

# FISIKA

- Rangkuman Materi
- Contoh Soal dan Pembahasan

**BAB 1 BESARAN DAN SATUAN**

**BAB 2 KINEMATIKA GERAK**

**BAB 3 DINAMIKA**

**BAB 4 USAHA DAN ENERGI**

**BAB 5 MOMENTUM DAN IMPULS**

**BAB 6 DINAMIKA ROTASI DAN KESEIMBANGAN BENDA TEGAR**

**BAB 7 FLUIDA STATIS**

**BAB 8 FLUIDA DINAMIS**

**BAB 9 GETARAN, GELOMBANG, DAN BUNYI**

**BAB 10 SUHU DAN KALOR**

**BAB 11 TEORI KINETIK GAS DAN TERMODINAMIKA**

**BAB 12 OPTIK GEOMETRI**

**BAB 13 OPTIK FISIS**

**BAB 14 LISTRIK STATIS**

**BAB 15 LISTRIK DINAMIS**

**BAB 16 MEDAN MAGNET DAN INDUKSI ELEKTROMAGNETIK**

**BAB 17 FISIKA MODERN**

**BAB 18 DUALISME PARTIKEL**





# - BAB 1 - Besaran dan Satuan

## Rangkuman Materi

Besaran adalah sesuatu yang dapat diukur, memiliki nilai tertentu, dinyatakan dengan angka, dan memiliki satuan tertentu. Sementara itu, satuan diartikan sebagai pernyataan yang menjelaskan dari suatu besaran.

### A. Besaran Pokok dan Besaran Turunan

Secara umum, besaran dibedakan menjadi besaran pokok dan besaran turunan.

#### 1. Besaran Pokok

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah didefinisikan terlebih dahulu dan tidak diturunkan dari besaran lainnya. Ada 7 macam besaran pokok beserta simbolnya, yaitu:

Besaran Pokok	Simbol
Panjang	$l$
Massa	$m$
Waktu	$t$
Kuat Arus	$I$
Suhu	$T$
Intensitas cahaya	$I$
Jumlah zat	$N$

#### 2. Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok. Contoh besaran turunan dan simbolnya dituliskan dalam tabel berikut.

Besaran Turunan	Simbol
Luas	$A$
Volume	$V$
Massa Jenis	$\rho$
Tekanan	$p$
Usaha	$W$

## B. Sistem Satuan dan Dimensi

### 1. Sistem Satuan

Sistem satuan yang digunakan baik besaran pokok maupun besaran turunan adalah sistem Satuan Internasional (SI) atau sistem metrik. Sistem metrik dikenal sebagai sistem mks yang merupakan singkatan dari meter, kilogram, dan sekon. Dalam satuan SI terdapat awalan-awalan yang merupakan pangkat dari 10. Perhatikan tabel di bawah ini!

Awalan	Singkatan	Kelipatan
Piko	p	$10^{-12}$
Nano	n	$10^{-9}$
Mikro	$\mu$	$10^{-6}$
Mili	m	$10^{-3}$
Senti	c	$10^{-2}$
Desi	d	$10^{-1}$
Deka	da	$10^1$
Hekto	h	$10^2$
Kilo	k	$10^3$
Mega	M	$10^6$
Giga	G	$10^9$
Tera	T	$10^{12}$

Sementara itu, satuan dari besaran pokok ditunjukkan melalui tabel berikut.

Besaran Pokok	Satuan
Panjang	m
Massa	kg
Waktu	s
Kuat Arus	A
Suhu	K
Intensitas cahaya	cd
Jumlah zat	mol

Adapun satuan pada besaran turunan diperoleh dari hasil perumusan besaran turunan tersebut. Satuan dari besaran turunan antara lain:

Besaran Turunan	Satuan
Luas	$m^2$
Volume	$m^3$
Massa Jenis	$kg/m^3$
Tekanan	Pa atau $kgm^{-1}s^{-2}$
Usaha	Joule atau $kgm^{-2}s^{-2}$

## 2. Dimensi

Dimensi suatu besaran menyatakan sebuah besaran yang tersusun dari besaran-besaran pokok. Berikut ini dimensi dari besaran pokok:

Besaran Pokok	Dimensi
Panjang	[L]
Massa	[M]
Waktu	[T]
Kuat Arus	[I]
Suhu	[ $\theta$ ]
Intensitas cahaya	[J]
Jumlah zat	[N]

Contoh dimensi dari beberapa besaran turunan antara lain:

Besaran Turunan	Dimensi
Luas	[L <sup>2</sup> ]
Volume	[L <sup>3</sup> ]
Massa Jenis	[ML <sup>-3</sup> ]
Tekanan	[ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup> ]
Usaha	[ML <sup>2</sup> T <sup>-2</sup> ]

---

## C. Angka Penting

---

### 1. Notasi Ilmiah

Dalam notasi ilmiah, hasil pengukuran dinyatakan sebagai berikut.

$$a \dots \times 10^n$$

Keterangan:

a = bilangan asli dari 1 sampai 9

n = eksponen yang merupakan bilangan bulat

10<sup>n</sup> = orde

Aturan penulisan hasil pengukuran harus ditulis dengan notasi ilmiah. Contoh penulisannya sebagai berikut.

- Jika bilangan lebih dari 10, koma desimal dipindahkan ke kiri dan eksponennya bernilai positif. Contoh: 15.000 jika ditulis berdasarkan notasi ilmiah menjadi  $1,5 \times 10^4$ .
- Jika bilangan kurang dari 1, koma desimal dipindahkan ke kanan dan eksponennya negatif. Contoh: 0,00068 jika ditulis berdasarkan notasi ilmiah ditulis dengan  $6,8 \times 10^{-4}$ .

### 2. Aturan Angka Penting

Angka penting memiliki aturan untuk membantu baik dalam pengucapan jumlah angka penting maupun perhitungan angka penting. Aturan-aturan angka penting sebagai berikut.

- Semua angka bukan nol adalah angka penting.
- Semua angka nol yang terletak diantara angka bukan nol termasuk angka penting.

Contoh:

503 (3 angka penting)

1,602 (4 angka penting)

- c. Semua angka nol pada **angka desimal lebih dari nol** dan terletak di akhir angka merupakan angka penting.

Contoh:

2,710 (4 angka penting)

44.500(5 angka penting)

- d. Semua angka nol pada **angka desimal kurang dari nol dan terletak di kanan maupun kiri koma desimal bukan merupakan angka penting.**

Contoh:

0,410 (3 angka penting)

0,0030(2 angka penting)

### 3. Penjumlahan dan Pengurangan Angka Penting

Hasil penjumlahan dan pengurangan angka penting hanya memiliki satu angka taksiran.

Contoh:

12,5 cm

17,41 cm +

29,91 cm

Sesuai aturan penjumlahan atau pengurangan angka penting, hasilnya adalah 29,9 cm.

### 4. Perkalian dan Pembagian Angka Penting

Jumlah angka penting hasil perkalian dan pembagian angka penting mengikuti jumlah angka penting paling sedikit.

Contoh:

$$4,24 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} = 6,36 \text{ cm}^2$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas 6,36 memiliki tiga angka penting. Angka 4,24 memiliki tiga angka penting, sedangkan 1,5 cm memiliki dua angka penting. Hasil perhitungan di atas, memiliki tiga angka penting. Berdasarkan aturan angka penting, hasilnya harus memiliki jumlah angka penting paling sedikit dalam operasi hitungan tersebut. Jika jumlah angka penting paling sedikit memiliki dua angka penting, maka hasil perhitungannya juga dua angka penting. Sehingga hasilnya adalah 6,4 cm<sup>2</sup>.

