ialah gelombang yang arah perambatannya searah dengan arah getaran partikel, misalnya: gelombang pada pegas, gelombang bunyi.

### 1. PANJANG GELOMBANG

Bila sebuah partikel yang bergetar menggetarkan partikel-partikel lain yang berada disekitarnya, berarti getaran itu merambat. Getaran yang merambat dis-

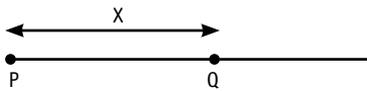
ebut **Gelombang Berjalan**. Jarak yang ditempuh getaran dalam satu periode disebut **Panjang Gelombang** ( $\lambda$ ).

Untuk lebih jelasnya lihat animasi di [WWW.Stevanus\\_fisika.homestead.com](http://WWW.Stevanus_fisika.homestead.com)

Bila cepat rambat gelombang  $v$  dan periode getarannya  $T$  maka:

$$\lambda = v.T \text{ atau } \lambda = \frac{v}{f}$$

## 2. PERSAMAAN GELOMBANG BERJALAN



Dari titik P merambat getaran yang amplitudonya  $A$ , periodenya  $T$  dan cepat rambat getarannya  $v$ . Bila titik P telah bergetar  $t$  detik, simpangannya:

$$y_p = A \sin \omega t = A \sin \frac{2\pi t}{T}$$

Dari P ke Q yang jaraknya  $x$  getaran memerlukan  $\frac{x}{v}$  detik, jadi ketika P telah bergetar  $t$  detik, titik Q baru bergetar  $(t - \frac{x}{v})$  detik. Simpangan Q saat itu:

$$y_q = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

Jadi persamaan gelombang berjalan adalah

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right)$$

Perbedaan phase antara titik P dan Q adalah:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{T} t - \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{x}{v} \right) \qquad \Delta\phi = \frac{2\pi x}{\lambda}$$

Bila getaran itu merambat dari kanan ke kiri dan P telah bergetar  $t$  detik, maka simpangan titik  $Qy = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right)$

## 3. PEMANTULAN GELOMBANG BERJALAN

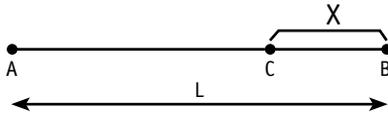
Titik P digerakkan ke atas dan kembali ke titik seimbang. karenanya dari P merambat gunung gelombang menuju Q. Bila Q ujung terikat, ternyata yang dipantulkan adalah lembah gelombang. Jadi oleh ujung terikat gunung gelombang dipantulkan sebagai lembah gelombang, phase gelombang terpantul berupa setengah. Tetapi bila Q ujung yang bebas, yang dipantulkan adalah gunung gelombang.

## 4. PERSAMAAN GELOMBANG STASIONER

Pada proses pantulan gelombang, terjadi gelombang pantul yang mempunyai amplitudo dan frekwensi yang sama dengan gelombang datangnya, hanya saja

arah rambatannya yang berlawanan. hasil interferensi (perpaduan) dari kedua gelombang tersebut disebut **Gelombang Stasioner Atau Gelombang Diam**.

a. PADA UJUNG BEBAS.



Selisih phase gelombang datang dan gelombang pantul di ujung bebas adalah 0, jadi  $\Delta\phi = 0$

Ini berarti bahwa phase gelombang datang sama dengan phase gelombang pantul. Jika L adalah panjang tali dan x adalah jarak titik C yang teramati terhadap titik pantul pada ujung bebas, yaitu titik B. Jika A digetarkan, maka persamaan simpangan di A adalah

$$y_A = A \sin \frac{2\pi}{T} t_A$$

Titik C yang berjarak x dari ujung bebas B, mengalami getaran gelombang dari:

Gelombang datang: yaitu apabila A telah bergetar t detik, maka tentulah C menggetar kurang dari t detik, selisih waktu tersebut adalah sebesar  $\frac{L-x}{v}$ , sehingga  $t_{c1} = t - \frac{L-x}{v}$

dan persamaan di C menjadi:

$$\begin{aligned} y_{c1} &= A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{L-x}{v} \right) \\ &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L-x}{v \cdot T} \right) \\ &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L-x}{\lambda} \right) \text{ sebab } v \cdot T = \lambda \end{aligned}$$

Gelombang pantul: Rambatan gelombang telah menempuh jarak L + x, sehingga beda waktunya menjadi  $\frac{L+x}{v}$  detik, maka  $t_{c2} = \left( t - \frac{L+x}{v} \right)$  detik.

Maka persamaan simpangan di C menjadi:

$$\begin{aligned} y_{c2} &= A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{L+x}{v} \right) \\ &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L+x}{v \cdot T} \right) \\ &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L+x}{\lambda} \right) \end{aligned}$$

Hasil superposisi kedua gelombang adalah:  $y_c = y_{c1} + y_{c2}$  jadi:

$$y_c = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{L-x}{v} \right) + A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{L+x}{v} \right)$$

$$\begin{aligned}
&= A \left\{ \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{L-x}{v} \right) + \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{L+x}{v} \right) \right\} \\
&= A \cdot 2 \sin 2\pi \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{2t}{T} - \frac{2L}{\lambda} \right) \cos 2\pi \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{2x}{\lambda} \right) \\
&= 2A \cos 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right) \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda} \right)
\end{aligned}$$

Persamaan di atas dapat dianggap sebagai persamaan getaran selaras dengan amplitudo  $2A \cos 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right)$  dan tergantung dari tempat titik yang diamati. Dari ungkapan  $2A \cos 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right)$  sebagai amplitudo tidak tergantung dari pada waktu. Oleh karena pada simpul nilai amplitudo adalah nol dan lagi tidak merupakan fungsi dari pada waktu (t), maka:

$$\begin{aligned}
2A \cos 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right) &= 0 \text{ sehingga: } 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right) = (2n+1) \frac{1}{2} \lambda \\
2x &= (2n+1) \frac{1}{2} \lambda \\
x &= (2n+1) \frac{1}{4} \lambda
\end{aligned}$$

Dengan ungkapan ini terbuktilah, bahwa jarak simpul ke titik pantul bebas adalah:  $(2n+1) \frac{1}{4} \lambda$

Jarak antara dua simpul berturutan adalah:

$$(2(n+1)+1) \frac{1}{4} \lambda - (2n+1) \frac{1}{4} \lambda = (2n+3) \frac{1}{4} \lambda - (2n+1) \frac{1}{4} \lambda = 2 \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda$$

Tempat-tempat yang menyatakan perut mempunyai harga amplitudo yang maksimal, jadi:

$$\begin{aligned}
2A \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} &= \text{maksimal} \\
\cos 2\pi \frac{x}{\lambda} &= / \pm 1 / \\
2\pi \frac{x}{\lambda} &= n\lambda \\
2x &= n\lambda \\
x &= \frac{1}{2} n\lambda \\
x &= 2n \left( \frac{1}{2} \lambda \right)
\end{aligned}$$

Jadi terbukti pula, bahwa jarak perut ke titik pantul bebas adalah bilangan genap kali  $\frac{1}{2}$  panjang gelombang atau  $2n \times \frac{1}{4} \lambda$ .

**b. UJUNG TERIKAT (UJUNG TETAP)**

Dititik pantul yang tetap gelombang datang dan gelombang pantul berselisih phase  $\frac{1}{2}$ , atau gelombang pantul berlawanan dengan phase gelombang

bang datang ( $\Delta\theta = \frac{1}{2}$ ). datang Jadi A digetarkan transversal maka  $y_A = A \sin 2\pi \frac{t}{T}$

Jika titik C yang kita amati, maka bagi gelombang yang datang dari kiri (gelombang datang) waktu menggetarnya C, yaitu  $t_c$  terhadap waktu menggetarnya A, yaitu  $t_A = t$  detik berbeda  $\frac{L-x}{v}$  detik, sehingga  $t_c = t - \frac{L-x}{v}$ .

$$\text{Jadi: } y_{c1} = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{L-x}{v} \right)$$

$$\begin{aligned} y_{c1} &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L-x}{v \cdot T} \right) \\ &= A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L-x}{\lambda} \right) \end{aligned}$$

Bagi gelombang pantul yang datang dari kanan waktu getar C berselisih  $\frac{L+x}{v}$  detik dan fasenya berselisih  $\frac{1}{2}$ , atau  $\pi$ ,

sehingga:

$$\begin{aligned} y_{c2} &= A \sin 2\pi \left( t - \frac{L+x}{\lambda} + \pi \right) \\ &= -A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L+x}{\lambda} \right) \end{aligned}$$

Maka hasil superposisi gelombang datang dan gelombang pantul oleh ujung terikat adalah:

$$y_c = y_{c1} + y_{c2}$$

Jadi:

$$\begin{aligned} y_c &= A \sin 2\pi \left( t - \frac{L-x}{\lambda} \right) - A \sin 2\pi \left( t - \frac{L+x}{\lambda} \right) \\ &= y_c = A \left\{ \sin 2\pi \left( t - \frac{L-x}{\lambda} \right) - \sin 2\pi \left( t - \frac{L+x}{\lambda} \right) \right\} \\ &= A \cdot 2 \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda} \right) \cdot \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \\ &= 2A \sin 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right) \cdot \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{L}{\lambda} \right) \end{aligned}$$

Ungkapan ini dapat diartikan sebagai persamaan getaran selaras dengan amplitudo  $= 2A \sin 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right)$ , yang ternyata tak tergantung pada  $t$ , oleh karena itu simpul mempunyai amplitudo 0 (nol) dan tidak tergantung dari pada waktu ( $t$ ), maka untuk:

$$2A \sin 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right) = 0$$

$$2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right) = n\lambda$$

$$2x = n\lambda$$

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{1}{2}n \cdot \lambda \\
 &= 2 \cdot n \cdot \frac{1}{4} \cdot \lambda
 \end{aligned}$$

Jadi terbukti pula, bahwa jarak simpul ke titik pantul tetap adalah bilangan genap kali  $\frac{1}{4}$  panjang gelombang atau  $2 \cdot n \cdot \frac{1}{4} \cdot \lambda$  jarak antara dua simpul berturutan adalah:  $2(n+1) \cdot \frac{1}{4} \lambda - 2n \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda$

Tempat perut menunjukkan simpangan yang maksimal, jadi:

$$2A \sin 2\pi \left( \frac{x}{\lambda} \right) = \text{maksimal}$$

$$\sin 2\pi \frac{x}{\lambda} = / \pm 1 /$$

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = (2n+1) \cdot \frac{1}{2} \lambda$$

$$2x = (2n+1) \cdot \frac{1}{2} \lambda$$

$$x = (2n+1) \cdot \frac{1}{4} \lambda$$

Disini terlihat pula, bahwa jarak perut ke titik pantul tetap adalah bilangan ganjil kali  $\frac{1}{2}$  panjang gelombang dan harga maksimum simpangan (amplitudo) gelombang stasioner adalah dua kali amplitudo gelombang yang menimbulkan interferensi.

Jarak antara simpul dengan perut yang terdekat adalah:

$$(2n+1) \frac{1}{4} \lambda - (2n) \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{4} \lambda$$

Sedangkan jarak antara dua perut yang berturutan adalah:

$$(2(n+1)+1) \cdot \frac{1}{4} \lambda - (2n+1) \cdot \frac{1}{4} \lambda = \frac{1}{2} \lambda$$

Jika massa persatuan panjang kawat ini dimisalkan atau dilambangkan dengan, maka kesimpulan (1) sampai dengan (3) di atas dapat dirumuskan menjadi:

$$v = k \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Dimana:  $v$  = cepat rambat gelombang dalam kawat (tali, dawai)

$F$  = gaya tegangan kawat

$\mu$  = massa persatuan panjang kawat

$k$  = faktor pembanding, yang dalam SI harga  $k = 1$ .

Satuan: dalam SI:  $v = \frac{m}{s}$   $F = \text{newton}$   $\mu = \frac{kg}{m}$

## B. EFEK DOPPLER

Memang benar jika dikatakan, bahwa frekwensi bunyi sama dengan frekwensi sumber bunyi. Akan tetapi tidaklah selalu demikian antara frekwensi sumber bunyi dengan frekwensi bunyi yang kita dengar. Apabila antara sumber bunyi dan pendengar tidak ada gerakan relatif, maka frekwensi sumber bunyi dan frekwensi bunyi yang didengar oleh seseorang adalah sama. Akan tetapi jika antara sumber bunyi dan si pendengar ada gerak relatif, misalnya sumber bunyi bergerak mendekati si pendengar, atau si pendengar bergerak mendekati sumber bunyi, atau keduanya bergerak saling mendekati atau menjauhi, ternyata antara frekwensi sumber bunyi dan frekwensi bunyi yang didengar tidaklah sama. Suatu contoh misalnya ketika anda naik bis dan berpapasan dengan bis lain yang sedang membunyikan klakson, maka akan terdengar suara yang lebih tinggi, berarti frekwensinya lebih besar dan sebaliknya ketika bis menjauhi anda, bunyi klakson terdengar lebih rendah, karena frekwensi bunyi yang didengar berkurang. Peristiwa ini dinamakan *Effek Doppler*.

Jadi Efek Doppler adalah peristiwa berubahnya harga frekwensi bunyi yang diterima oleh pendengar (P) dari frekwensi suatu sumber bunyi (S) apabila terjadi gerakan relatif antara P dan S.

Oleh Doppler dirumuskan sebagai:

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \cdot f_s$$

Dimana:  $f_p$  adalah frekwensi yang didengar oleh pendengar.

$f_s$  adalah frekwensi yang dipancarkan oleh sumber bunyi.

$v_p$  adalah kecepatan pendengar.

$v_s$  adalah kecepatan sumber bunyi.

$v$  adalah kecepatan bunyi di udara.

Tanda + untuk  $v_p$  dipakai bila pendengar bergerak mendekati sumber bunyi.

Tanda - untuk  $v_p$  dipakai bila pendengar bergerak menjauhi sumber bunyi.

Tanda + untuk  $v_s$  dipakai bila sumber bunyi bergerak menjauhi pendengar.

Tanda - untuk  $v_s$  dipakai bila sumber bunyi bergerak mendekati pendengar.