### 5. Aturan Pembulatan

Aturan-aturan pembulatan angka penting akan dijelaskan sebagai berikut.

- a. Apabila angka terakhir hasil perhitungan lebih dari lima, maka angka sebelum angka terakhir dibulatkan ke atas.

Contoh: 5,327 jika dibulatkan menjadi 5,33.

- b. Apabila angka terakhir hasil perhitungan kurang dari lima, maka angka sebelum angka terakhir dibulatkan ke bawah.

Contoh: 2,321 dibulatkan menjadi 2,32.

- c. Apabila angka terakhir hasil perhitungan tepat sama dengan lima, akan berlaku seperti berikut.

- 1) Jika sebelum angka lima merupakan angka ganjil, maka angka sebelum angka lima dibulatkan ke atas.

Contoh:

5,275 jika dibulatkan menjadi 5,28.

1,535 jika dibulatkan menjadi 1,54.

- 2) Jika sebelum angka lima merupakan angka genap, maka angka sebelum angka lima tidak mengalami pembulatan.

Contoh:

4,145 jika dibulatkan menjadi 4,14.

1,225 jika dibulatkan menjadi 1,22.

---

#### D. Akurasi Pengukuran

---

##### 1. Pengukuran Panjang

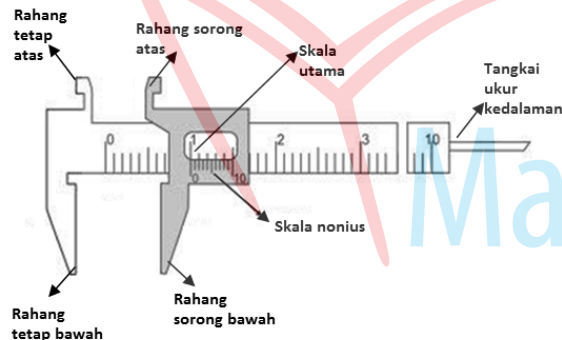
###### a. Pengukuran Panjang dengan Penggaris

Penggaris merupakan alat ukur panjang yang digunakan untuk mengukur panjang benda dengan skala terkecil 1 mm atau 0,1 cm. Penggaris memiliki ketelitian atau ketidakpastian sebesar 0,5 mm atau 0,05 cm.

###### b. Pengukuran Panjang dengan Jangka Sorong

Jangka sorong merupakan alat ukur panjang yang digunakan untuk mengukur panjang benda dengan panjang maksimum 10 cm. Jangka sorong memiliki dua bagian, yaitu rahang tetap dan rahang geser. Ketika melakukan perhitungan, perlu memperhatikan dua skala pada jangka sorong, yaitu skala utama dan skala nonius.

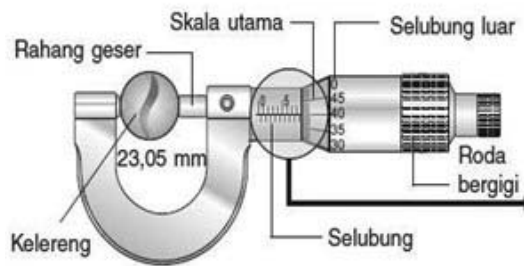
Skala terkecil pada jangka sorong sebesar 0,1 mm atau 0,01 cm. Ketelitian atau ketidakpastian sebuah jangka sorong sebesar 0,05 mm atau 0,005 cm. Perhatikan bagian-bagian jangka sorong berikut!



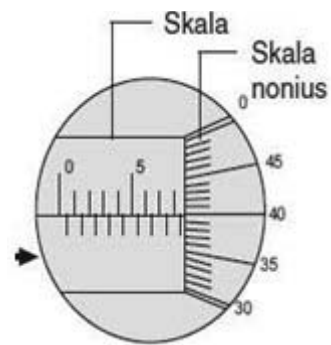
Gambar jangka sorong dan bagian-bagiannya

###### c. Pengukuran Panjang dengan Mikrometer Sekrup

Mikrometer sekrup merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur benda dengan panjang maksimal 25 mm. Skala utama mikrometer sekrup tertera pada selubung, sedangkan skala noniusnya tertera pada selubung luar. Mikrometer sekrup memiliki skala terkecil 0,01 mm atau 0,001 cm. Sementara itu, ketelitian atau ketidakpastian mikrometer sekrup 0,005 mm atau 0,0005 cm. Perhatikan gambar berikut untuk mengetahui bagian-bagian dari mikrometer sekrup.



Gambar mikrometer sekrup dan bagian-bagiannya



Gambar skala mikrometer sekrup

## 2. Pengukuran Massa

Berbagai macam neraca tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

### a. Neraca Ohaus

Neraca Ohaus merupakan neraca yang digunakan untuk percobaan di laboratorium. Neraca ini memiliki tiga lengan, yaitu lengan belakang, lengan tengah, dan lengan depan. Lengan belakang berskala 0 hingga 500 gram, lengan tengah berskala 0 hingga 100 gram, dan lengan depan berskala 0 hingga 10 gram. Skala terkecil neraca Ohaus adalah 0,1 gram.

Setiap lengan neraca Ohaus memiliki anting pemberat yang dapat digeser. Anting pemberat digeser supaya posisi lengan dan massa pada piringan seimbang. Nilai massa yang terukur menggunakan neraca Ohaus ditentukan dengan menjumlahkan angka yang ditunjuk oleh setiap anting pemberat pada lengannya.



Gambar Neraca Ohaus

### b. Neraca Lengan



Gambar Neraca Lengan

Neraca lengan merupakan neraca yang memiliki 2 lengan dan terbentuk seimbang. Neraca lengan memiliki dua piringan. Piringan pertama digunakan untuk meletakkan benda yang diukur, sedangkan piringan kedua digunakan untuk meletakkan anak timbangan. Massa benda yang terukur dapat diketahui nilainya jika lengan piringan pertama seimbang dengan lengan piringan kedua. Nilai massa benda diketahui dengan menjumlahkan anak timbangan.



### c. Neraca Dacin



Gambar neraca dacin

Neraca dacin merupakan neraca yang sering digunakan untuk mengukur massa beras atau mengukur massa anak di posyandu. Neraca dacin berbentuk tongkat yang panjang dengan anak timbangan yang dapat digeser di sepanjang tongkat. Nilai massa sebuah benda dapat diketahui dengan melihat letak pergeseran anak timbangan pada tongkat.

### 3. Pengukuran Waktu

Alat ukur waktu adalah *stopwatch*. Terdapat dua macam *stopwatch*, yaitu *stopwatch analog* dan *stopwatch digital*.

---

## E. Besaran Skalar dan Besaran Vektor

---

Di dalam fisika, ada besaran yang hanya ditentukan oleh besarnya saja dan ada juga yang ditentukan oleh besar dan arahnya. Besaran yang ditentukan oleh besarnya saja dinamakan besaran *skalar*. Contoh dari besaran skalar seperti jarak, massa, energi, usaha dan suhu. Sementara itu, besaran yang memiliki nilai dan arah dinamakan besaran *vektor*. Contoh dari besaran vektor seperti perpindahan, kecepatan, percepatan, dan momentum.

### 1. Resultan Vektor

Vektor jika berada di sumbu X dan sumbu Y akan memiliki vektor satuan  $\mathbf{i}$  dan  $\mathbf{j}$ , sedangkan jika berada di sumbu X, Y, dan Z akan memiliki vektor satuan  $\mathbf{i}$ ,  $\mathbf{j}$ , dan  $\mathbf{k}$ . Adapun contohnya sebagai berikut.

$$\mathbf{A} = 5\mathbf{i} - 2\mathbf{j} + 4\mathbf{k}$$

$$\mathbf{B} = 2\mathbf{i} + 5\mathbf{j} - 6\mathbf{k}$$

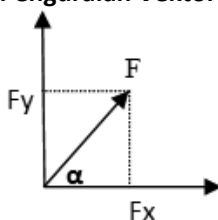
$$\mathbf{A} + \mathbf{B} = (5+2)\mathbf{i} + (-2+5)\mathbf{j} + (4+(-6))\mathbf{k} = 7\mathbf{i} + 3\mathbf{j} - 2\mathbf{k}$$

$$\mathbf{A} - \mathbf{B} = (5-2)\mathbf{i} + (-2-5)\mathbf{j} + (4-(-6))\mathbf{k} = 3\mathbf{i} - 7\mathbf{j} + 10\mathbf{k}$$

Jika dua vektor  $\mathbf{A}$  dan  $\mathbf{B}$  mengapit sudut  $\alpha$ , maka resultan vektornya adalah sebagai berikut:

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

### 2. Penguraian Vektor





$$F_x = F \cos \alpha$$

$$F_y = F \sin \alpha$$

Besar dan arah vektor ditentukan dengan rumus:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \text{ dan } \tan \alpha = \frac{F_y}{F_x}$$

Jika terdapat banyak komponen vektor pada sumbu X dan sumbu Y, maka resultan vektor dapat ditentukan dengan rumus berikut.

$$R = \sqrt{\Sigma F_x^2 + \Sigma F_y^2}$$

### 3. Perkalian Vektor

#### a. Perkalian Titik (Dot Product)

Aturan perkalian titik untuk vektor satuan **i**, **j**, dan **k** sebagai berikut.

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

Selain perkalian vektor tersebut, nilai perkalian titik lainnya akan bernilai nol jika hasil kali titik mengapit sudut  $\alpha$  akan dirumuskan sebagai berikut.

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha$$

#### b. Perkalian Silang (Cross Vektor)

Aturan perkalian silang untuk vektor satuan **i**, **j**, dan **k** sebagai berikut.

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

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

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

Selain perkalian vektor tersebut, nilai perkalian silang lainnya bernilai nol. Perhitungan perkalian titik juga dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

Contoh:

$$\vec{A} = b\mathbf{i} + c\mathbf{j} + d\mathbf{k}$$

$$\vec{B} = e\mathbf{i} + f\mathbf{j} + g\mathbf{k}$$

$$\vec{A} \times \vec{B}$$



(kiri)      (kanan)

$$\vec{A} \times \vec{B} = \text{kanan} - \text{kiri}$$

Dengan hasil masih dalam bentuk vektor.

Jika perkalian silang dua buah vektor mengapit sudut  $\alpha$ , maka dirumuskan sebagai berikut.

$$|\vec{A} \times \vec{B}| = |\vec{A}| |\vec{B}| \sin \alpha$$

## Soal dan Pembahasan

1. Satuan energi potensial dalam sistem SI adalah ...

A.  $\text{kg m}^3 \text{det}^{-1}$   
 B.  $\text{kg m}^2 \text{det}^{-2}$   
 C.  $\text{kg m}^2 \text{det}^{-3}$   
 D.  $\text{kg m det}^{-1}$   
 E.  $\text{kg m}^2 \text{det}^{-1}$

**Pembahasan CERDAS:**

**Perhatikan!**

Rumus energi potensial

$$E_p = mgh$$

$$E_p = mgh = \text{kg m/det}^2 \text{m} = \text{kg m}^2 \text{det}^{-2}$$

----- **Jawaban: B**

2. Dalam sistem SI, tekanan gas dinyatakan dalam ....

A. atm  
 B. N/m  
 C.  $\text{N/m}^2$   
 D. cm Hg  
 E. ton

**Pembahasan CERDAS:**

Tekanan diartikan sebagai gaya per satuan luas. Jika dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

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

Gaya memiliki satuan newton, sedangkan luas memiliki satuan  $\text{m}^2$ . Oleh karena itu, satuan dari tekanan adalah  $\text{N/m}^2$

----- **Jawaban: C**

3. Dari kelompok besaran di bawah ini yang termasuk besaran dasar (pokok) dalam satuan SI adalah ....

(1) berat  
 (2) muatan listrik  
 (3) volume  
 (4) suhu

**Pembahasan CERDAS:**

Besaran pokok terdiri dari panjang, massa, waktu, suhu, kuat arus, intensitas cahaya, jumlah zat. Jadi sesuai pernyataan di atas yang merupakan besaran pokok adalah suhu.

----- **Jawaban: C**

4. Besaran-besaran di bawah ini yang tidak merupakan besaran turunan adalah ....

A. momentum  
 B. kecepatan  
 C. gaya  
 D. massa  
 E. volume

**Pembahasan CERDAS:**

Besaran turunan adalah besaran yang diturunkan dari besaran pokok. Contoh besaran pokok: panjang, massa, waktu, suhu, kuat arus, intensitas cahaya, jumlah zat. Oleh karena itu yang **bukan** merupakan besaran turunan adalah massa.

----- **Jawaban: D**

5. Dua buah gaya yang masing-masing besarnya 5 N bila dipadukan dapat memberikan resultan sebesar 5 N

**SEBAB**

Besar gaya paduan dari dua buah gaya ditentukan oleh sudut yang diapit kedua gaya itu.

**Pembahasan CERDAS:**

Jika kedua buah gaya mengapit sudut  $120^\circ$ , maka besar resultannya adalah:

$$R = \sqrt{5^2 + 5^2 + 2(5)(5) \cos 120^\circ} = 5 \text{ N}$$

**Pernyataan benar**

Resultan gaya dirumuskan

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

Oleh karena itu, besarnya gaya paduan dari dua buah gaya dipengaruhi oleh sudut apit dari kedua gaya.

**Alasan benar**

Pernyataan dan alasan memiliki hubungan sebab akibat

----- **Jawaban: A**

6. Satuan energi dapat dinyatakan dalam ....
- (1) kilowatt jam
  - (2) joule
  - (3) daya kuda-detik
  - (4) elektron volt

**Pembahasan CERDAS:**

Energi dapat dihubungkan dengan daya dikalikan waktu, sehingga satuannya watt sekon, kilowatt jam, atau daya kuda detik. Selain itu, energi juga memiliki satuan joule. Energi juga memiliki satuan elektron volt. Oleh karena itu, sesuai pilihan satuan energi yang tepat adalah (1), (2), (3), dan (4).

----- **Jawaban: E**

7. Sebuah kawat lurus panjang dipanasi salah satu ujungnya. Ternyata, temperatur titik-titik pada kawat itu (dalam °C) bergantung pada jarak dari ujung yang dipanasi menurut persamaan:

$t = t_0 \left( \frac{\alpha}{x} + \beta x^2 \right)$  dengan  $x$  adalah jarak titik yang ditinjau dari ujung yang dipanasi (dalam meter).  $t_0, \alpha, \beta$  tetapan-tetapan. Satuan untuk  $t_0, \alpha, \beta$  berturut-turut adalah ....