- Jika terdapat angin dengan kecepatan  $v_a$  dan menuju pendengar maka  $v$  menjadi  $(v+v_a)$
- Jika angin menjauhi pendengar maka  $v$  menjadi  $(v-v_a)$

## C. SUMBER-SUMBER BUNYI

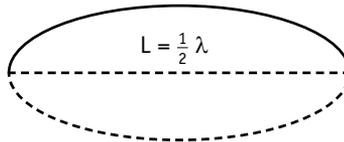
### 1. GETARAN BUNYI

Sehelai dawai ditegangkan dengan beban variabel. Jika dawai dipetik di tengah-tengahnya, maka seluruh dawai akan bergetar membentuk setengah panjang gelombang.

Gelombang yang terjadi adalah gelombang stasioner, pada bagian ujung terjadi simpul dan di bagian tengah terjadi perut. jadi panjang kawat  $L = \frac{1}{2} \lambda_0$  atau  $\lambda_0 = 2L$ . Nada yang ditimbulkan adalah **nada dasar**, Jika frekwensinya dilambangkan dengan  $f_0$  maka:

$$f_0 \cdot \lambda_0 = f_0 \cdot 2L = v \quad f_0 = \frac{v}{2L}$$

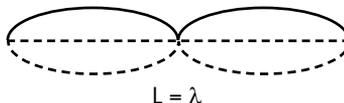
Jika tepat ditengah dawai dijepit, kemudian senar digetarkan maka getaran yang terjadi dalam senar digambar sebagai berikut:



Senar digetarkan pada jarak  $\frac{1}{4} L$  dari salah satu ujung senar. Gelombang yang terjadi menunjukkan bahwa pada seluruh panjang tali terjadi 1 gelombang. Jadi  $L = \lambda_1$  dan nada yang ditimbulkannya merupakan **nada atas pertama**, dengan frekwensi  $f_1$ .

$$\text{Maka } f_1 \cdot \lambda_1 = f_1 \cdot L = v \quad f_1 = \frac{v}{L} = \frac{2v}{2L}$$

Dawai juga dapat digetarkan sedemikian sehingga antara kedua ujungnya terdapat dua buah simpul, yaitu dengan cara pada jarak  $\frac{1}{3}$  panjang dawai dari salah satu ujungnya dijepit dengan penumpu dan dawai digetarkan pada jarak  $\frac{1}{6} L$ , maka pola gelombang yang terjadi dapat digambar sebagai berikut:



Seluruh panjang dawai akan menggetar dengan membentuk  $1\frac{1}{2}$  gelombang. Jadi  $L = 1\frac{1}{2} \lambda_2$  Nada yang ditimbulkan adalah **nada atas kedua** dengan frekwensi  $f_2$ .

$$\text{Jadi: } L = \frac{3}{2} \lambda_2 \text{ atau } \lambda_2 = \frac{2}{3} L$$

$$f_2 \cdot \lambda_2 = f_2 \cdot \frac{2}{3} L = v$$

$$f_2 = \frac{3v}{2L}$$

dari data di atas dapat disimpulkan:

$$f_0 : f_1 : f_2 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$$

Yang disebut nada selaras (nada harmonis) atau juga dinamakan nada flageolet.

Rumus umum dari pada frekwensi nada-nada tersebut di atas adalah:

$$f_n = \left( \frac{n+1}{2L} \right) v$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n+1}$$

karena  $v$  adalah kecepatan rambat gelombang transversal, maka

$$f_n = \left( \frac{n+1}{2L} \right) \sqrt{\frac{F}{\rho \cdot A}}$$

dari persamaan di atas dapat disimpulkan dalam hukum Mersenne berikut ini:

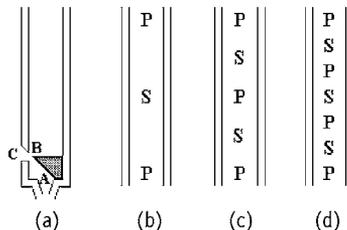
1. Frekwensi nada dasar dawai berbanding terbalik dengan panjang dawai.
2. Frekwensi nada dasar dawai berbanding lurus ( berbanding senilai ) dengan akar kuadrat tegangan tali.
3. Frekwensi nada dasar dawai berbanding terbalik dengan akar kudrat penampang dawai.
4. Frekwensi nada dasar dawai berbanding terbalik dengan akar kuadrat masa jenis bahan dawai.

Pada nada atas ke- $n$  terdapat  $( n + 2 )$  simpul dan  $( n + 1 )$  perut.

## 2. GETARAN KOLOM UDARA

### a. PIPA ORGANA TERBUKA.

Kolom udara dapat beresonansi, artinya dapat bergetar. Kenyataan ini digunakan pada alat musik yang dinamakan **Organa**, baik organa dengan pipa tertutup maupun pipa terbuka. Dibawah ini adalah gambar penampang pipa organa terbuka.



Jika Udara dihembuskan kuat-kuat melalui lobang A dan diarahkan ke celah C, sehingga menyebabkan bibir B bergetar, maka udarapun bergetar. Gelombang getaran udara merambat ke atas dan oleh lubang sebelah atas gelombang bunyi dipantulkan ke bawah dan bertemu dengan gelombang bunyi yang datang dari bawah berikutnya, sehingga terjadilah interferensi. Maka dalam kolom udara dalam pipa organa timbul pola gelombang longitudinal stasioner. Karena bagian atas pipa terbuka, demikian pula celah C, maka tekanan udara di empat tersebut tentulah sama dan sama dengan tekanan udara luar, jadi tekanan di tempat tersebut timbulah **perut**.

Pada gambar (b) di atas terlihat 1 simpul diantara 2 perut. Ini berarti pipa organa bergetar dengan nada terendah yang disebut nada dasar

organa. Frekwensi nada dasar dilambangkan  $f_0$ , jadi  $L = \frac{1}{2} \lambda_0$  atau  $\lambda_0 = 2L$ , sehingga  $f_0 = \frac{v}{2L}$ .

Pada gambar (c) memperlihatkan dua simpul dan satu perut diantara kedua perut, dikatakan udara dalam pipa organa bergetar dengan nada atas pertama dan dilambangkan dengan  $f_1$ . Pada pola tersebut sepanjang kolom udara dalam pipa terjadi 1 gelombang.

Jadi:  $\lambda_1 = L$

$$f_1 \cdot \lambda_1 = f_1 \cdot L = v$$

$$f_1 = \frac{v}{L} = \frac{2v}{2L}$$

Pada gambar (d) memperlihatkan 3 simpul dan dua perut di antara kedua perut, dan bunyi yang ditimbulkan merupakan nada atas kedua dilambangkan  $f_2$ . Pada pola tersebut dalam pipa organa terbuka tersebut terjadi  $1\frac{1}{2}$  gelombang,

jadi:  $L = \frac{3}{2} \lambda_2$  atau  $\lambda_2 = \frac{2}{3} L$

$$f_2 \cdot \lambda_2 = f_2 \cdot \frac{2}{3} L = v$$

$$f_2 = \frac{3v}{2L}$$

Secara berturut-turut peristiwa di atas dapat kita amati sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{v}{2L} \quad (2 \text{ perut dan } 1 \text{ simpul})$$

$$f_1 = \frac{2v}{2L} \quad (3 \text{ perut dan } 2 \text{ simpul})$$

$$f_2 = \frac{3v}{2L} \quad (4 \text{ perut dan } 2 \text{ simpul})$$

$$f_3 = \frac{4v}{2L} \quad (5 \text{ perut dan } 4 \text{ simpul})$$

Pada nada atas ke-n terdapat: ( n+2 ) perut dan ( n+1 ) simpul sehingga secara umum dapat dirumuskan sebagai:

$$f_n = \left( \frac{n+1}{2L} \right) v$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n+1}$$

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa:

$$f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : 4 : \dots$$

Ungkapan tersebut dinamakan **Hukum Bernoulli ke I**, yaitu: **Frekwensi nada-nada yang dihasilkan oleh pipa organa terbuka berbanding sebagai bilangan asli.**

b. PIPA ORGANA TERTUTUP

Apabila pada ujung atas pipa organa tertutup, maka dinamakan **pipa organa tertutup**, sehingga gelombang longitudinal stasioner yang terjadi pada bagian ujung tertutup merupakan simpul dan pada bagian ujung terbuka terjadi perut.

Pada (a) memberikan nada dasar dengan frekwensi  $f_0$ . Pada panjang kolom udara  $L$  terjadi  $\frac{1}{4}$  gelombang, karena hanya terdapat 1 simpul dan 1 perut.

$$\text{Jadi: } L = \frac{1}{2} \lambda_0; \lambda_0 = 4L$$

$$f_0 \cdot \lambda_0 = f_0 \cdot 4L = v$$

$$f_0 = \frac{v}{4L}$$

Pada pola ( b ) memberikan nada atas pertama dengan Frekwensi  $f_1$ . Sepanjang kolom udara pipa organa tertutup terjadi 2 simpul dan 2 perut, sehingga panjang pipa =  $\frac{3}{4}$  panjang gelombang.

$$\text{Jadi: } L = \frac{3}{4} \lambda_1 \text{ atau } \lambda_1 = \frac{4}{3} L$$

$$f_1 \cdot \lambda_1 = f_1 \cdot \frac{4}{3} L = v$$

$$f_1 = \frac{3v}{4L}$$

Pada pola (c) memberikan nada atas kedua dengan dengan frekwensi  $f_2$  pada panjang kolom udara pipa organa tertutup terjadi 3 simpul dan 3 perut, sehingga panjang pipa =  $\frac{5}{4}$  panjang gelombang.

$$\text{Jadi: } L = \frac{5}{4} \lambda_2 \text{ atau } \lambda_2 = \frac{4}{5} L$$

$$f_2 \cdot \lambda_2 = f_2 \cdot \frac{4}{5} L = v$$

$$f_2 = \frac{5v}{4L}$$

Dari keterangan di atas dapat disimpulkan:

Pada nada atas ke- $n$  terdapat (  $n+1$  ) simpul dan (  $n+1$  ) perut.

$$f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : \dots$$

Ungkapan ini dinamakan **Hukum Bernoulli ke II: Frekwensi nada pipa organa tertutup berbanding sebagai bilangan-bilangan ganjil.**

Secara umum dirumuskan:

$$f_n = \left( \frac{2n+1}{4L} \right) v$$

Sehingga untuk panjang gelombangnya:

$$\lambda_n = \frac{4L}{2n+1}$$

## D. SETIAP GELOMBANG MERAMBATKAN ENERGI

Rambatan bunyi adalah rambatan gelombang, sedangkan rambatan gelombang adalah salah satu bentuk rambatan energi. Makin besar energi bunyi yang diterima makin nyaring suara yang kita dengar.

### 1. INTENSITAS BUNYI

Yang dimaksud dengan intensitas bunyi ialah: Besar energi bunyi tiap satuan waktu tiap satuan luas yang datang tegak lurus.

Dapat dirumuskan sebagai:

$$I = \frac{P}{A}$$

Dimana:

$I$  = Intensitas bunyi dalam watt/m<sup>2</sup> atau watt/cm<sup>2</sup>

$A$  = Luas bidang bola dalam m<sup>2</sup> atau cm<sup>2</sup>

$P$  = Daya bunyi dalam J/det atau watt.

Bila  $S$  merupakan sumber bunyi yang berdaya  $P$  watt dan energi bunyi merambat ke segala arah sama rata, Intensitas bunyi di titik yang jaraknya  $R$  dari  $S$  adalah:

$$I = \frac{P}{4\pi R^2}$$

$$I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1^2} : \frac{1}{R_2^2}$$

Kesimpulan: Intensitas bunyi berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya.

### 2. TARAF INTENSITAS BUNYI (TI)

Intensitas bunyi terkecil yang masi merangsang pendengaran disebut harga ambang pendengaran, besarnya 10<sup>-12</sup> watt/m<sup>2</sup>.

Intensitas bunyi terbesar yang masih dapat didengar tanpa menimbulkan rasa sakit pada telinga sebesar 1 watt/m<sup>2</sup>.

Logaritma perbandingan intensitas bunyi dengan harga ambang pendengaran disebut **Taraf Intensitas Bunyi**.

$$TI = \log \frac{I}{I_0}$$

Dimana:  $TI$  : taraf intensitas bunyi dalam: Bel.

$I$  : adalah intensitas bunyi.

$I_0$  : adalah harga ambang pendengaran.

Bila satuan  $TI$  dalam Decibel ( dB ) hubungan di atas menjadi:

$$TI = \log \frac{I}{I_0} \qquad 1 \text{ Bel} = 10 \text{ dB.}$$

## Contoh Soal dan Pembahasan

1. Seorang penonton pada lomba balap mobil mendengar bunyi (deru mobil) yang berbeda, ketika mobil mendekat dan menjauh. Rata-rata mobil balap mengeluarkan bunyi 800 Hz. Jika kecepatan bunyi di udara  $340 \text{ m.s}^{-1}$  dan kecepatan mobil  $20 \text{ m.s}^{-1}$ , maka frekuensi yang di dengar saat mobil mendekat adalah....
- A. 805 Hz                      D. 850 Hz  
B. 810 Hz                      E. 875 Hz  
C. 815 Hz

Jawab: D

### Pembahasan

Penerapan efek Doppler, pendengar dalam posisi diam berarti  $V_p = 0$ , sumber mendekati pendengar berarti tanda untuk  $V_s$  adalah negatif.

$$\begin{aligned} f_p &= \left( \frac{V \pm V_p}{V \pm V_s} \right) \times f_s \\ &= \left( \frac{V}{V - V_s} \right) \times f_s \\ &= \left( \frac{340}{340 - 20} \right) \times 800 = 850 \text{ Hz} \end{aligned}$$

2. Dawai piano yang panjangnya 0,5 m dan massanya  $10^{-2} \text{ kg}$  ditegangkan 200 N, maka nada dasar piano adalah berfrekuensi....
- A. 100 Hz                      D. 600 Hz  
B. 200 Hz                      E. 800 Hz  
C. 400 Hz

Jawab: A

### Pembahasan

Kecepatan gelombang pada dawai adalah:

$$V = \sqrt{\frac{Fl}{m}} = \sqrt{\frac{200 \times 0,5}{10^{-2}}} = 100 \text{ m/s}$$

Nada dasar pada dawai terjadi saat:

$$l = \frac{1}{2} \lambda$$

$$\lambda = 2l = 2 \times 0,5 = 1 \text{ m}$$

Frekuensi dawai:

$$f = \frac{V}{\lambda} = \frac{100}{1} = 100 \text{ Hz}$$

3. Suatu sumber bunyi 1 kHz bergerak langsung ke arah seorang pendengar yang rehat dengan kelajuan 0,9 kali kelajuan bunyi. Frekuensi yang diterimanya dalam kHz adalah....
- A. 10,0                      D. 0,5  
B. 1,9                      E. 0,1  
C. 1,1

Jawab: A

### Pembahasan

$$\begin{aligned} f_p &= \left( \frac{V}{V - V_s} \right) \times f_s \\ &= \left( \frac{V}{V - 0,9V} \right) \times 1 \text{ kHz} \\ &= \frac{1}{0,1} \times 1 \text{ kHz} = 10,0 \text{ kHz} \end{aligned}$$

4. Sebuah gelombang tsunami terbentuk di laut dalam dengan panjang gelombang 1 km menjalar menuju suatu pantai. Ketika gelombang tersebut hampir mencapai pantai petugas BMG mencatat kecepatan gelombangnya sebesar 72 km/jam dan panjang gelombangnya adalah 80 m. kecepatan gelombang tersebut pada saat tersebut adalah ....