- A. °C, meter, dan meter<sup>-2</sup>
- B. °C meter, tak bersatuan, dan meter
- C. °C meter<sup>-1</sup>, meter<sup>2</sup>, dan meter<sup>-1</sup>
- D. °C meter<sup>-1</sup>, meter<sup>2</sup>, dan meter<sup>2</sup>
- E. °C, meter<sup>-1</sup>, dan meter<sup>-2</sup>

**Pembahasan CERDAS:**

Satuan dari  $t_0$  adalah °C. Satuan dari  $\alpha$  dapat ditentukan sebagai berikut

$$\alpha = \frac{t x}{t_0}$$

jika  $x$  memiliki satuan meter, maka satuan dari  $\alpha$  adalah meter.

Adapun satuan dari  $\beta$  dapat ditentukan dengan:

$$\beta = \frac{t}{t_0 x^2}$$

Sehingga satuan dari  $\beta$  adalah meter<sup>-2</sup>.

----- **Jawaban: A**

8. Hasil pengukuran kapasitas panas  $C$  suatu zat padat sebagai fungsi temperatur  $T$  dinyatakan oleh persamaan:

$$C = \alpha T + \beta T^3$$

Satuan untuk  $\alpha$  dan  $\beta$  yang mungkin adalah ....

- A. J untuk  $\alpha$  dan JK<sup>-2</sup> untuk  $\beta$
- B. JK<sup>2</sup> untuk  $\alpha$  dan J untuk  $\beta$
- C. JK untuk  $\alpha$  dan JK<sup>3</sup> untuk  $\beta$
- D. JK<sup>-2</sup> untuk  $\alpha$  dan JK<sup>-4</sup> untuk  $\beta$
- E. J untuk  $\alpha$  dan J untuk  $\beta$

**Pembahasan CERDAS:**

Satuan kalor jenis adalah J/K, sehingga untuk menentukan satuan untuk  $\alpha$  dan  $\beta$  sebagai berikut.

$$C = \alpha T, \text{ maka } \alpha = \frac{C}{T}$$

sehingga satuan dari  $\alpha$  adalah JK<sup>-2</sup>.

Sementara itu,  $C = \beta T^3$ , maka  $\beta = \frac{C}{T^3}$  sehingga satuan  $\beta$  adalah JK<sup>-4</sup>.

----- **Jawaban: D**

9. Dua buah gaya yang memiliki besar  $F$  dihubungkan sehingga terbentuk resultan gaya. Berikut ini yang *bukan* termasuk hasil resultan gaya adalah ....

- A. 0
- B.  $\sqrt{2F}$
- C.  $\sqrt{3F}$
- D.  $2F$
- E.  $3F$

**Pembahasan CERDAS:**

Kemungkinan nilai resultan dua gaya yang memiliki nilai yang sama, yaitu:

- ✓ Bernilai nol jika dua buah gaya tersebut memiliki arah yang berlawanan.
- ✓ Bernilai  $\sqrt{2F}$  jika dua buah gaya tersebut membentuk sudut 90°.
- ✓ Bernilai  $\sqrt{3F}$  jika dua buah gaya tersebut membentuk sudut 60°.
- ✓ Bernilai  $2F$  jika dua buah gaya tersebut searah.

----- **Jawaban: E**

10. Kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu benda bermassa  $m$  dinyatakan oleh persamaan  $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ , dengan  $c$  adalah kalor jenis dan  $\Delta T$  adalah kenaikan suhu.

**SEBAB**

Dimensi kalor jenis adalah  $L^2 T^{-2} \theta^{-1}$ .

**Pembahasan CERDAS:**

Dimensi kalor adalah  $ML^2 T^{-2}$

Dimensi massa adalah  $M$

Dimensi suhu adalah  $\theta$

Kalor dirumuskan melalui persamaan:

$$Q = mc\Delta T$$

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{ML^2 T^{-2}}{M\theta}$$

$$c = L^2 T^{-2} \theta^{-1}$$

Pernyataan pertama benar dan pernyataan kedua juga benar. Akan tetapi keduanya tidak menunjukkan hubungan sebab akibat, sehingga jawaban yang tepat adalah pilihan jawaban B.

----- **Jawaban: B**





## - BAB 2 - Kinematika Gerak

### Rangkuman Materi

Gerak adalah perubahan posisi/tempat benda terhadap sesuatu setiap saat. Benda bergerak artinya:

- 1) tempat benda selalu berubah
- 2) benda mempunyai kecepatan ( $v$ )

#### A. Gerak Lurus

##### 1. Besaran dalam Gerak Lurus

Gerak lurus adalah gerak yang lintasannya berupa garis lurus. Dalam gerak lurus akan dipelajari besaran-besaran, antara lain:

##### a. Perpindahan ( $\Delta s$ )

Perpindahan adalah perubahan posisi awal  $s_0$  hingga posisi akhir garis  $s$ , sehingga berlaku:

$$\Delta s = s - s_0$$

##### b. Kecepatan dan Kelajuan Rata-Rata

Ada dua jenis kecepatan pada gerak lurus, yaitu:

Kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ ):

$$\bar{v} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

Kelajuan rata-rata ( $\bar{v}$ ):

$$\bar{v} = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}} = \frac{s}{t}$$

Kecepatan sesaat ( $v$ ):

$$v = \frac{ds}{dt}$$

##### c. Percepatan

Percepatan adalah perubahan kecepatan benda pada selang waktu tertentu.

Percepatan rata-rata:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

Percepatan sesaat:

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

## 2. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Gerak lurus beraturan adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan kecepatan konstan, sehingga pada gerak lurus beraturan benda tidak mengalami percepatan.

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

Keterangan:

$v$  = kecepatan (m/s)

$s$  = jarak (m)

$t$  = waktu (s)

## 3. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Gerak lurus berubah beraturan adalah gerak benda pada lintasan lurus dengan kecepatan berubah secara beraturan, sehingga percepatan benda konstan.

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

$$v_t = v_0 + a t$$

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 a s$$

Keterangan:

$v_t$  = kecepatan akhir (m/s)

$v_0$  = kecepatan awal (m/s)

$a$  = percepatan ( $\text{m/s}^2$ )

$s$  = jarak (m)

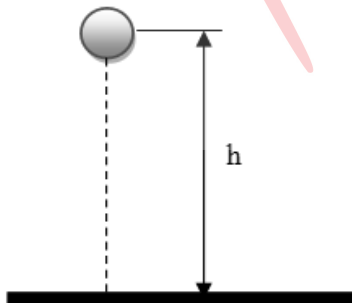
$t$  = waktu (s)

Jika disajikan dalam grafik kecepatan ( $v$ ) terhadap waktu ( $t$ ) akan diperoleh nilai:

$$s = \int_{t_0}^t v \, dt$$

Akibatnya, nilai  $s$  dinyatakan sebagai luas kurva pada selang waktu tertentu

## 4. Gerak Jatuh Bebas



Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh benda tanpa adanya kecepatan awal, sehingga berlaku:

a. Tanpa kecepatan awal

$$v_0 = 0$$

b. Kecepatan benda saat mencapai permukaan tanah ( $v_t$ )

$$v_t = \sqrt{2gh}$$

c. Waktu hingga mencapai tanah ( $t$ )

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Keterangan:

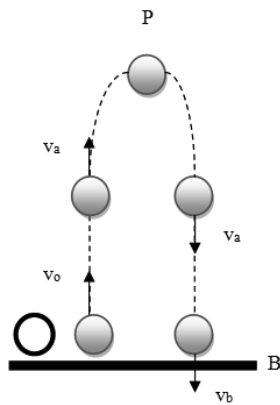
$h$  = ketinggian benda (m)

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )

## 5. Gerak Vertikal

Gerak vertikal secara umum dibedakan menjadi dua macam, yaitu:

a. Gerak Vertikal ke Atas



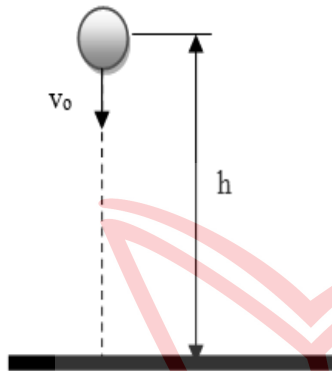
Kecepatan awal ( $v_0$ ) arah ke atas, sehingga berlaku persamaan:

$$v_t = v_0 - gt$$

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

$$h_t = h_0 + v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$$

#### b. Gerak Vertikal ke Bawah



Kecepatan awal ( $v_0$ ) arah ke bawah, sehingga berlaku persamaan:

$$v_t = v_0 + gt$$

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

$$h_t = h_0 - v_0 t - \frac{1}{2} gt^2$$

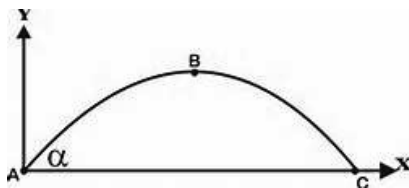
Keterangan:

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

$h_t$  = ketinggian benda akhir (m)

$h_0$  = ketinggian benda mula-mula (m)

### B. Gerak Parabola



Gerak Parabola merupakan perpaduan antara gerak lurus beraturan yang arahnya searah sumbu x dan gerak vertikal yang arahnya searah sumbu y. Perpaduan gerak mengakibatkan lintasan benda berbentuk parabola seperti gambar berikut:

Besaran	Arah sumbu x	Arah sumbu y
Kecepatan awal	$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$	$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$
Kecepatan sesaat	$v_x = v_0 \cos \alpha$	$v_y = v_0 \sin \alpha - gt$
		$v_y^2 = v_0^2 \sin^2 \alpha - 2gh$



Posisi	$x = v_0 \cos \alpha \ t$	$y = v_0 \sin \alpha \ t - \frac{1}{2}gt^2$
--------	---------------------------	---

1. Ketinggian Maksimum ( $h_{\text{maks}}$ )

Benda berada pada posisi B, di mana  $v_y = 0$  sehingga berlaku:

$$h_{\text{maks}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

2. Waktu yang dibutuhkan hingga  $h_{\text{maks}}$

$$t_{AB} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

3. Jarak Maksimum ( $x_{\text{maks}}$ )

Jarak benda dari A hingga C, sehingga berlaku:

$$x_{\text{maks}} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

4. Waktu yang dibutuhkan hingga  $x_{\text{maks}}$

$$t_{AC} = 2t_{AB} = \frac{2 v_0 \sin \alpha}{g}$$

## C. Gerak Melingkar

1. Besaran dalam Gerak Melingkar

Dalam gerak melingkar juga akan dipelajari besaran-besaran yang mirip dengan gerak lurus, antara lain:

a. Perpindahan Sudut ( $\Delta\theta$ )

Perpindahan sudut adalah sudut yang disapu oleh sebuah garis radial mulai dari posisi awal garis  $\theta_0$  hingga posisi akhir garis  $\theta$ , sehingga berlaku:

$$\Delta\theta = \theta - \theta_0$$

Konversi satuan sudut

$$1 \text{ putaran} = 360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = \frac{180}{\pi} \text{ putaran} = 57,296^\circ$$

b. Kecepatan Sudut Rata-Rata dan Sesaat

Ada dua jenis kecepatan pada gerak melingkar, yaitu:

**Kecepatan sudut rata-rata ( $\bar{\omega}$ )**

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta - \theta_0}{t - t_0}$$

**Kecepatan Sudut Sesaat ( $\omega$ )**

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

### c. Percepatan Sudut

Percepatan sudut adalah perubahan kecepatan sudut benda dalam selang waktu tertentu dalam gerak melingkar.

#### Percepatan Sudut Rata-Rata

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

#### Percepatan Sudut Sesaat

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

#### Hubungan percepatan sudut ( $\alpha$ ) dan percepatan linier ( $a$ )

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

dengan  $r$  = jari-jari lingkaran (m)

## 2. Gerak Melingkar Beraturan

Gerak melingkar beraturan (GMB) dapat didefinisikan sebagai gerak benda pada lintasan berupa lingkaran dengan kecepatan sudut tetap. Dalam gerak melingkar beraturan, ada beberapa istilah, yaitu:

### a. Frekuensi dan Periode

Frekuensi ( $f$ ) adalah banyaknya putaran dalam tiap detik, besarnya:

$$f = \frac{n}{t}$$

Periode ( $T$ ) adalah waktu yang diperlukan untuk berotasi satu putaran, besarnya:

$$T = \frac{t}{n}$$

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

Keterangan:

$f$  = frekuensi (Hz)

$n$  = jumlah putaran

$t$  = waktu (s)

$T$  = periode (s)

### b. Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut adalah besarnya sudut yang ditempuh tiap satuan waktu. Persamaan kecepatan sudut dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$v = \omega R$$

Keterangan:

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$v$  = kecepatan linier (m/s)

$R$  = jari-jari lintasan (m)

Beberapa satuan dari kecepatan sudut antara lain:

1 putaran/sekon =  $2\pi$  rad/s

1 rps (rotasi per sekon) =  $2\pi$  rad/s

1 rpm (rotasi per menit) =  $\frac{1}{30} \pi$  rad/s

**c. Percepatan Sentripetal**

Percepatan sentripetal adalah percepatan benda yang bergerak melingkar yang memiliki arah menuju ke pusat. Besarnya percepatan sentripetal dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

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

Keterangan:

$a_s$  = percepatan sentripetal ( $\text{m/s}^2$ )

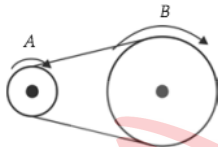
**d. Percepatan Total**

Percepatan total merupakan resultan dari percepatan linier/percepatan tangensial ( $a_t$ ) dengan percepatan sentripetal ( $a_s$ ), sehingga memenuhi persamaan:

$$a_{\text{total}} = \sqrt{a_t^2 + a_s^2}$$

**e. Hubungan roda-roda dalam gerak melingkar beraturan**

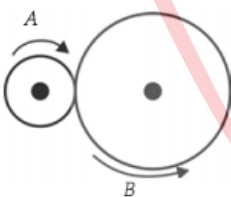
1) Jika dua buah roda dihubungkan dengan tali akan berlaku:



Persamaan yang berlaku:

$$v_A = v_B \text{ sehingga } \omega_A R_A = \omega_B R_B$$

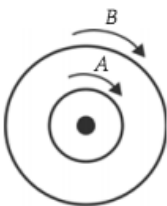
2) Jika dua buah roda bersinggungan dengan tali akan berlaku:



Persamaan yang berlaku:

$$v_A = v_B \text{ sehingga } \omega_A R_A = \omega_B R_B$$

3) Jika dua buah roda dalam satu sumbu putar



Persamaan yang berlaku:

$$\omega_A = \omega_B \text{ sehingga } \frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B}$$

Keterangan:

$v$  = kecepatan linier ( $\text{m/s}$ )

$\omega$  = kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )

$R$  = jari-jari roda ( $\text{m}$ )

## Soal dan Pembahasan

1. Jika kecepatan rata-rata sebuah benda sama dengan nol, maka ....
- benda bergerak dengan kecepatan tetap
  - jarak yang ditempuhnya sama dengan nol
  - benda bergerak bolak-balik
  - perpindahan benda itu sama dengan nol
  - kelajuan rata-rata benda nol

**Pembahasan CERDAS:**

Kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ )

$$\bar{v} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}}$$

Kecepatan rata-rata sama dengan nol jika tidak terjadi perubahan posisi benda atau perpindahan bola sama dengan nol.