- A. 50%                      D. 200%  
 B. 100%                     E. 250%  
 C. 150%

Jawaban: E

Pembahasan:

$$\frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}$$

$$\frac{v_1}{1000} = \frac{20}{80}$$

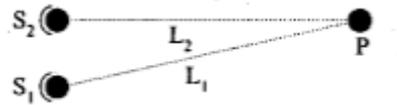
$$v_1 = 250 \text{ m/s}$$

## LATIHAN SOAL BAB 19

**Pilihlah Salah Satu Jawaban Yang Tepat**

1. Frekwensi gelombang yang dihasilkan sebuah sirine naik dari frekwensi rendah 100 Hz ke frekwensi tinggi 10.000 Hz pada amplitudo gelombang yang tetap konstan. Kenaikan intensitas suara sirine dari frekuensi rendah ke frekuensi tinggi tersebut menjadi ....  
 A. 1 kalinya                      D. 100 kalinya  
 B. 10 kalinya                    E. 200 kalinya  
 C. 20 kalinya
2. Sebuah garpu tala berfrekuensi 660 Hz digetarkan dekat sebuah tabung berisi air. Jika laju rambat bunyi di udara 330 m/s, maka akan terjadi resonansi bila jarak minimum permukaan air dengan ujung tabung adalah ....  
 A. 0,125 m                      D. 0,625 m  
 B. 0,250 m                      E. 0,750 m  
 C. 0,500 m
3. Gambar berikut menunjukkan dua sumber bunyi  $S_1$  dan  $S_2$  yang identik. Kedua sumber itu bergetar mengeluarkan gelombang yang sefase satu dengan yang lain. Dengan merubah

$L_1$ , bunyi terlemah pertama didengar ketika  $L_1 - L_2$  adalah 20 cm. Bila laju rambat bunyi adalah 340 m/s, maka besar frekuensi sumber bunyi adalah ....



- A. 560 Hz                      D. 3400 Hz  
 B. 850 Hz                      E. 6800 Hz  
 C. 1700 Hz
4. Sebuah garpu tala berfrekuensi 660 Hz digetarkan dekat sebuah tabung berisi air. Jika laju rambat bunyi di udara 330 m/s, maka akan terjadi resonansi bila jarak minimum permukaan air dengan ujung tabung adalah ....  
 A. 0,125 m                      D. 0,625 m  
 B. 0,250 m                      E. 0,750 m  
 C. 0,500 m
  5. Getaran-getaran mekanis yang dihasilkan lebah sewaktu menari akan dirambatkan ke ruang sekelilingnya. Getaran tersebut ....  
 A. akan dipancarkan langsung ke ruang sarang lebah sebagai gelombang elektromagnet

- b. akan dipancarkan sebagai gelombang bunyi langsung ke luar sarang
- c. akan dipancarkan sebagai gelombang bunyi setelah beresonansi dengan rongga sarang lebah
- d. tetap terjebak dalam sarang lebah sebagai latar belakang musik tariannya seperti apa yang terjadi di ruang konser
- e. akan memancarkan gelombang longitudinal dan transversal karena arah getarannya maju-mundur dan kiri-kanan
6. Taraf intensitas suatu ledakan petasan dari jarak 100 m adalah 40dB. Berapakah daya ledakan dari petasan tersebut ....  $W/m^2$
- A.  $2 \times 10^{-4}$                       D.  $5 \times 10^{-4}$   
 B.  $3 \times 10^{-4}$                       E.  $6 \times 10^{-4}$   
 C.  $4 \times 10^{-4}$
7. Serangkaian kereta api bergerak dengan laju 72 km/jam menuju stasiun sambil membunyikan peluitnya. Buynu peluit kereta api tersebut terdengar oleh kepala stasiun dengan frekuensi 720Hz. Laju suara diudara 340 m/s. Berapakah frekuensi peluit kereta api tersebut?
- A. 124,2 Hz                      D. 55,1 Hz  
 B. 25,6 Hz                      E. 677,6 Hz  
 C. 35,6 Hz
8. Cepat rambat bunyi dalam sebuah pipa organa 340 m/s. Diket: frekuensi nada dasar pipa organa 240Hz . Tentukan panjang pipa organa tertutup?
- A. 0,25 m                      D. 0,55 m  
 B. 0,35 m                      E. 0,60 m  
 C. 0,40 m
9. Seutas kawat baja yang massanya 5 g dan panjang 1 m diberi tegangan 968 N. Tentukan cepat rambat gelombang tranvesal sepanjang kawat?
- A.  $1,923 \times 10^{-5}$  m/s  
 B.  $1,936 \times 10^{-5}$  m/s  
 C.  $2,923 \times 10^{-5}$  m/s  
 D.  $2,936 \times 10^{-5}$  m/s  
 E.  $1 \times 10^{-5}$  m/s
10. Cepat rambat bunyi dalam sebuah pipa organa 340 m/s. Diket: frekuensi nada dasar pipa organa 240Hz. Tentukan panjang pipa organa terbuka?
- A. 0,2 m                      D. 0,61 m  
 B. 0,33 m                      E. 0,71 m  
 C. 0,5 m
11. Seutas senar yang panjangnya 3 m terikat pada kedua ujungnya. Frekuensi resonansi nada atas pertama senar ini adalah 60 geteran/s. apabila massa persatuan panjang senar 0,01 g/cm. Berapakah besar gaya tegangan kawat?
- a. 23,4 N                      d. 42,4 N  
 b. 24,4 N                      e. 50 N  
 c. 32,4 N
12. Dibawah ini yang bukan sifat-sifat dari gelombang bunyi adalah ....
- A. refleksi                      D. interferensi  
 B. relaksasi                      E. difraksi  
 C. refraksi

13. Dini berada dalam kereta api A yang berhenti sebuah kereta api lain (B) bergerak mendekati A dengan kecepatan  $2 \text{ ms}^{-1}$  sambil membunyikan peluit dengan frekuensi 676 Hz. Bila cepat rambat bunyi di udara  $340 \text{ ms}^{-1}$  maka frekuensi peluit kereta B yang didengar oleh Dini adalah...
- A. 680 Hz            D. 656 Hz  
B. 676 Hz            E. 640 Hz  
C. 660 Hz
14. Pada klasifikasi gelombang bunyi. Manusia tergolong dalam ....
- A. Infrasonik        D. Panasonik  
B. Audiosonik       E. Elektrosonik  
C. ultasonik
15. Seorang penonton pada lomba balap mobil mendengar bunyi (deru mobil) yang berbeda, ketika mobil mendekat dan menjauh. rata-rata mobil balap mengeluarkan bunyi 800 Hz. Jika kecepatan gelombang bunyi di udara  $340 \text{ m/s}$  dan kecepatan mobil  $20 \text{ m/s}$  maka frekuensi mobil yang didengar saat mobil mendekat adalah...Hz
- A. 805                D. 850  
B. 810                E. 875  
C. 815
16. intensitas bunyi mesin jahit yang sedang bekerja  $10^{-9} \text{ watt/m}^2$ . Untuk intensitas ambang  $10^{-12} \text{ watt/m}^2$ , maka taraf intensitas 10 mesin jahit identik yang sedang bekerja adalah....dB
- a. 400                D. 30  
B. 300                E. 20  
C. 40
17. Panjang sebuah pipa organa 60 cm. Apabila pipa itu di tiup menghasilkan frekuensi nada atas pertama. Diketahui cepat rambat bunyi di udara  $330 \text{ m/s}$  maka frekuensi nada tersebut....Hz
- A. 137,5              D. 375  
B. 200                E. 412,5  
C. 275
18. Jarak antara rapatan dan renggangan suatu gelombang longitudinal yang mempunyai periode sekon adalah 1,6m. cepat rambat gelombang itu sebesar . . . m/s.
- A. 0.064              D. 80  
B. 16                 E. 160  
C. 64
19. Suatu benda bergetar harmonik 1.800 kali dalam 5 menit. Frekuensinya sebesar . . . Hz.
- A. 3                    D. 250  
B. 6                    E. 360  
C. 30
20. Suatu sumber bunyi memiliki frekuensi 1.920 Hz bergerak mendekati seorang pengamat dengan kecepatan  $20 \text{ m/s}$ . pengamat bergerak menjauhi sumber bunyi di udara  $340 \text{ m/s}$ , frekuensi bunyi yang didengar pengamat....Hz
- A. 1.733              D. 1.980  
B. 1.893              E. 2.130  
C. 1.950
21. Dua buah tali terbuat dari kawat senga massa dan panjang yang sama. Dawai idiberi tegangan yang sama. Apabila kedua dawai digetar-

kan mempunyai ifrekuensi 40 Hz. Kemudian, salah satu dawai tegangannya di tambah 44%. Jika sekarang kedua dawai di getarkan, akan timbul pelayangan sebesar....Hz

- A. 12
- B. 10
- C. 8
- D. 6
- E. 4

22. Sebuah pipa panjangnya 68 cm. Tiga frekuensi amonik jika pipa terbuka padake dua ujungnya adalah....( $v = 340\text{m/s}$ )

- A. 250 Hz, 300 Hz, 500Hz
- B. 250 Hz, 500 Hz, 750Hz
- C. 300 Hz, 350 Hz, 400Hz
- D. 500 Hz, 750 Hz, 1.000Hz
- E. 600 Hz, 800 Hz, 1.000Hz



Dalam unit ini akan disajikan pembelajaran tentang menerapkan konsep dan prinsip mekanika klasik system kontinu dalam menyelesaikan masalah, menganalisis hukum-hukum yang berhubungan dengan fluida statik dan dinamik serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari, memformulasikan hukum dasar fluida dan menerapkan hukum dasar fluida dinamik pada masalah fisika sehari-hari.

## A. Aliran Fluida

Di dalam gerakanya pada dasarnya dibedakan dalam 2 macam, yaitu:

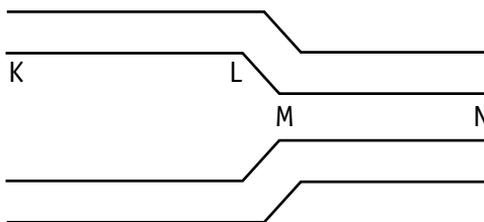
1. Aliran laminar/stasioner/streamline.
2. Aliran turbulen

Suatu aliran dikatakan laminar/stasioner/streamline bila:

- Setiap partikel yang melalui titik tertentu selalu mempunyai lintasan (garis arus) yang tertentu pula.
- Partikel-partikel yang pada suatu saat tiba di K akan mengikuti lintasan yang terlukis pada gambar di bawah ini. Demikian partikel-partikel yang suatu saat tiba di L dan M.

Kecepatan setiap partikel yang melalui titik tertentu selalu sama. Misalkan setiap partikel yang melalui K selalu mempunyai kecepatan  $v_K$ .

Aliran yang tidak memenuhi sifat-sifat di atas disebut aliran turbulen



Pembahasan dalam bab ini di batasi pada fluida ideal, yaitu fluida yang imkompresibel dan bergerak tanpa mengalami gesekan dan pada aliran stasioner.

## 1. DEBIT

Fluida mengalir dengan kecepatan tertentu, misalnya  $v$  meter per detik. Penampang tabung alir seperti terlihat pada gambar di atas berpenampang  $A$ , maka yang dimaksud dengan DEBIT FLUIDA adalah volume fluida yang mengalir persatuan waktu melalui suatu pipa dengan luas penampang  $A$  dan dengan kecepatan  $v$

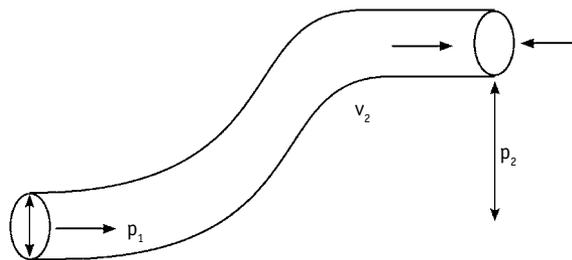
$$Q = \frac{\text{Vol}}{\Delta t} \quad \text{atau} \quad Q = A \cdot v$$

Dimana:  $Q$  = debit fluida dalam satuan SI  $\text{m}^3/\text{det}$   
 $\text{Vol}$  = volume fluida  $\text{m}^3$   
 $A$  = luas penampang tabung alir  $\text{m}^2$   
 $v$  = kecepatan alir fluida  $\text{m}/\text{det}$

## 2. PERSAMAAN KONTINUITAS

Perhatikan tabung alir a-c di bawah ini.  $A_1$  adalah penampang lintang tabung alir di a.

$A_2$  = penampang lintang di c.  $v_1$  = kecepatan alir fluida di a,  $v_2$  = kecepatan alir fluida di c.



Bidang acuan untuk Energi Potensial

Partikel-partikel yang semula di a, dalam waktu  $\Delta t$  detik berpindah di b, demikian pula partikel yang semula di c berpindah di d. Apabila  $\Delta t$  sangat kecil, maka jarak a-b sangat kecil, sehingga luas penampang di a dan b boleh dianggap sama, yaitu  $A_1$ . Demikian pula jarak c-d sangat kecil, sehingga luas penampang di c dan di d dapat dianggap sama, yaitu  $A_2$ . Banyaknya fluida yang masuk ke tabung alir dalam waktu  $\Delta t$  detik adalah:

$\rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t$  dan dalam waktu yang sama sejumlah fluida meninggalkan tabung alir sebanyak  $\rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$ . Jumlah ini tentulah sama dengan jumlah fluida yang masuk ke tabung alir sehingga:

$$\rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$

Jadi:  $A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$

Persamaan ini disebut: Persamaan KONTINUITAS

$A \cdot v$  yang merupakan debit fluida sepanjang tabung alir selalu konstan (tetap sama nilainya), walaupun  $A$  dan  $v$  masing-masing berbeda di tempat yang satu ke tempat yang lain. Maka disimpulkan:

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 = \text{konstan}$$

### Dinamika Fluida

Dinamika fluida ini terbatas pada aliran fluida yang bersifat

1. Tunak (steady) aliran fluida yang berkecepatan tiap partikel fluida pada suatu titik tertentu adalah tetap.
2. Tak rotasional, aliran fluida yang pada tiap titik elemen fluida tidak memiliki momentum sudut terhadap titik tersebut.
3. Tak kompresibel (tak termampatkan), aliran fluida tidak berubah rapat massanya ketika mengalir.
4. Tak kental (non viskos)

## B. HUKUM BERNOULLI

Hukum Bernoulli merupakan persamaan pokok hidrodinamika untuk fluida mengalir dengan arus streamline. Di sini berlaku hubungan antara tekanan, kecepatan alir dan tinggi tempat dalam satu garis lurus. Hubungan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

Perhatikan gambar tabung alir a-c pada gambar. Jika tekanan  $P_1$  tekaopan pada penampang  $A_1$ , dari fluida di sebelah kirinya, maka gaya yang dilakukan terhadap penampang di a adalah  $P_1 \cdot A_1$ , sedangkan penampang di c mendapat gaya dari fluida dikanannya sebesar  $P_2 \cdot A_2$ , di mana  $P_2$  adalah tekanan terhadap penampang di c ke kiri. Dalam waktu  $\Delta t$  detik dapat dianggap bahwa penampang a tergeser sejauh  $v_1 \cdot \Delta t$  dan penampang c tergeser sejauh  $v_2 \cdot \Delta t$  ke kanan. Jadi usaha yang dilakukan terhadap a adalah:  $P_1 \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t$  sedangkan usaha yang dilakukan pada c sebesar:

$$- P_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$

Jadi usaha total yang dilakukan gaya-gaya tersebut besarnya:

$$W_{\text{tot}} = (P_1 \cdot A_1 \cdot v_1 - P_2 \cdot A_2 \cdot v_2) \Delta t$$

Dalam waktu  $\Delta t$  detik fluida dalam tabung alir a-b bergeser ke c-d dan mendapat tambahan energi sebesar:

$$E_{\text{mek}} = \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$E_{\text{mek}} = \left( \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 \right) + (mgh_2 - mgh_1)$$

$$= \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) + mg (h_2 - h_1)$$

Keterangan:  $m$  = massa fluida dalam a-b = massa fluida dalam c-d.

$h_2 - h_1$  = beda tinggi fluida c-d dan a-b

Karena  $m$  menunjukkan massa fluida di a-b dan c-d yang sama besarnya, maka  $m$  dapat dinyatakan:

$$m = \rho \cdot A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = \rho \cdot A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t$$

Menurut Hukum kekekalan Energi haruslah:

$$W_{\text{tot}} = E_{\text{mek}}$$

Dari persamaan-persamaan di atas dapat dirumuskan persamaan:

$$P_1 \frac{m}{\rho} + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 + mgh_1 = P_2 \frac{m}{\rho} + \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 + mgh_2$$

Suku-suku persamaan ini memperlihatkan dimensi USAHA.

Dengan membagi kedua ruas dengan  $\frac{m}{\rho}$  maka di dapat persamaan:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho \cdot v_2^2 + \rho g h_2$$

Suku-suku persamaan di atas memperlihatkan dimensi TEKANAN

Keterangan:

$P_1$  dan  $P_2$  = tekanan yang dialami oleh fluida

$v_1$  dan  $v_2$  = kecepatan alir fluida

$h_1$  dan  $h_2$  = tinggi tempat dalam satu garis lurus

$\rho$  = Massa jenis fluida

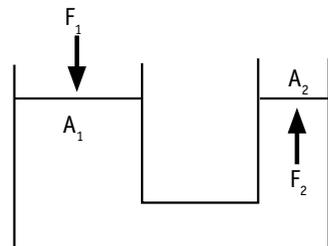
$g$  = percepatan gravitasi

## C. Prinsip Pascal Dan Prinsip Archimedes

### 1. Prinsip Pascal

Tekanan yang diberikan pada suatu fluida tertutup diteruskan tanpa berkurang besarnya pada setiap bagian fluida dan dinding-dinding dimana fluida tersebut berada.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$



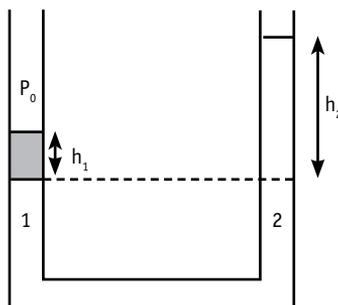
### 2. Bejana Berhubungan

Di rumuskan:

$$P_1 = P_2$$

$$P_o + \rho_1 g h_1 = P_o + \rho_2 g h_2$$

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$$



Prinsip-prinsip hukum Pascal dapat diterapkan pada alat-alat seperti, **Pasta Gigi**. Pasta gigi adalah cairan yang tertutup dalam tabung dengan lubang kecil di salah satu ujung. Ketika bagian ujung satunya dari tabung diperas maka akan menyempotkan pasta gigi keluar dari ujung terbuka yang satunya. Tekanan diberikan pada tabung dan ditransmisikan secara merata ke seluruh pasta gigi. Ketika tekanan mencapai ujung terbuka, kemudian memaksa pasta gigi keluar melalui lubang tersebut.

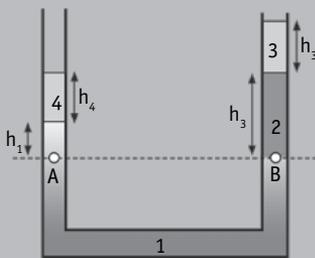
### 3. Prinsip Archimedes

Bila sebuah benda seluruhnya atau sebagian dicelupkan kedalam fluida yang diam akan mendapat gaya apung keatas seberat fluida yang dipindahkan oleh benda tersebut.

$$F = (\rho) \cdot V \cdot g$$

#### Contoh Soal dan Pembahasan

1.



Sebuah pipa U diisi dengan 4 buah zat cair berbeda hingga seperti gambar, tentukan persamaan untuk menentukan besar massa jenis zat cair 1

- A.  $\rho_1 = (\rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 - \rho_4 h_4) : h_1$
- B.  $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 - \rho_4 h_4$
- C.  $\rho_2 h_2 = \rho_2 h_2 + \rho_1 h_1 - \rho_4 h_4$
- D.  $\rho_2 = (\rho_1 h_1 + \rho_4 h_4 - \rho_3 h_3) : h_2$
- E.  $\rho_3 = (\rho_2 h_2 + \rho_1 h_1 - \rho_4 h_4) : h_3$

Jawab: A

#### Pembahasan

$$P_A = P_B$$

$$P_1 + P_4 = P_2 + P_3$$

$$\rho_1 g h_1 + \rho_4 g h_4 = \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3$$

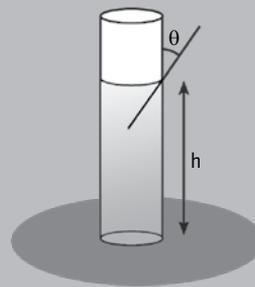
g bisa dicoret sehingga didapatkan

$$\rho_1 h_1 + \rho_4 h_4 = \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3$$

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 - \rho_4 h_4$$

$$\text{Sehingga } \rho_1 = (\rho_2 h_2 + \rho_3 h_3 - \rho_4 h_4) : h_1$$

2. Perhatikan gambar berikut, air berada dalam sebuah pipa kapiler dengan sudut kontak sebes



Jika jari-jari pipa kapiler adalah 0,8 mm, tegangan permukaan air 0,072 N/m dan  $\cos \theta = 0,55$  tentukan tentukan ketinggian air dalam pipa kapiler! ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ )

- A. 9,9 mm            D. 10 mm  
 B. 7 mm              E. 6 mm  
 C. 5,6 mm

**Pembahasan**

Diketahui

$$r = 0,8 \text{ mm} = 0,8 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\cos \theta = 0,55$$

$$\gamma = 0,072 \text{ N/m}$$

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

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$h = \dots$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r} \\ &= \frac{2 \times 0,072 \times 0,55}{1000 \times 10 \times 0,8 \times 10^{-3}} \\ &= \frac{0,0792}{8} = 0,0099 \text{ m} \\ &= 9,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Sebuah pipa dengan diameter 12 cm ujungnya menyempit dengan diameter 8 cm. Jika kecepatan aliran di bagian pipa berdiameter besar adalah 10 cm/s, maka kecepatan aliran di ujung yang kecil adalah....
- A. 22,5 cm/s            D. 0,44 cm/s  
 B. 4,4 cm/s             E. 0,225 cm/s  
 C. 2,25 cm/s

Jawab: C

Pembahasan

Rumus menentukan kecepatan diketahui diameter pipa

Dari persamaan kontinuitas

$$A_2 v_2 = A_1 v_1$$

Pipanya memiliki diameter, jadi asumsinya luas penampangnya berupa lingkaran.

A = Luas lingkaran

$$A = \pi r^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Luasnya diganti luas lingkaran menjadi

$$\frac{1}{4} \pi D_2^2 v_2 = \frac{1}{4} \pi D_1^2 v_1$$

$$D_2^2 v_2 = D_1^2 v_1$$

$$v_2 = \frac{D_1^2}{D_2^2} \times v_1$$

Baris yang terakhir bisa ditulis jadi

$$v_2 = \frac{D_1^2}{D_2^2} \times v_1$$

Jika diketahui jari-jari pipa (r), dengan jalan yang sama D tinggal diganti dengan r menjadi:

$$v_2 = \left( \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \times v_1$$

Kembali ke soal, masukkan datanya:

Diketahui soal:

$$D_1 = 12 \text{ cm}$$

$$D_2 = 8 \text{ cm}$$

$$v_1 = 10 \text{ cm/s}$$

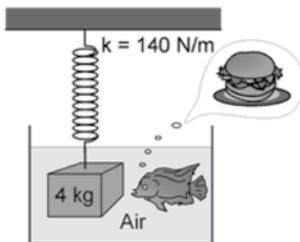
Ditanya:  $v_2 = \dots\dots\dots$

$$\begin{aligned} \text{Jawab: } v_2 &= \frac{D_1^2}{D_2^2} \times v_1 \\ &= \frac{12^2}{8^2} \times 10 \\ &= 19,375 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

## LATIHAN SOAL BAB 20

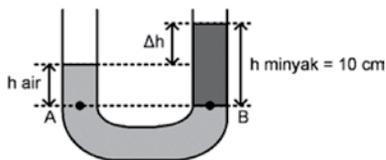
### Pilihlah Salah Satu Jawaban Yang Tepat

1. Sebuah balok yang memiliki massa 4 kg dan volume  $5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$  berada di dalam air digantung menggunakan sebuah pegas seperti gambar berikut.



Jika massa jenis air  $1000 \text{ kg/m}^3$  dan konstanta pegasnya  $140 \text{ N/m}$  maka pertambahan panjang pegas ditinjau dari saat pegas tanpa beban adalah....

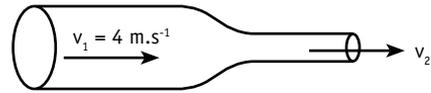
- A. 15 cm                      D. 30 cm  
B. 20 cm                      E. 35 cm  
C. 25 cm
2. Sebuah pipa U yang diisi minyak dan air dalam keadaan stabil tampak seperti gambar.



Massa jenis air  $= 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ , dan massa jenis minyak  $800 \text{ kg.m}^{-3}$ , maka perbedaan ketinggian ( $\Delta h$ ) adalah....

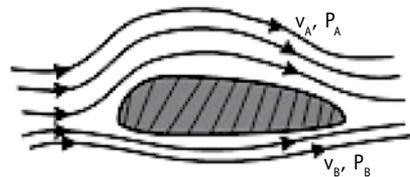
- A. 8 cm                      D. 4 cm  
B. 6 cm                      E. 2 cm  
C. 5 cm

3. Perhatikan gambar!



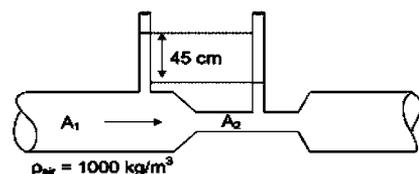
Jika diameter penampang besar dua kali diameter penampang kecil, kecepatan aliran fluida pada pipa kecil adalah....

- A.  $1 \text{ m.s}^{-1}$                       D.  $16 \text{ m.s}^{-1}$   
B.  $4 \text{ m.s}^{-1}$                       E.  $20 \text{ m.s}^{-1}$   
C.  $8 \text{ m.s}^{-1}$
4. Sayap pesawat terbang dirancang agar memiliki gaya ke atas maksimal, seperti gambar.



Jika  $v$  adalah kecepatan aliran udara dan  $P$  adalah tekanan udara, maka sesuai azas Bernoulli rancangan tersebut dibuat agar....

- A.  $v_A > v_B$  sehingga  $P_A > P_B$   
B.  $v_A > v_B$  sehingga  $P_A < P_B$   
C.  $v_A < v_B$  sehingga  $P_A < P_B$   
D.  $v_A < v_B$  sehingga  $P_A > P_B$   
E.  $v_A > v_B$  sehingga  $P_A = P_B$
5. Pada gambar di bawah air mengalir melewati pipa venturimeter.



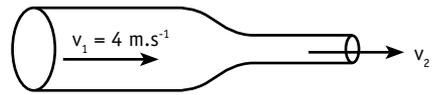
Jika luas penampang  $A_1$  dan  $A_2$  masing-masing  $5 \text{ cm}^2$  dan  $4 \text{ cm}^2$  maka kecepatan air memasuki pipa venturimeter adalah....

- A. 3 m/s
- B. 4 m/s
- C. 5 m/s
- D. 9 m/s
- E. 25 m/s

6. Sebuah pipa dengan diameter 12 cm ujungnya menyempit dengan diameter 8 cm. Jika kecepatan aliran di bagian pipa berdiameter besar adalah  $10 \text{ cm/s}$ , maka kecepatan aliran di ujung yang kecil adalah....

- A. 22,5 cm/s
- B. 4,4 cm/s
- C. 2,25 cm/s
- D. 0,44 cm/s
- E. 0,225 cm/s

7. Perhatikan gambar!



Jika diameter penampang besar dua kali diameter penampang kecil, kecepatan aliran fluida pada pipa kecil adalah....