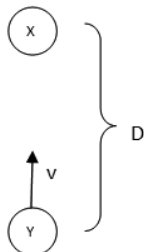
Jawaban: D

2. Bola X yang jatuh bebas dari ketinggian  $D$  bertabrakan dengan bola Y yang dilemparkan ke atas dari tanah dengan kelajuan awal  $v$ . Tabrakan kedua bola berlangsung pada saat  $t = \dots$

- $\sqrt{\frac{D}{2g}}$
- $\sqrt{\frac{2D}{g}}$
- $\frac{2D}{v}$
- $\frac{1D}{2v}$
- $\frac{D}{v}$

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan gambar berikut!



Benda X merupakan gerak jatuh bebas sehingga:

$$h_x = h_0 - \frac{1}{2}gt^2$$

$$h_x = D - \frac{1}{2}gt^2$$

Benda Y bergerak vertikal ke atas

$$h_y = v_0t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$h_y = vt - \frac{1}{2}gt^2$$

dimana  $h_x = h_y$

$$D - \frac{1}{2}gt^2 = vt - \frac{1}{2}gt^2$$

$$D = vt$$

$$t = \frac{D}{v}$$

Jawaban: E

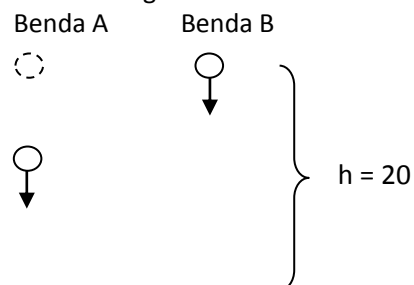
3. Seorang anak menjatuhkan sebuah batu dari ketinggian 20 m. Satu detik kemudian ia melemparkan sebuah batu lain ke bawah. Jika gesekan udara diabaikan, percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , dan kedua batu tersebut mencapai tanah bersamaan, maka kelajuan awal batu kedua adalah ....

- 5 m/s
- 10 m/s
- 15 m/s
- 20 m/s
- 25 m/s

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

Perhatikan gambar berikut!



Ditanyakan:  $v_0$

Jawab:

Waktu A mencapai tanah

$$t_A = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2(20)}{10}} = 2 \text{ s}$$

Jika selisih 1 detik, maka waktu B tersisa

$$t_B = t_A - 1 = 1 \text{ s}$$

Benda B bergerak vertikal ke bawah

$$h_B = h_0 - v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

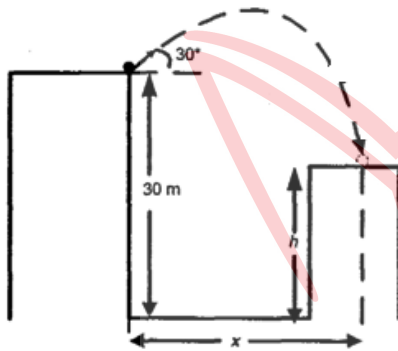
$$0 = 20 - v_0 - 5$$

$$v_0 = 15 \text{ m/s}$$

Jadi, kelajuan awal batu kedua adalah 15 m/s.

-----Jawaban: C

4. Sebuah batu dilempar dari atas tebing setinggi 30 m dengan kecepatan 20 m/s berarah  $30^\circ$  terhadap horizontal seperti pada gambar berikut!



Batu mendarat di tebing lain setinggi  $h$  setelah 3 s. Jika  $x$  adalah jarak antara posisi melempar dengan posisi mendarat, maka perbandingan  $h$  dan  $x$  adalah ....

- A.  $1 : 2\sqrt{3}$
- B.  $2\sqrt{3} : 1$
- C.  $3 : 2\sqrt{3}$
- D.  $2\sqrt{3} : 3$
- E.  $1 : 2$

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$v_0 = 20 \text{ m/s}$$

$$h = 30 \text{ m}$$

$$\alpha = 30^\circ$$

Ditanyakan:  $h : x$

Jawab:

Kecepatan awal terhadap arah x

$$v_x = v_0 \cos \alpha$$

$$v_x = 20 \cos 30^\circ = 10\sqrt{3} \text{ m/s}$$

Posisi pada x

$$x = v_x t = 10\sqrt{3} (3) = 30\sqrt{3} \text{ m}$$

Kecepatan awal terhadap arah y

$$v_y = v_0 \sin \alpha$$

$$v_y = 20 \sin 30^\circ = 10 \text{ m/s}$$

Posisi pada y = h

$$y = h_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$h = 30 + 20(3) - \frac{1}{2} (10)(3)^2$$

$$h = 45 \text{ m}$$

Perbandingan:

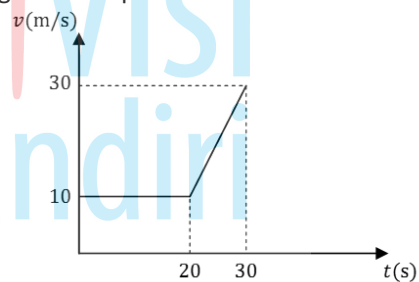
$$h : x = 45 : 30\sqrt{3}$$

$$h : x = 3 : 2\sqrt{3}$$

Jadi, perbandingan  $h : x = 3 : 2\sqrt{3}$ .

-----Jawaban: C

5. Gerakan sebuah mobil digambarkan oleh grafik kecepatan-waktu berikut.



Percepatan ketika mobil bergerak semakin cepat adalah ....

- A.  $0,5 \text{ m/s}^2$
- B.  $1,0 \text{ m/s}^2$
- C.  $1,5 \text{ m/s}^2$
- D.  $2,0 \text{ m/s}^2$
- E.  $3,0 \text{ m/s}^2$

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$t_0 = 0$$

$$v_0 = 10 \text{ m/s}$$

$$t_1 = 20 \text{ s}$$

$$v_1 = 10 \text{ m/s}$$

$$t_2 = 30 \text{ s}$$

$$v_2 = 30 \text{ m/s}$$

Jawab:

Pada saat  $t = 0$  sampai  $t = 20$  s, mobil melakukan gerak lurus beraturan sehingga percepatan sama dengan nol ( $a = 0$ ).

Mobil mengalami percepatan pada  $t = 20$  s sampai  $t = 30$  s.

Percepatan adalah perubahan kecepatan tiap satuan waktu, dirumuskan dengan:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t - t_0}$$

Percepatan yang dialami mobil:

$$\begin{aligned} a &= \frac{30 \text{ m/s} - 10 \text{ m/s}}{30 \text{ s} - 20 \text{ s}} \\ &= \frac{20 \text{ m/s}}{10 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

Jadi, saat mobil bergerak semakin cepat mobil mengalami percepatan sebesar  $2 \text{ m/s}^2$ .

-----Jawaban: D

6. Sebuah benda bergerak melingkar dengan kecepatan sudut bertambah besar. Pada waktu  $t$ , sudut  $\theta$  yang ditempuh oleh benda dengan kecepatan sudut  $\omega$  adalah sebagai berikut:

$t \text{ (s)}$	$\theta \text{ (rad)}$	$\omega \text{ (rad s}^{-1}\text{)}$
2	14	11
4	44	19
6	90	27
8	152	35

Besar percepatan sudut benda adalah ...