- A.  $1 \text{ m.s}^{-1}$
- B.  $4 \text{ m.s}^{-1}$
- C.  $8 \text{ m.s}^{-1}$
- D.  $16 \text{ m.s}^{-1}$
- E.  $20 \text{ m.s}^{-1}$



**G**etaran yang berulang dalam selang waktu yang sama disebut gerak periodik. Gerak periodic ini selalu dapat dinyatakan dalam fungsi sinus dan cosinus atau cosinus, oleh sebab itu gerak periodik disebut juga gerak harmonis. Jika gerak periodic itu bergerak bolah balik melalui lintasan yang sama disebut getaran atau osilasi.

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

Dimana: T = perioda  
f = frekuensi

Benda yang gerakanya dipengaruhi oleh gaya yang demikian disebut benda bergerak harmonic sederhana. Menurut H Newton II  $\rightarrow F = m \cdot a$

Gaya pemulih pada gerak benda adalah:  $F = -K \cdot x$

$$F \text{ Newton} = F \text{ pemulih}$$

$$-K \cdot x = m \cdot a$$

$$-K \cdot x = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{-Kx}{m}$$

Dimana:  $\omega^2 = \frac{K}{m} \Leftrightarrow \omega = \sqrt{\frac{K}{m}}$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$$

## A. Gerak Harmonis Sederhana

Untuk mencari persamaan gerak harmonic sederhana dengan jalan mencari penyelesaian persamaan yaitu suatu fungsi x sedemikian rupa sehingga bila diturunkan

$$X = A \cos (\omega t + \theta)$$

Perioda geraknya

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

$$\omega^2 = \frac{K}{m}$$

$$\text{maka } T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{K}{m}}}$$

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

$$T = \frac{\omega}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Kecepatan dan percepatan gerak harmonik sederhana dicari dengan jalan menurunkan persamaan geraknya terhadap waktu. Simpangan gerak harmonik sederhana:

$$X = A \cos(\omega t + \theta)$$

Untuk kecepatan

$$V = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega \cdot t + \theta) \text{ atau } v = \omega \sqrt{A^2 - x^2}$$

Untuk percepatan

$$A = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega \cdot t + \theta) \text{ atau } a = \omega^2 x$$

## B. Energi Pada Gerak Harmonis sederhana

Pada gerak harmonik sederhana gaya-gaya yang bekerja hanya gaya konservatif sehingga energi mekaniknya kekal.

$$E = E_k + E_p$$

Energi potensial setiap saat:

$$E_p = \frac{1}{2} K \cdot a^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \theta)$$

Energi kinetik setiap saat:

$$E_k = \frac{1}{2} K \cdot a^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \theta)$$

Jadi:

$$E = E_k + E_p$$

$$E = \frac{1}{2} K \cdot a^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t + \theta) + \frac{1}{2} K \cdot a^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t + \theta)$$

$$E = \frac{1}{2} K \cdot a^2$$

**Contoh:**

Sebuah benda bergetar harmonis sederhana dengan persamaan simpangan:

$X = 5 \cos\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right)$ ,  $x$  dalam mtr,  $t$  dalam detik dan besaran sudut dalam radian tentukan:

- Amplitudo, frekuensi dan perioda gerak
- Kecepatan dan percepatan sesaat
- Posisi, kecepatan dan percepatan pada saat  $t = 2$  det
- kecepatan dan percepatan maksimu

Penyelesaian:

Diketahui :  $X = 5 \cos\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right)$

- Ditanya : a. A.....?      f.....?      T.....?  
 b. v.....?      a.....?  
 c. x.....?      v.....?      a.....?  
 d. v.....?      a.....?

Jawab :

a.  $X = 5 \cos\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right)$

$A = 5 \text{ m}$

$\omega = 3\pi \text{ rad/det}$

$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{\frac{3}{2}} = \frac{2}{3} \text{ det}$

$\omega = 2\pi f \Rightarrow 3\pi = 2\pi f \Rightarrow f = \frac{3}{2} \text{ hzt}$

b.  $v = \frac{dx}{dt} = -5 \cdot 3\pi \cdot \sin\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right) = -15\pi \cdot \sin\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right)$

$a = \frac{dv}{dt} = -15\pi \cdot 3\pi \cdot \cos\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right)$

$a = -45\pi^2 \cdot \cos\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right)$

c.  $x = 5 \cdot \cos\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right) = 5 \cos(19,363) = 4,717 \text{ m}$

$v = -15\pi \sin\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right) = 23,55 \text{ m/s}$

$a = -45\pi^2 \cdot \cos\left(3\pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right) = -38,971 \text{ m/det}^2$

$v = -15\pi \text{ m/det}$

$a = -45\pi^2 \cdot \text{m/det}^2$

### C. Bandul Sederhana

Bandul sederhana disebut juga bandul matematis, didefinisikan sebagai bandul yang terdiri dari sebuah partikel yang tergantung pada seutas tali panjang.

Bila bandul ditarik kesamping dari posisi setimbang kemudian dilepaskan, maka bandul akan berayun karena pengaruh gravitasi.  $F = -m \cdot g \cdot \sin \theta$

Jika simpangan kecil  $\sin \theta = \theta$  dimana:  $x = L \cdot \theta \Rightarrow \theta = \frac{x}{L}$

$$F = -m \cdot g \cdot \frac{x}{L} = \left( \frac{m \cdot g}{L} \right) \cdot x \Rightarrow F = -k \cdot x$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{atau} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

#### Contoh:

Sebuah ayunan sederhana mempunyai period 2 det bila dilakukan disuatu tempat dibumi yang mempunyai gravitasi 9,8 m/det<sup>2</sup>. tentukan panjang talinya.

#### Penyelesaian:

Diketahui :  $T = 2$  det

$G = 9,8$  m/det<sup>2</sup>

Ditanya :  $L$ ....?

Jawab :  $\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{9,8}}$

$$T = 2 \Rightarrow 2^2 = (2\pi)^2 \frac{l}{g}$$

$$\Rightarrow l = \frac{39,44}{4\pi^2} = 0,994m$$

### D. Bandul Puntiran

Sebuah piringan yang digantungkan pada ujung batang kawat yang dipasang pada pusat massa piringan. Batang kawat dibuat tetap terhadap penjepit dan terhadap piringan.

Jika piringan di rotasikan dari posisi seimbang, titik P kearah Q kawat akan terpuntir. Kawat yang terpuntir ini akan melakukan momen gaya yang mengembalikan keadaan posisi seimbang. Momen gaya pemulihnya untuk puntiran yang kecil sebanding dengan pergeseran sudut yaitu:

$$T = -k \theta$$

$K$  adalah konstanta yang tergantung pada sifat kawat dan disebut konstanta puntiran.

Dari persamaan  $T = I \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2}$

Maka persamaan diferensial gerak harmonis sederhana:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{k \cdot \theta}{I} = 0$$

Jadi perioda nya  $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}}$

Dimana L adalah momen kelembaman benda terhadap sumbu rotasi nya, dalam hal ini piringan

**Contoh:**

Sebuah piringan yang massa nya 2 kg, jari-jari nya 0,2 m diputar dengan sumbu yang merupakan garis singgung dan piringan tersebut , tentukan:

- a. Momen kelembaman dari piringan tersebut
- b. Periode getaran dari piringan tersebut

Penyelesaian:

Diketahui :  $M = 2 \text{ kg}$

$R = 0,2 \text{ m}$

Ditanya : a. I.....?

b. T.....?

Jawab : a.  $I = \frac{1}{2} M \cdot R^2 + M \cdot R^2 = \frac{3}{2} M \cdot R^2$

$I = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot (0,2)^2 = 0,12$

b.  $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{M \cdot g \cdot R}} = 2\pi\sqrt{\frac{\frac{3}{2} \cdot M \cdot R^2}{M \cdot g \cdot R}} = 2\pi\sqrt{\frac{3R}{2g}}$

$T = 2\pi\sqrt{\frac{3 \cdot 0,2}{2 \cdot 10}} = 2\pi \cdot 2 = 4\pi \text{ detik}$

**E. Superposisi Dua Gerak Harmonik Sederhana Yang Frekuensinya Sama**

Sebuah benda melakukan dua gerak harmonik secara bersama-sama dengan persamaan;

$X_1 = A_1 \text{Cos} (\omega t + \theta_1)$  dan  $X_2 = A_2 \text{Cos} (\omega t + \theta_2)$

Gerak resultan nya

$X = X_1 + X_2$

$A \text{Cos} (\omega t + \theta)$

$A_1 \text{Cos}(\omega t + \theta_1) + A_2 \text{Cos}(\omega t + \theta_2) \dots \dots \dots (1)$

Apabila ruas kiri dari persamaan (1) diselesaikan

$A \text{Cos} (\omega t + \theta) = A \cos \phi \cos \omega t - A \sin \phi \sin \omega t$

Sedangkan ruas kanannya menghasilkan

$$A_1 \cos(\omega t + \theta_1) = A_1 \cos \phi_1 \cos \omega t - A_1 \sin \phi_1 \sin \omega t$$

$$A_1 \cos(\omega t + \theta_1) = A_{12} \cos \phi_2 \cos \omega t - A_2 \sin \phi_2 \sin \omega t$$

Maka diperoleh hubungan ;

$$A \cos \phi = A_1 \cos \phi_1 + A_2 \cos \phi_2 \dots\dots\dots(a)\dots\dots(2)$$

$$A \sin \phi = A_1 \sin \phi_1 + A_2 \sin \phi_2 \dots\dots\dots(b)$$

Jadi:

$$\text{tg } \phi = \frac{\sin \phi}{\cos \phi} = \frac{A_1 \sin \phi_1 + A_2 \sin \phi_2}{A_1 \cos \phi_1 + A_2 \cos \phi_2} \dots\dots\dots(3)$$

Sedangkan amplitudo gerak resultan didapatkan dengan mengkuadratkan persamaan (2) dan (3) dan diperoleh:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\phi_1 - \phi_2)$$

atau

$$\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cos(\phi_1 - \phi_2)}$$

**Contoh:**

Sebuah benda serentak melakukan dua gerak harmonik sederhana dengan persamaan:

$$X_1 = 20 \cdot \cos\left(30 \cdot \pi \cdot t + \frac{\pi}{3}\right)$$

$$X_2 = 25 \cdot \cos\left(30 \cdot \pi \cdot t + \frac{\pi}{6}\right)$$

X dalam cm dan besaran sudut dalam radian, tentukan:

- a. Persamaan resultan
- b. Simpangan gerak resultan pada saat t = 0,2 detik.

**Penyelesaian:**

Diketahui : A1 = 20 cm

A2 = 25 cm

Ditanya : a. X.....?

b. X.....? t = 0,2 detik

Jawab : a.  $A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2 \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot \cos(\phi_1 - \phi_2)$

atau

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1 \cdot A_2 \cos(\phi_1 - \phi_2)}$$

$$A = \sqrt{20^2 + 25^2 + 2 \cdot 20 \cdot 25 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{6}\right)}$$

$$= \sqrt{400 + 625 + 1000 \cdot \cos \frac{\pi}{6}}$$

$$= 43,486$$

$$\phi = \text{aretg } 43,486 = 0,755 \text{ rad}$$

b. X.....pada saat  $t = 0,2$  det

$$x = 43,486 \cdot \cos(30\pi t + 0,755)$$

$$x = 43,486 \cdot \cos(30\pi \cdot 0,2 + 0,755)$$

$$x = 31,651 \text{ cm}$$

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Sebuah balok bermassa 0,5 kg dihubungkan dengan sebuah pegas ringan dengan konstanta 200 N/m. Kemudian sistem tersebut beresilasi harmonis. Jika diketahui simpangan maksimumnya adalah 3 cm, maka kecepatan maksimum adalah....

- A. 0,1 m/s                      D. 1,5 m/s  
 B. 0,6 m/s                      E. 2 m/s  
 C. 1 m/s

**Jawab: B**

#### Pembahasan

Diketahui:  $m = 0,5 \text{ kg}$

$$k = 200 \text{ N/m}$$

$$y_{\text{maks}} = A = 3 \text{ cm}$$

$$= 0,03 \text{ m}$$

Ditanya:  $v_{\text{maks}} = \dots\dots$

Jawab:

Periode getaran pegas:

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

$$T = 2\pi \sqrt{0,5/200} = 2\pi \sqrt{1/400}$$

$$= 2\pi (1/20) = 0,1 \pi \text{ sekon}$$

$$v_{\text{maks}} = \omega A$$

$$v_{\text{maks}} = \frac{2\pi}{T} \cdot A = \frac{2\pi}{0,1\pi} \cdot 0,03$$

$$= 0,6 \text{ m/s}$$

2. Sebuah benda bermassa 50 gram bergerak harmonis sederhana dengan amplitudo 10 cm dan periode 0,2 s. Besar gaya yang bekerja

pada sistem saat simpangannya setengah amplitudo adalah sekitar....

- A. 1,0 N                      D. 6,9 N  
 B. 2,5 N                      E. 8,4 N  
 C. 4,8 N

Jawab: B

#### Pembahasan

Diketahui:

$$m = 50 \text{ gram} = 50 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$A = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} = 10^{-1} \text{ m}$$

$$T = 0,2 \text{ s}$$

$$y = 0,5 A$$

Ditanya:  $F = \dots\dots$

Jawab:

Gaya pada gerak harmonis

$$F = m\omega^2 y$$

dengan:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0,2} = 10\pi \text{ rad/s}$$

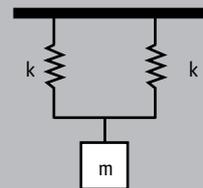
$$y = 0,5 A = 0,5(0,1) = 5 \times 10^{-2}$$

Sehingga:

$$F = (50 \times 10^{-3})(10\pi)^2(5 \times 10^{-2})$$

$$= 2,5 \text{ N}$$

3. Dua buah pegas dengan kostanta sama besar masing-masing sebesar 150 N/m disusun secara paralel seperti terlihat pada gambar berikut.



Tentukan besar periode dan frekuensi susunan tersebut, jika massa beban  $m$  adalah 3 kilogram.

- A.  $0,2 \pi s$                       D.  $0,6 \pi s$   
 B.  $0,24 \pi s$                     E.  $0,5 \pi s$   
 C.  $0,35 \pi s$

### Pembahasan

Periode susunan pegas paralel, cari konstanta gabungan terlebih dahulu:

$$k_t = k_1 + k_2 = 150 + 150 \\ = 300 \text{ N/m}$$

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

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{3}{300}}$$

$$T = \frac{2\pi}{10} = 0,2 \pi s$$

## LATIHAN SOAL BAB 21

### Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

- Seutas kawat berdiameter 2 cm digunakan untuk menggantungkan lampu 31,4 kg pada langit-langit kamar. Tegangan (stress) yang dialami kawat sekitar ... ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )
 

A.  $0,01 \text{ kN/m}^2$       D.  $10 \text{ kN/m}^2$   
 B.  $0,1 \text{ kN/m}^2$       E.  $100 \text{ kN/m}^2$   
 C.  $1 \text{ kN/m}^2$
- Sebuah pegas digantungkan pada langit-langit sebuah lift. Di ujung bawah pegas tergantung beban 50 g. Ketika lift diam, pertambahan panjang pegas 5 cm. Pertambahan panjang pegas jika lift bergerak ke bawah dengan percepatan  $3 \text{ m/s}^2$  adalah ... ( $g=10 \text{ m/s}^2$ )
 

A. 2,5 cm                      D. 5,0 cm  
 B. 3,5 cm                      E. 6,0 cm  
 C. 4,5 cm
- Kecepatan sebuah benda yang bergerak selaras sederhana adalah ...
 

A. Terbesar pada simpangan terbesar  
 B. Tetap besarnya  
 C. Terbesar pada simpangan terkecil  
 D. Tidak tergantung pada frekuensi getaran  
 E. Tidak tergantung pada simpangannya
- Sebuah benda bermassa 50 gram bergerak harmonic sederhana dengan amplitude 10 cm dan periode 0,2 s. Besar gaya yang bekerja pada system saat simpangannya setengah amplitudo adalah sekitar ...
 

A. 1,0 N                      D. 6,9 N  
 B. 2,5 N                      E. 8,4 N  
 C. 4,8 N
- Dua buah osilator bergetar dengan fase sama pada  $t = 0$ . Frekuensi getaran 10 Hz dan 40 Hz. Setelah  $5/4$  sekon, kedua getaran itu berselesih sudut fase ...

- A.  $0^\circ$
- B.  $30^\circ$
- C.  $45^\circ$
- D.  $90^\circ$
- E.  $180^\circ$

6. Sebuah pegas yang panjangnya 20 cm digantungkan vertical. Kemudian ujung di bawahnya diberi beban 200 gram sehingga panjangnya bertambah 10 cm. Beban ditarik 5 cm ke bawah kemudian dilepas hingga beban bergetar harmonic. Jika  $g=10 \text{ m/s}^2$ . Maka frekuensi getaran adalah ...

- A. 0,5 Hz
- B. 1,6 Hz
- C. 5,0 Hz
- D. 18,8 Hz
- E. 62,8 Hz

7. Besarnya periode suatu ayunan (bandul) sederhana bergantung pada ...

- (1) Panjang tali
- (2) Massa benda
- (3) Percepatan gravitasi
- (4) Amplitudo

Pernyataan di atas yang benar adalah ...

- A. (1), (2), dan (3)
- B. (1) dan (3)
- C. (2) dan (4)
- D. (4)
- E. (1), (2), (3), dan (4)

8. Sebuah benda yang diikat dengan seutas benang hanya dapat berayun dengan simpangan kecil. Supaya periode ayunannya bertambah besar, maka:

- (1) Ayunannya diberi simpangan awal yang besar
- (2) Massa bendanya ditambah
- (3) Ayunan diberi kecepatan awal

(4) Benang penggantungannya diperpanjang

Pernyataan di atas yang benar adalah ...

- A. (1), (2), dan (3)
- B. (1) dan (3)
- C. (2) dan (4)
- D. (4)
- E. (1), (2), (3), dan (4)

9. Sebuah beban bermassa  $m$  digantungkan pada ujung bawah pegas dengan tetapan pegas  $k = 50 \text{ N/m}$ . Berapa periode osilasi pegas?

- A. 2,8 s
- B. 0,26 s
- C. 0,28 s
- D. 1,25 s
- E. 2,5 s

10. Seekor nyamuk dengan massa 0,20 gram terperangkap di sarang laba-laba. Jika sarang tersebut bergetar dengan frekuensi 20 Hz, berapa nilai konstanta pegas sarang tersebut?

- A. 3,5 N/m
- B. 4,0 N/m
- C. 3,10 N/m
- D. 2,50 N/m
- E. 3,15 N/m

11. Sebuah pegas mula-mula panjangnya 20cm. Kemudian pada salah satu ujungnya digantungkan beban 2 kg, ternyata panjang pegas menjadi 25cm. Jika  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Berapa konstanta pegas tersebut?

- A. 400 N/m
- B. 300 N/m
- C. 250 N/m
- D. 200 N/m
- E. 150 N/m

12. Sebuah bergetar dengan frekuensi 40 Hz selama 1 menit karena di beri gaya 30 N. Berapakah fase getarannya?

- A. 240
- B. 2400
- C. 3600
- D. 360
- E. 250

- A. 13,005 m/s
- B. 12,67 m/s
- C. 1,305 m/s
- D. 1,267 m/s
- E. 12,18 m/s

13. Sebuah pegas yang diberi beban bergetar harmonis dengan amplitudo 12cm dan periode 0,5 detik. Berapakah kecepatan partikel saat simpangannya 6cm?



Pada awal penyelidikan listrik tidak ada cara untuk dapat menyimpan muatan listrik dalam waktu yang lama. Bahkan ketika benda bermuatan diletakkan pada tempat berisolasi pun, muatan cenderung bocor. Pada tahun 1746 di Universitas Leyden, Pieter Van Musschenbroek (1692-1761) mencoba menyimpan sejumlah besar muatan listrik. Hasilnya adalah suatu peralatan yang secara luas dikenal sebagai botol Leyden. Botol Leyden adalah sebuah botol kaca dengan dinding dalam dan luarnya dilapisi oleh daun logam.

Botol Leyden menjadi dasar dari penelitian-penelitian listrik selama 50 tahun berikutnya. Botol Leyden adalah “condenser” pertama atau yang sekarang kita sebut **kapasitor**, yaitu suatu peralatan yang dapat menyimpan muatan dan energi listrik.

### 1. Mengetahui Kapasitor

Sebuah Kapasitor terdiri atas dua keping konduktor yang ruang di antaranya diisi oleh dielektrik (penyekat), misalnya udara atau kertas. Kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik dinyatakan oleh besaran **kapasitas** (atau **kapasitansi**). Satuan SI dari kapasitas adalah farad (F), namun ukuran kapasitas kapasitor yang sering digunakan dinyatakan dalam microfarad ( $\mu\text{F}$ ), nanofarad (nF), dan pikofarad (pF).

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} ; 1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} ; 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

### 2. Jenis- Jenis Kapasitor

#### a. Kapasitor Kertas

Kertas berfungsi sebagai bahan penyekat diantara kedua pelat. Kapasitor jenis ini memiliki kapasitas  $0,1 \mu\text{F}$

#### b. Kapasitor Elektrolit

Pada kapasitor elektrolit, bahan penyekatnya adalah aluminium oksida. Kapasitor elektrolit memiliki kapasitas paling besar, yaitu sampai dengan 100.000 pF.

### c. Kapasitor Variabel

Kapasitor Variabel adalah kapasitor dengan nilai kapasitas dapat diubah-ubah, sehingga digunakan untuk memilih frekuensi gelombang pada radio penerima. Penyekatnya adalah udara, dengan nilai maksimum kapasitasnya sampai dengan 500 pF (0,0005  $\mu$ F)

## 3. Kapasitansi

***Kapasitansi didefinisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron.***

Coulombs pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulomb =  $6.25 \times 10^{18}$  elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa sebuah kapasitor akan memiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika dengan tegangan 1 volt dapat memuat muatan elektron sebanyak 1 coulombs. Dengan rumus dapat ditulis:

$$q = CV \quad \dots(1)$$

Dimana: q: muatan elektron dalam C (coulombs)

C: nilai kapasitansi dalam F (farads)

V: besar tegangan dalam V (volt)

1 F = 1 coulomb/volt

Dalam praktek pembuatan kapasitor, kapasitansi dihitung dengan mengetahui luas area plat metal (A), jarak (t) antara kedua plat metal (tebal dielektrik) dan konstanta (k) bahan dielektrik. Dengan rumusan dapat ditulis sebagai berikut:

$$C = (8.85 \times 10^{-12}) \left(k \frac{A}{t}\right) \quad \dots(2)$$

## 4. Kapasitas Kapasitor Keping Sejajar

Untuk menghitung kapasitas kapasitor, kita tentukan dahulu kuat medan listrik homogen, E, dalam ruang antara kedua keeping, kemudian kita hitung V dan E. Kuat medan listrik, E, dalam ruang antarkeping sejajar adalah  $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$  dengan rapat muatan

$\sigma = \frac{q}{A}$  dengan demikian,

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

$$E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

## Kapasitas Kapasitor Keping

Dimana:  $\epsilon_0$  : permitivitas vakum/udara =  $8,85 \times 10^{-12}$  dalam SI

A : luas tiap keeping

d : jarak pisah antarkeeping

## 5. Pengaruh Dielektrikum terhadap Kapasitas Kapasitor

**Dielektrik** adalah suatu bahan isolasi, seperti kertas, karet, kaca, atau plastik. Ketika sebuah dielektrik disisipkan dalam ruang antara keeping-keeping sebuah kapasitor, kapasitas kapasitor akan meningkat. Kapasitas kapasitor dalam dielektrik,  $C_D$ , adalah

$$C_D = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d}$$

**Primitivitas Relatif** dielektrik adalah perbandingan antara kapasitas kapasitor dalam dielektrik dengan kapasitas kapasitor dalam vakum (tanpa dielektrik). Penyisipan dielektrik dalam ruang antara kedua keeping menyebabkan kapasitas kapasitor meningkat.

### a. Pengaruh Dielektrik untuk Baterai Tidak Dihubungkan

Karena hubungan dengan baterai diputuskan, maka ketika disisipkan dielektrik, beda potensial antarkeeping diperbolehkan berubah. Prinsip untuk kasus ini: **muatan yang tersimpan dalam kapasitor adalah tetap**. Berarti muatan sesudah penyisipan dielektrik ( $q_D$ ) sama dengan muatan sebelum penyisipan dielektrik ( $q_0$ ).  $q_D = q_0$

$$V_D = \frac{V_0}{\epsilon_r}$$

Karena  $\epsilon_r > 1$ , maka *beda potensial antarkeeping setelah disisipi dielektrik akan berkurang* ( $V_D < V_0$ ).

### b. Pengaruh Dielektrik untuk Baterai Tetap Dihubungkan

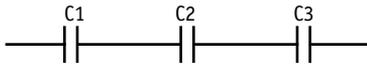
Karena kedua keeping dihubungkan secara tetap dengan baterai, maka beda potensial antarkeeping tidak berubah, yaitu sama dengan beda potensial baterai. Pada kasus ini, prinsip yang harus kita pegang adalah: **beda potensial antarkeeping adalah tetap**. Berarti, beda potensial sesudah penyisipan dielektrik ( $V_D$ ) sama dengan beda potensial sebelum penyisipan dielektrik ( $V_0$ ).  $V_D = V_0$

$q_D = \epsilon_r q_0$  Karena  $\epsilon_r > 1$ , maka *muatan pada keeping setelah disisipi dielektrik mengalami kenaikan* ( $q_D > q_0$ ).

## 6. Rangkaian Kapasitor

Susunan kapasitor yang paling sederhana yaitu *susunan seri* dan *susunan paralel*. Susunan seri digunakan jika diinginkan kapasitas yang lebih kecil dan susunan paralel digunakan jika diinginkan kapasitas yang lebih besar.

### a. Susunan Seri Kapasitor



**Kapasitas ekivalen**,  $C_{ek}$  dari susunan **seri** didefinisikan sebagai kapasitas dari sebuah kapasitor tunggal, yang memiliki muatan yang sama dengan muatan kapasitor yang digantikannya, yaitu  $q$ , ketika diberi beda potensial  $V$  yang sama.

Pada rangkaian kapasitor seri, berlaku rumus:

$$\text{tegangan total: } V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

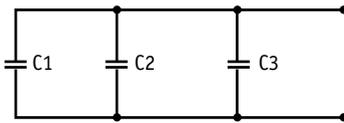
$$\text{Muatan Total: } Q = Q_1 = Q_2 = Q_n$$

**Kapasitas ekivalen seri**

$$\frac{1}{C_{ek}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

*Kebalikan dari kapasitor ekivalen dari susunan seri kapasitor sama dengan jumlah kebalikan dari tiap-tiap kapasitas. Beda potensial tiap kapasitor umumnya tidak sama.*

### b. Susunan Paralel Kapasitor



Kapasitas ekivalen,  $C_{ek}$ , dari susunan **paralel** didefinisikan sebagai kapasitas dari sebuah kapasitor tunggal.

$$q = C_{ek} V$$

hasil ini dapat diperluas untuk sejumlah kapasitor yang disusun paralel.

Pada rangkaian kapasitor paralel, berlaku rumus:

$$\text{Tegangan tiap kapasitor sama besar } V_1 = V_2 = V_3 = V_n$$

$$\text{Muatan Total: } Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_n$$

$$\text{Kapasitor Ekivalen Paralel } C_{ek} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

*Kapasitas ekivalen dari susunan paralel sama dengan jumlah dari tiap-tiap kapasitas. Beda potensial tiap kapasitor dalam susunan paralel adalah sama, yaitu sama dengan beda potensial kapasitor ekivalennya, namun muatan kapasitor umumnya tidak sama.*

### c. Rangkaian Listrik yang Mengandung Kapasitor

Jika pada rangkaian listrik arus searah rangkaian listriknya mengandung kapasitor, prinsip yang harus kita pegang adalah sebagai berikut.

*“Kapasitor dianggap dalam kondisi tunak atau stabil yaitu kapasitor telah penuh terisi muatan. Dalam keadaan tunak, cabang yang mengandung kapasitor adalah **terbuka (open)** sehingga arus dalam cabang ini sama dengan nol.”*

## 7. Energi Potensial Kapasitor

Sebuah kapasitor yang bermuatan memiliki potensial yang tersimpan di dalamnya. Jika salah satu muatannya dibebaskan mulai dari keadaan diam dari satu keping ke keping lainnya, maka energi potensialnya semakin besar selama muatan itu berpindah.