- A.  $4,5 \text{ rad s}^{-2}$  saat  $t = 6$  s dan berkurang secara bertahap  
B. Konstan  $4 \text{ rad s}^{-2}$   
C. Konstan  $8 \text{ rad s}^{-2}$   
D.  $15 \text{ rad s}^{-2}$  saat  $t = 8$  s dan bertambah dengan pertambahan tetap  
E.  $4,5 \text{ rad s}^{-2}$  saat  $t = 6$  s dan bertambah secara bertahap

**Pembahasan CERDAS:**

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{19-11}{2} = 4 \text{ rad/s}^2$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{27-19}{2} = 4 \text{ rad/s}^2$$

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{35-27}{2} = 4 \text{ rad/s}^2$$

-----Jawaban: B

7. Sebuah batu dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal  $30 \text{ m/s}$  dari puncak sebuah gedung yang tingginya  $80 \text{ m}$ . Jika besar percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , maka waktu yang diperlukan batu untuk mencapai dasar gedung adalah ....

- A.  $12 \text{ s}$   
B.  $10 \text{ s}$   
C.  $9 \text{ s}$   
D.  $8 \text{ s}$   
E.  $7 \text{ s}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$v_0 = 30 \text{ m/s}$$

$$h = 80 \text{ m}$$

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

Ditanyakan:  $t$

Jawab:

Gunakan persamaan gerak vertikal ke atas, dimana:

$$v_0 = 30 \text{ m/s}$$

$$h_0 = 80 \text{ m}$$

$$h_t = 0 \text{ permukaan tanah, maka:}$$

$$h_t = h_0 + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$0 = 80 + 30t - 5t^2$$

$$0 = 16 + 6t - t^2$$

$$(-t + 8)(t + 2) = 0$$

$$t = 8 \text{ sekon}$$

Jadi, waktu yang diperlukan batu untuk mencapai dasar adalah  $8 \text{ s}$ .

-----Jawaban: D

8. Sebuah benda dilempar vertikal ke atas dari permukaan tanah. pernyataan berikut yang benar adalah ....

- A. Percepatan gravitasi berubah arah ketika benda jatuh  
B. Waktu tempuh hingga mencapai tinggi maksimum tidak tergantung percepatan gravitasi  
C. Kecepatan saat tiba di tanah sama dengan kecepatan awal

- D. Tinggi maksimum ditentukan oleh laju awal dan percepatan gravitasi  
 E. Pada ketinggian yang sama, kecepatan benda selalu sama

**Pembahasan CERDAS:**

Pada gerak vertikal ke atas berlaku:

- 1) Percepatan gravitasi arahnya selalu ke bawah
- 2) Waktu hingga tinggi maksimum ditentukan oleh percepatan gravitasi
- 3) Kecepatan awal benda akan sama dengan kecepatan benda saat tiba di tanah
- 4) Tinggi maksimum ditentukan oleh laju awal kuadrat dan percepatan gravitasi
- 5) Pada ketinggian yang sama, belum tentu memiliki kecepatan yang sama karena tergantung percepatan gravitasinya juga

-----**Jawaban: C**

9. Seorang sopir sedang mengendarai mobil yang bergerak dengan kecepatan tetap 25 m/s. Ketika sopir melihat seorang anak yang tiba-tiba menyeberang jalan, diperlukan waktu 0,10 s bagi sopir untuk bereaksi dan mengerem. Akibatnya, mobil melambat dengan percepatan tetap 5,0 m/s<sup>2</sup> dan berhenti. Jarak total yang ditempuh mobil tersebut sejak sopir melihat anak menyeberang hingga mobil berhenti adalah ....
- A. 37 m  
 B. 11 m  
 C. 38 m  
 D. 48 m  
 E. 65 m

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

Pada posisi A ke B benda bergerak lurus beraturan (kecepatan konstan)

$$t = 0,1 \text{ s}$$

$$s_{AB} = v_0 t$$

$$s_{AB} = 25 (0,1) = 2,5 \text{ m}$$

Pada posisi B ke C, mobil bergerak lurus berubah beraturan dengan perlambatan tetap.

$$a = 5 \text{ m/s}^2$$

Ditanyakan: s

Jawab:

$$v_t^2 = v_0^2 - 2as_{BC}$$

Di mana  $v_t = 0$  (berhenti), maka:

$$0 = 25^2 - 2(5)s_{BC}$$

$$s_{BC} = 62,5 \text{ m}$$

Sehingga:

$$\text{Jarak total } s = s_{AB} + s_{BC}$$

$$s = 2,5 + 62,5 = 65 \text{ m}$$

Jadi, jarak total yang ditempuh mobil adalah 65 m.

-----**Jawaban: E**

10. Dari keadaan diam, benda tegar melakukan gerak rotasi dengan percepatan sudut 15 rad/s<sup>2</sup>. Titik A berada pada benda tersebut berjarak 10 cm dari sumbu putar. Tepat setelah benda berotasi selama 0,4 sekon, A mengalami percepatan total sebesar ....
- A. 1,5 m/s<sup>2</sup>  
 B. 2,1 m/s<sup>2</sup>  
 C. 3,6 m/s<sup>2</sup>  
 D. 3,9 m/s<sup>2</sup>  
 E. 5,1 m/s<sup>2</sup>

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$\alpha = 15 \text{ rad/s}^2$$

$$R = 10 \text{ cm}$$

$$t = 0,4 \text{ s}$$

Ditanyakan:  $a_{\text{total}}$

Jawab:

Percepatan total

$$a_{\text{total}} = \sqrt{a_{\text{linier}}^2 + a_{\text{sp}}^2}$$

Di mana  $a_{\text{linier}} = \alpha R = 15 \cdot 0,1 = 1,5 \text{ m/s}^2$  jika

$$\omega_t = \omega_0 + \alpha t = 0 + 15 (0,4) = 6 \text{ rad/s, maka:}$$

$$v = \omega R = 6 (0,1) = 0,6 \text{ m/s}$$

$$a_{\text{sp}} = \frac{v^2}{R} = \frac{0,6^2}{0,1} = 3,6 \text{ m/s}^2$$

Sehingga:

$$a_{\text{total}} = \sqrt{1,5^2 + 3,6^2} = 3,9 \text{ m/s}^2$$

-----**Jawaban: D**





## - BAB 3 - Dinamika

### Rangkuman Materi

#### A. Hukum Newton Tentang Gerak

Hukum Newton dibagi menjadi tiga, yaitu hukum I Newton, hukum II Newton, dan hukum III Newton. Berikut ini penjelasan tentang hukum Newton.

##### 1. Hukum I Newton

Hukum I Newton berbunyi, "jika resultan gaya pada suatu benda sama dengan nol, maka benda mula-mula diam akan senantiasa diam, sedangkan benda yang mula-mula bergerak akan terus bergerak dengan kecepatan tetap".

$$\Sigma F = 0$$

Hukum I Newton digunakan untuk benda diam atau benda bergerak lurus. Hukum I Newton juga menggambarkan bahwa benda akan cenderung mempertahankan keadaan diam atau keadaan geraknya. Sifat benda yang cenderung mempertahankan keadaan geraknya disebut kelembaman atau inersia (kemalasan). Oleh karena itu, hukum I Newton disebut juga sebagai hukum kelembaman atau hukum inersia. Ukuran kuantitas kelembaman benda adalah besaran massa. Semakin besar massa benda, semakin besar kelembaman suatu benda.