Secara lengkap, persamaan energi yang tersimpan dalam kapasitor (energi potensial) adalah

$$W = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2$$

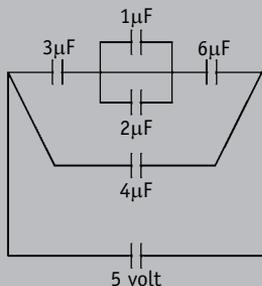
## 8. Penggunaan Kapasitor

Energy maksimum yang dapat disimpan dalam sebuah kapasitor, besar kira-kira hanya 10 J. Kapasitor digunakan sebagai penyimpan energy karena ia **dapat dimuati dan melepas muatannya dengan sangat cepat**.

Kapasitor digunakan salah satunya yaitu pada blitz. Kapasitor juga memainkan peran yang penting dalam rangkaian elektronika lainnya, seperti memilih frekuensi pada radio penerima; memisahkan arus bolak-balik dari arus searah; sebagai filter pada rangkaian catu daya; menghilangkan loncatan api dalam rangkaian saklar; menghilangkan bunga api pada system pengapian mobil; menghemat daya listrik dalam rangkaian lampu TL; dan sebagai catu daya cadangan ketika suplai listrik dari PLN terputus. Untuk menjaga *pembebanan lebih* dari jaringan transmisi dalam suatu area pelayanan, kapasitor menyimpan muatan berukuran sangat besar secara perlahan dimuati dan kemudian secara cepat dilepaskan muatannya ketika diperlukan.

### Contoh Soal dan Pembahasan

1. Perhatikan gambar rangkaian kapasitor di samping! Besar energi listrik pada rangkain tersebut adalah... ( $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ )



- A.  $65 \times 10^{-6}$  Joule  
B.  $52 \times 10^{-6}$  Joule

- C.  $39 \times 10^{-6}$  Joule  
D.  $26 \times 10^{-6}$  Joule  
E.  $13 \times 10^{-6}$  Joule

Jawab: A

Pembahasan

Diketahui:

Kapasitor 1 ( $C_1$ ) =  $3 \mu\text{F}$

Kapasitor 2 ( $C_2$ ) =  $1 \mu\text{F}$

Kapasitor 3 ( $C_3$ ) =  $2 \mu\text{F}$

Kapasitor 4 ( $C_4$ ) =  $6 \mu\text{F}$

Kapasitor 5 ( $C_5$ ) =  $4 \mu\text{F}$

Tegangan listrik (V) = 5 volt

Ditanya: Energi listrik pada rangkaian

Jawab:

Kapasitor pengganti rangkaian kapasitor seri-paralel

Kapasitor 2 dan kapasitor 3 dirangkai paralel. Kapasitor pengganti:

$$C_A = C_2 + C_3 = 1 + 2 = 3 \mu\text{F}$$

Kapasitor 1, kapasitor A dan kapasitor 4 dirangkai seri. Kapasitor pengganti:

$$\frac{1}{C_B} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_A} + \frac{1}{C_4} = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{6}$$
$$= \frac{2}{6} + \frac{2}{6} + \frac{1}{6} = \frac{5}{6}$$

$$C_B = \frac{6}{5} \mu\text{F}$$

Kapasitor B dan kapasitor 5 dirangkai paralel. Kapasitor pengganti:

$$C = C_B + C_5 = \frac{6}{5} + 4 = \frac{6}{5} + \frac{16}{4}$$
$$= \frac{24}{20} + \frac{80}{20} = \frac{104}{20} = 5,2 \mu\text{F}$$

$$C_B = 5,2 \times 10^{-6} \text{ Farad}$$

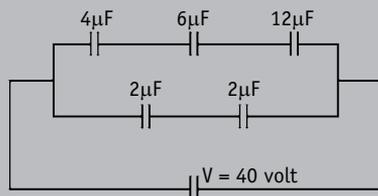
Energi listrik pada rangkaian

$$E = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} (5,2 \times 10^{-6})(5^2)$$

$$= (2,6 \times 10^{-6})(25)$$

$$E = 65 \times 10^{-6} \text{ Joule}$$

2. Perhatikan gambar rangkaian kapasitor berikut! Besar energi listrik dalam rangkaian kapasitor gabungan ini adalah... ( $1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F}$ )



A.  $0,6 \times 10^{-3} \text{ Joule}$

B.  $1,2 \times 10^{-3} \text{ Joule}$

C.  $1,8 \times 10^{-3} \text{ Joule}$

D.  $2,4 \times 10^{-3} \text{ Joule}$

E.  $3,0 \times 10^{-3} \text{ Joule}$

Jawab: D

Pembahasan

Diketahui:

Kapasitor 1 ( $C_1$ ) =  $4 \mu\text{F}$

Kapasitor 2 ( $C_2$ ) =  $6 \mu\text{F}$

Kapasitor 3 ( $C_3$ ) =  $12 \mu\text{F}$

Kapasitor 4 ( $C_4$ ) =  $2 \mu\text{F}$

Kapasitor 5 ( $C_5$ ) =  $2 \mu\text{F}$

Tegangan listrik ( $V$ ) =  $40 \text{ volt}$

Ditanya: Energi listrik pada rangkaian

Jawab:

Kapasitor pengganti rangkaian kapasitor seri-paralel

Kapasitor 1, kapasitor 2 dan kapasitor 3 dirangkai seri. Kapasitor pengganti:

$$\frac{1}{C_A} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12}$$
$$= \frac{3}{12} + \frac{2}{12} + \frac{1}{12} = \frac{6}{12}$$

$$C_A = \frac{12}{6} = 2 \mu\text{F}$$

Kapasitor 4 dan kapasitor 5 dirangkai seri. Kapasitor pengganti:

$$\frac{1}{C_B} = \frac{1}{C_4} + \frac{1}{C_5} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{2}{2}$$

$$C_B = \frac{2}{2} = 1 \mu\text{F}$$

Kapasitor A dan kapasitor B dirangkai paralel. Kapasitor pengganti:

$$C = C_A + C_B = 2 + 1 = 3 \mu\text{F}$$

$$C = 3 \times 10^{-6} \text{ Farad}$$

Energi listrik pada rangkaian

$$E = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} (3 \times 10^{-6})(40^2)$$

$$= (1,5 \times 10^{-6})(1600)$$

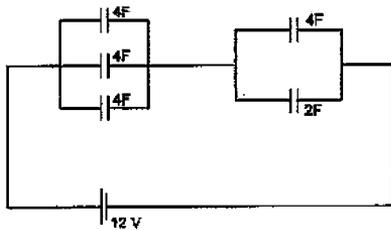
$$E = 2400 \times 10^{-6}$$

$$= 2,4 \times 10^{-3} \text{ Joule}$$

## LATIHAN SOAL BAB 22

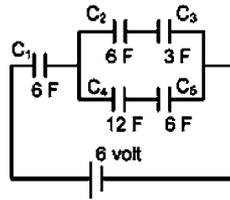
### Pilihlah Salah Satu Jawaban yang Tepat

- Tiga kapasitor yang masing-masing kapasitasnya 3 F, 6 F, dan 9 F dihubungkan seri. Kedua ujung dari gabungan tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan yang besarnya 220 V. Tegangan antara ujung-ujung kapasitor yang 3 F adalah....  
 A. 40 V                      D. 120 V  
 B. 60 V                      E. 220 V  
 C. 110 V
- Kapasitor bola berongga memiliki jari-jari sebesar 1,8 cm. Jika  $\frac{1}{4} \pi \epsilon_0 = 9 \times 10^9$  dalam satuan internasional, tentukan kapasitas kapasitor!  
 A. 2 PF                      D. 4,5 PF  
 B. 2,3 PF                    E. 3,4 PF  
 C. 1 PF
- Perhatikan gambar rangkaian kapasitas berikut. Energi yang tersimpan dalam rangkaian listrik di atas adalah...



- 576 Joule                      D. 72 Joule
- 288 Joule                    E. 48 Joule
- 144 Joule

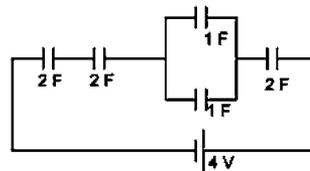
- Perhatikan rangkaian di bawah!



Besar muatan pada kapasitor C1 adalah....

- 36 coulomb                  D. 6 coulomb
- 18 coulomb                E. 4 coulomb
- 8 coulomb

- Sebuah bola konduktor berongga berjari-jari (R) dan bermuatan listrik (Q) besarnya nilai potensial listrik di dalam bola ( $V_D$ ) di permukaan ( $V_T$ ) dan di luar ( $V_L$ ) adalah...  
 A.  $V_D < V_T < V_L$                   D.  $V_D < V_T = V_L$   
 B.  $V_D > V_T > V_L$                   E.  $V_D < V_T > V_L$   
 C.  $V_D = V_T > V_L$
- Perhatikan gambar rangkaian kapasitor di bawah ini!



Besar energi kapasitor total pada rangkaian adalah...

- 0,5 J                          D. 2,5 J
- 1,0 J                         E. 4,0 J
- 2,0 J

7. Dua buah kapasitor masing-masing kapasitasnya  $2 \mu\text{F}$  dan  $3 \mu\text{F}$  dirangkai seri. Bila beda potensial antara ujung-ujung gabungannya 10 volt, maka perbandingan muatan kapasitor  $2 \mu\text{F}$  terhadap  $3 \mu\text{F}$  adalah ....

- A. 2: 1                      D. 1: 2  
B. 3: 2                      E. 1: 3  
C. 1: 1

8. Perhatikan faktor-faktor berikut ini!

- (1) Konstanta dielektrik  
(2) Tebal pelat  
(3) Luas pelat  
(4) Jarak kedua pelat

Yang mempengaruhi besarnya kapasitas kapasitor keping sejajar jika diberi muatan adalah....

- A. (1) dan (2) saja  
B. (3) dan (4) saja  
C. (1), (2), dan (3)  
D. (1), (2), dan (4)  
E. (1), (3), dan (4)



# GLOSARIUM

1. Akselerometer (Accelerometer) adalah alat untuk mengukur percepatan dari kendaraan yang sedang bergerak.
2. Akurasi (Accuracy) adalah ketepatan yang merupakan suatu aspek yang menyatakan tingkat pendekatan dari nilai hasil pengukuran alat ukur dengan nilai benar.
3. Ampere (ampere) adalah lambang A. satuan SI untuk arus listrik.
4. Amperemeter (ampere metre) adalah alat untuk mengukur arus listrik
5. Analisis dimensi (Dimensional analysis) adalah analisis yang bermanfaat untuk menguji benar salahnya suatu persamaan.
6. Angka penting (Important figures) adalah angka-angka hasil pengukuran yang terdiri dari angka-angka pasti dan angka taksiran (atau diragukan).
7. Arus AC (Alternating current) adalah arus listrik yang arahnya senantiasa berbalik arah secara teratur(periodik) atau dapat pula dikatakan arus bolak-balik.
8. Arus DC (Direct current) adalah arus listrik yang arahnya selalu mengalir dalam satu arah.
9. Arus listrik(electrics current) adalah aliran partikel-partikel bermuatan positif yang melalui konduktor (walau sesungguhnya elektron-elektron bermuatan negatiflah yang mengalir melalui konduktor). Arus listrik hanya dapat mengalir dalam suatu rangkaian tertutup.
10. Berat (Weight) adalah gaya yang bekerja pada benda akibat tarikan gravitasi bumi.
11. Berat efektif (Effective weight) adalah berat benda yang diukur pada saat benda tersebut berada dalam keadaan bergerak.
12. Besaran (Quantity) adalah segala yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka.
13. Besaran pokok (Basic quantity) adalah besaran yang hanya dapat didefinisikan melalui penggambaran bagaimana kita mengukurnya, sehingga besaran tersebut dapat berdiri sendiri tanpa menurunkannya dari besaran lainnya.

14. Besaran skalar (Scalar quantities) adalah besaran yang hanya memiliki besar sehingga hanya memerlukan bilangan tunggal dan satuannya untuk menyatakan deskripsi yang lengkap.
15. Besaran turunan (Magnitude scale derivative) adalah besaran yang didefinisikan melalui penggambaran bagaimana kita menghitungnya dari besaran lain yang dapat diukur, sehingga merupakan besaran yang dapat diturunkan atau diperoleh dari besaran-besaran pokok.
16. Besaran vector (Vector quantity) adalah besaran yang memiliki besar dan arah untuk suatu deskripsi yang lengkap dan dapat digambarkan sebagai segmen garis berarah.
17. Cermin (Mirror) adalah permukaan yang memantulkan sebagian besar cahaya yang jatuh di atasnya.
18. Deposisi (deposition) adalah kebalikan dari menyublim, yakni perubahan langsung dari wujud gas ke wujud padat.
19. Dimensi suatu besaran (Dimension of a quantity) menggambarkan bagaimana besaran tersebut tersusun atas kombinasi besaran-besaran pokok.
20. Dinamika (Dynamics) adalah cabang mekanika yang mempelajari gerakan benda-benda akibat gaya yang bekerja.
21. Energi kinetik (Kinetic energy) adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena geraknya (kecepatannya).
22. Energi potensial (The potential energy) adalah energi yang dimiliki oleh suatu benda karena ketinggiannya terhadap acuan.
23. Frekuensi (Frequency) adalah banyaknya putaran yang dapat dilakukan oleh suatu benda dalam selang waktu satu sekon.
24. Galvanometer (galvanometre) adalah peralatan untuk mendeteksi dan mengukur arus listrik lemah.
25. Gaya (Force) adalah suatu pengaruh yang dapat menyebabkan perubahan kecepatan suatu benda.
26. Gaya gesekan (Friction force) adalah Gaya yang melawan gerak pada suatu permukaan relatif satu sama lain, gaya tersebut bersinggungan dengan permukaan yang arah gaya gesekannya searah dengan permukaan bidang sentuh dan berlawanan dengan kecenderungan arah gerak.
27. Gaya jatuh bebas (Style free fall) adalah gerak jatuh benda dengan sendirinya mulai dari keadaan diam (kecepatan awal Sama dengan nol) dan selama gerak jatuhnya hambatan udara diabaikan, sehingga benda hanya mengalami percepatan ke bawah yang tetap, yaitu percepatan gravitasi.
28. Gaya kontak (Contact force) adalah gaya yang timbul jika dua benda berinteraksi melalui sentuhan langsung pada permukaannya.
29. Gaya normal (Normal force) adalah Gaya yang bekerja pada bidang sentuh antara dua permukaan yang bersentuhan, yang arahnya selalu tegak lurus pada bidang sentuh.

30. Gaya sentripetal (Centripetal force) adalah gaya yang bekerja pada sebuah benda yang mengakibatkan benda tersebut bergerak dengan lintasan melingkar.
31. Gelombang mikro (micro wave) adalah gelombang radio dengan frekuensi paling tinggi, diatas 3 GHz.
32. Gelombang radio (radio wave) adalah gelombang yang dihasilkan oleh muatan-muatan listrik yang dipercepat melalui kawat-kawat penghantar. Gelombang radio dipancarkan dari antena dan diterima oleh antena pula.
33. Gerak harmoni sederhana (Simple harmony) adalah benda yang bergerak bolak-balik di sekitar titik keseimbangannya.
34. Gerak lurus (Motion straight motion) adalah gerak suatu benda dalam lintasan berupa garis lurus.
35. Gerak lurus beraturan (Straight motion) adalah gerak suatu benda dengan kecepatan tetap atau gerak suatu benda pada lintasan lurus dengan kelajuan tetap.
36. Gerak lurus berubah beraturan (Changed uniformly straight motion) adalah gerak suatu benda pada suatu lintasan garis lurus dengan percepatan tetap.
37. Gerak melingkar (Circular laws) adalah hukum-hukum yang berhubungan dengan perputaran suatu benda mengelilinginya suatu sumbu mirip dengan hukum-hukum pada gerak lurus.
38. Gerak melingkar beraturan (Irregular circular motion) adalah gerak suatu benda menempuh lintasan melingkar dengan kelajuan (atau besar kecepatan) tetap.
39. Gerak melingkar berubah beraturan (Uniform circular motion) adalah gerak suatu benda dengan percepatan sudut konstan pada lintasan berbentuk lingkaran.
40. Gerak parabola (Motion dish) adalah gabungan gerak lurus beraturan pada sumbu horizontal (sumbu-x) dan gerak lurus berubah beraturan pada sumbu vertikal (sumbu-y) Akan menghasilkan gerak parabola.
41. Grafik (Graph) adalah Cara yang dapat digunakan untuk menunjukkan ketergantungan suatu besaran terhadap besaran lain secara sangat jelas dan pada umumnya menggunakan grafik garis lurus dengan persamaan:

$$y = mx + c.$$

- Hambatan jenis (specific resistance) adalah ukuran kemampuan bahan untuk melawan aliran arus listrik.
- Hambatan listrik (electrics resistant) adalah perbandingan beda potensial pada sebuah komponen listrik terhadap arus yang melintas melaluinya. Jadi, hambatan adalah merupakan ukuran perlawanan komponen terhadap aliran muatan listrik.
- Hukum Newton (law of Newton) ada tiga hukum gerak yang menjadi dasar mekanika Newton. (1) sebuah benda akan tetap dalam keadaan diam atau bergerak seragam dalam lintasan garis lurus bila tidak dipengaruhi gaya luar. (2) Laju perubahan momentum sebuah benda yang bergerak sebanding dan memiliki arah yang sama dengan arah gaya yang mempengaruhinya. (3) jika

sebuah benda memberikan gaya kepada benda lain, akan timbul gaya yang sama besar tetapi berlawanan arah.

- Hukum Kirchhoff (law of Kirchhoff) adalah dua hukum yang berhubungan dengan rangkaian listrik, yang pertama kali dirumuskan oleh G.R. Kirchhoff (1824-1887). (1) pada rangkaian listrik yang bercabang, jumlah kuat yang masuk pada suatu titik cabang sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik cabang itu. (2) jumlah aljabar perubahan tegangan yang mengelilingi suatu rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol.
- Hukum Snellius (law of snellius) adalah hukum pemantulan, menyatakan bahwa (1) sinar datang, sinar pantul, garis normal terhadap bidang batas pemantul pada titik jatuh, semuanya berada dalam satu bidang, (2) sudut jatuh sama dengan nol.
- Hukum Stefan-Boltzmann (law of Stefan-Boltzmann) adalah energi yang dipancarkan oleh suatu permukaan hitam dalam bentuk radiasi kalor tiap satuan waktu ( $Q/t$ ) sebanding dengan luas permukaan ( $A$ ) dan sebanding dengan pangkat empat suhu mutlak permukaan itu ( $T^4$ )
- Inersia (Inertia) adalah sifat benda yang cenderung mempertahankan keadaan geraknya (diam atau bergerak), disebut juga kelembaman atau kemalasan.
- Isolator (isolator) adalah zat yang sukar menghantarkan kalor
- Jarak (Long distance) adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda yang bergerak.
- Jarak (Long distance) adalah panjang lintasan yang ditempuh oleh suatu benda tanpa memperhatikan arah gerak benda, sehingga jarak merupakan besaran skalar.
- Kecepatan (velocity) adalah hasil bagi antara perpindahan dan waktu, sehingga kecepatan merupakan besaran vektor.
- Kecepatan linear (Linear velocity) adalah kecepatan sesaat yang arahnya menyinggung lingkaran, disebut juga kecepatan tangensial.
- Kecepatan rata-rata (average velocity) adalah hasil bagi antara perpindahan dengan selang waktunya.
- Kecepatan sudut (angular velocity) adalah laju perubahan pergeseran sudut terhadap waktu.
- Kelajuan (The rate) adalah hasil bagi antara jarak dan waktu, sehingga kelajuan merupakan besaran skalar.
- Kelajuan linear (The rate of linear) adalah hasil bagi panjang lintasan yang ditempuh dengan selang waktu tempuhnya.
- Kesalahan acak (Random error) adalah kesalahan yang menghasilkan hamburan data di sekitar nilai rata-rata dan sumber kesalahannya tidak dapat diidentifikasi yang akan menyebabkan hasil pengukuran dengan akurasi tinggi tetapi tidak presisi.

- Kesalahan alat (Appliance error) adalah kesalahan akibat kalibrasi yang kurang baik.
- Kesalahan pengamatan (Observation error) adalah kesalahan akibat paralaks (kesalahan sudut pandang terhadap suatu titik ukur).
- Kesalahan sistematis (Systematic error) adalah kesalahan yang sebab-sebabnya dapat diidentifikasi dan secara prinsip dapat dieliminasi yang Akan menyebabkan hasil pengukuran dengan presisi tinggi tetapi tidak akurat.
- Kesalahan teoritis (Theoretical error) adalah kesalahan akibat penyederhanaan sistem model atau aproksimasi dalam persamaan yang menggambar-kannya.
- Kinematika (Kinematics) adalah cabang mekanika yang mempelajari gerak benda dengan mengabaikan gaya-gaya yang mengakibatkan gerak itu sendiri.
- Komponen vektor (vector component) adalah hasil penguraian dua vektor.
- Konduksi (conduction) adalah perpindahan kalor melalui suatu bahan dari satu daerah bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah.
- Konveksi (Convection) adalah proses perpindahan kalor dari satu bagian fluida ke bagian lain akibat pergerakan fluida itu sendiri. Pada konveksi alamiah, perpindahan itu terjadi karena akibat gravitasi.
- Konversi satuan (Conversion unit) adalah Cara untuk pindah dari suatu satuan ke satuan Lain tanpa mempengaruhi nilai dari satuan tersebut melalui suatu rasio (perbandingan) yang disebut faktor konversi.
- Lintasan (Trajectory) adalah tempat posisi titik-titik yang dilalui oleh suatu benda yang bergerak.
- Listrik dinamis (dynamic electrics) adalah cabang dari studi listrik yang mempelajari tentang muatan-muatan listrik bergerak, yang menyebabkan munculnya arus.
- Listrik statis (static electrics) adalah cabang dari studi listrik yang mempelajari tentang muatan listrik yang diam.
- Massa (Mass) adalah ukuran kelembaman suatu benda, dengan kata lain hambatannya terhadap percepatan yang berkaitan dengan jumlah zat (materi) yang dikandung suatu benda.
- Notasi ilmiah (Scientific notation) adalah cara penulisan bilangan sebagai hasil kali bilangan  $a$  dengan bilangan 10 berpangkat yang disebut orde.
- Ohmmeter (ohmmeter) adalah alat untuk mengukur hambatan listrik.
- Panjang (length) adalah jarak dalam suatu ruang.
- Pengukuran (Measurement) adalah proses membandingkan suatu besaran dengan suatu satuan.
- Pengukuran berulang (Repeated of Measurements) adalah pengukuran yang dilakukan lebih dari satu kali.
- Pengukuran tunggal (single measurement) adalah pengukuran yang dilakukan satu kali saja.

- Percepatan (Acceleration) adalah laju pertambahan kelajuan atau kecepatan.
- Percepatan linear total partikel (Linear particle acceleration) adalah penjumlahan vektor kedua komponen percepatan.
- Percepatan rata-rata (Average acceleration) adalah hasil bagi antara perubahan kecepatan benda dengan selang waktu berlangsung perubahan kecepatan tersebut.
- Percepatan sentripetal (Centripetal acceleration) adalah percepatan yang arahnya selalu menuju pusat lingkaran.
- Percepatan sesaat (The instantaneous acceleration) adalah perubahan kecepatan yang berlangsung dalam waktu singkat.
- Percepatan tangensial (tangential acceleration) adalah percepatan yang arahnya selalu tegak lurus jari-jari lingkaran.
- Periode (Period) adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu lingkaran penuh (satu putaran).
- Perpindahan (Displacement) adalah perubahan posisi (kedudukan) suatu partikel dalam suatu selang waktu tertentu.
- Posisi (position) adalah letak suatu benda pada suatu waktu tertentu terhadap suatu acuan tertentu.
- Posisi sudut (Position angle) adalah besaran yang diukur terhadap sumbu  $-x$  yang berputar berlawanan arah dengan gerak jarum jam yang bergerak sepanjang busur lingkaran sebesar  $s$  yang berjarak  $r$  dari sumbu putarnya dengan dalam satuan radian.
- Presisi (Precision) sama artinya dengan ketelitian.
- Satu radian (One radian) adalah besar sudut di hadapan satu busur lingkaran yang panjangnya sama dengan jari-jari lingkaran.
- Satuan SI *systeme international d'unites* (system international d'unites), satuan Sistem Internasional (SI) yang kini penggunaannya dianjurkan terutama dibidang ilmiah. Sistem ini terdiri dari tujuh satuan dasar dan dua satuan tambahan, semua satuan lainnya diturunkan dari kesembilan satuan ini.
- Sekon (second) adalah satuan SI dari waktu, lambang  $s$ . satu sekon didefinisikan sebagai selang waktu yang diperlukan oleh atom sesium 133 untuk melakukan getaran sebanyak 9.192.631.770 kali dalam transisi antara dua tingkat energi dasarnya.
- Sensitivitas (Sensitivity) adalah aspek pengukuran yang menyatakan ukuran minimum yang masih dapat dideteksi (dikenal) oleh alat ukur.
- Skalar (scalar) adalah besaran yang hanya memiliki nilai saja, misalnya panjang, massa dan waktu.
- Suhu (temperature) adalah derajat panas dinginnya suatu benda. Ukuran kelajuan gerak partikel-partikel dalam suatu benda. Atau yang lebih umum ukuran energi kinetik rata-rata partikel dalam suatu benda.

- Termometer (thermometer) adalah alat yang digunakan untuk mengukur suhu suatu bahan.
- Vektor (vector) adalah besaran yang baik besar dan arahnya harus dinyatakan, dibandingkan dengan besaran skalar. Contoh besaran vektor adalah gaya dan kecepatan.
- Velocitometer (velocitometer) adalah alat untuk mengukur kecepatan.

# DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, W. 2006. *Matematika Bilingual Untuk SMA Kelas XI IPA*. Bandung: Yrama Widya.
- Ari, R, et al. 2007. *Khazanah Matematika*. Solo: Tiga Serangkai.
- Aryan, R, et al. 2006. *Intisari Matematika Dasar Untuk SMA Persiapan SPMB*. Bandung: Pustaka Setia Bandung.
- Conn, E.E. 1987. *Outlines of Biochemistry*. New York USA: John Wiley & Sons.
- Foster, Bob. 1001 Plus Soal dan Pembahasan Fisika. Jakarta: Erlangga.
- \_\_\_\_\_. *Fisika Terpadu SMA XII 3B*. Jakarta: Erlangga.
- Girindra, A. 1986. *Biokimia*. Jakarta : Gramedia.
- Johanes, et al. 2006. *Kompetensi Matematika Program IPA 2A*. Jakarta: Yudhistira.
- Lehninger, A.L. 1982. *Biochemistry*. New york : Worth Publisher Inc.
- Mulyati, Y, et al, 2008. *Matematika Untuk SMA dan MA Kelas XI Program Ipa*, Jakarta: Piranti.
- Sulistiyono. 2007. *Seri Pendalaman Materi Matematika SMA dan MA*. Jakarta: Esis.
- Suwanto, Antonius. 2002. *Bioteknologi*. Jakarta: Pusat Penerbit Universitas Terbuka.
- Syarifudin. 2008. *Intisari Matematika Untuk SMA*. Tangerang: Scientific Press.
- Tampomas, H. 1999. *Seribu Pena Matematika SMU Kelas 1*. Jakarta: Erlangga.
- Tampomas, H. 2007. *Seribu Pena Matematika Jilid 1 Untuk SMA/MA Kelas X*. Jakarta: Erlangga.
- Tampomas, H. 2007. *Seribu Pena Matematika Untuk SMA/MA Kelas XI*. Jakarta: Erlangga.
- Trehan, K. 1980. *Biochemistry*. New delhi: Wiley Eastern Limited.
- Wirahadikusumah, M. 1983. *Biokimia Protein Enzim dan Asam Nukleat*. Bandung: Penerbit ITB.
- Wirahadikusumah, M. 1983. *Biokimia*. Bandung: Penerbit ITB.
- Wiroidikromo, S. 2001. *Matematika Untuk SMA Kelas X Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Wirodikromo, S. 2001. *Matematika Untuk SMA Kelas X Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.  
Zaelani, A, et al. 2007. *1700 Bank Soal Bimbingan Pemantapan Matematika Untuk SMA/MA*. Bandung: Yrama Widya.

**Sumber Internet**

Abidin, M.Z. *Modul Matematika*. <http://masbied.files.wordpress.com/2011/05/modul-matematika-kelas-xii-program-linear.doc>. (Diakses tanggal 9 Desember 2012,).

Anonim. *Menyelesaikan Masalah Program Linier*. <http://parjono.files.wordpress.com/2007/09/rumus-matematika-program-linear.doc> (Diakses tanggal 9 Desember 2012).