##### 2. Hukum II Newton

Hukum II Newton berbunyi, "percepatan yang dihasilkan oleh resultan gaya yang bekerja pada suatu benda berbanding lurus dengan resultan gaya dan berbanding terbalik dengan massa benda". Secara matematis hukum II Newton dinyatakan sebagai

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

Keterangan:

$\Sigma F$  : resultan gaya (Newton)

$m$  : massa benda (kg)

$a$  : percepatan benda ( $m/s^2$ )

##### 3. Hukum III Newton

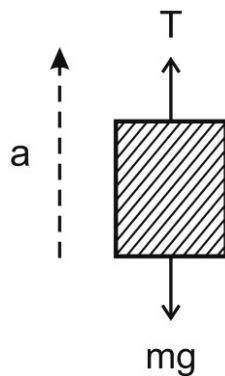
Hukum III Newton berbunyi, "jika A mengerjakan gaya pada B, maka B akan mengerjakan gaya pada A yang besarnya sama, tetapi arahnya berlawanan". Secara matematis hukum III Newton dinyatakan sebagai berikut.

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

##### 4. Penerapan Hukum Newton

###### a. Benda digantungkan dengan tali dan digerakkan

- 1) Digerakkan ke atas dengan percepatan  $a$ , persamaannya sebagai berikut.

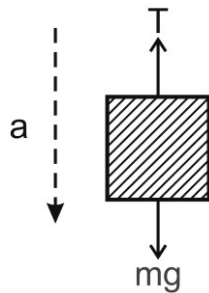


$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ T - mg &= ma \\ T &= mg + ma\end{aligned}$$

Keterangan:

T = tegangan tali (N)  
m = massa benda (kg)  
g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )  
a = percepatan ( $m/s^2$ )

- 2) Digerakkan ke bawah dengan percepatan a, persamaannya sebagai berikut.

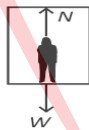


$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ mg - T &= ma \\ T &= mg - ma\end{aligned}$$

#### b. Orang yang berada di lift

- 1) Lift dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatannya konstan, maka akan berlaku persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma F &= 0 \\ N - W &= 0 \\ N &= W\end{aligned}$$



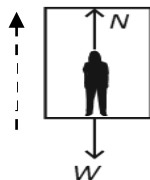
- 2) Lift dipercepat ke bawah akan berlaku persamaan berikut.

$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ W - N &= ma \\ N &= W - ma \\ N &= mg - ma\end{aligned}$$

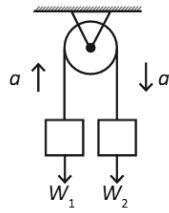


- 3) Lift dipercepat ke atas

$$\begin{aligned}\Sigma F &= ma \\ N - W &= ma \\ N &= W + ma\end{aligned}$$



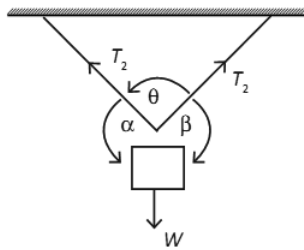
**c. Benda yang digantungkan dengan seutas tali melalui katrol**



Benda yang digantungkan dengan seutas tali melalui katrol dengan massa tali dan massa katrol tidak diperhitungkan serta  $w_2 > w_1$ , maka percepatan bendanya adalah sebagai berikut.

$$a = \frac{w_2 - w_1}{m_1 + m_2}$$

**d. Benda yang digantung dengan dua utas tali dalam keadaan setimbang**



Benda yang digantung dengan seutas tali dalam keadaan setimbang dan membentuk sudut tertentu terhadap benda akan berlaku persamaan berikut:

$$\frac{T_1}{\sin \alpha} = \frac{T_2}{\sin \beta} = \frac{w}{\sin \theta}$$

---

**B. Kelembaman, Massa, dan Berat**

---

Kelembaman adalah sifat benda yang tidak mengubah keadaannya sehingga sukar bergerak. Setiap benda mempunyai massa. Hubungan antara massa dan berat adalah sebagai berikut.

$$w = mg$$

Keterangan:

$w$  = berat benda (newton)

$m$  = massa benda (kilogram)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

---

**C. Gaya Normal dan Gaya Gesekan**

---

Gaya normal adalah gaya yang ditimbulkan oleh alas bidang saat benda ditempatkan. Gaya normal arahnya tegak lurus terhadap bidang tersebut. Adapun gaya gesek adalah gaya yang ditimbulkan akibat sentuhan langsung antara dua permukaan. Gaya gesek arahnya selalu berlawanan dengan arah gerak benda. Gaya gesekan dibagi menjadi dua macam, yaitu:

- 1) Gaya gesek statis ( $f_s$ ), yaitu gaya gesekan yang bekerja pada benda ketika benda dalam keadaan diam.
- 2) Gaya gesek kinetik ( $f_k$ ), yaitu gaya gesekan yang bekerja pada benda ketika benda mengalami pergerakan.

Gerak atau diamnya suatu benda diperoleh berdasarkan beberapa aturan, yaitu:

- 1) Jika  $F < f_s$ , maka benda dalam keadaan diam.
- 2) Jika  $F = f_s$ , maka benda tepat akan bergerak
- 3) Jika  $F > f_s$ , maka benda bergerak dan gaya gesekan statis  $f_s$  berubah menjadi  $f_k$ .

Gaya gesekan dipengaruhi oleh gaya normal ( $N$ ) dan koefisien gaya gesek ( $\mu$ ). Hubungan antara gaya gesek, gaya normal, dan koefisien gaya gesek dituliskan sebagai berikut.

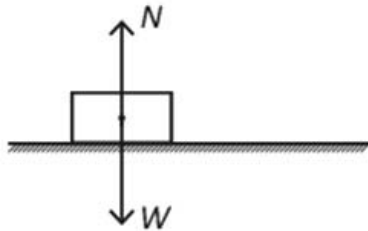
1) Gaya gesek statis:

$$f_s = \mu_s N$$

2) Gaya gesek kinetis

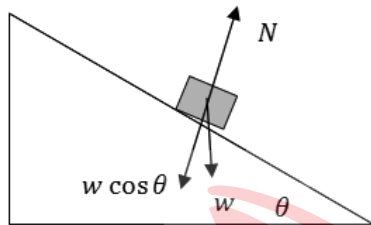
$$f_k = \mu_k N$$

Koefisien gesekan bernilai antara 0 sampai 1. Koefisien gesek jika bernilai 0 berarti bidang yang dilewati licin sempurna. Sementara itu, jika koefisien gesek sama dengan 1, maka bidang yang dilewati sangat kasar.



Jika sebuah balok yang beratnya  $w$  diletakkan pada bidang datar dan balok tidak dipengaruhi gaya luar, maka besar gaya normal tersebut adalah:

$$N = w$$



Jika sebuah balok yang massanya  $m$  berada pada bidang miring licin yang memiliki sudut kemiringan  $\theta$ , maka besarnya gaya normal dapat ditentukan dengan persamaan:

$$N = w \cos \theta$$

---

#### D. Hukum Gravitasi Newton

---

Hukum gravitasi Newton berbunyi: "Gaya gravitasi antara dua benda berbanding lurus dengan massa setiap benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya". Hukum tersebut apabila dituliskan dalam suatu persamaan sebagai berikut.

$$F_{12} = F_{21} = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

Keterangan:

$F_{12} = F_{21}$ : gaya tarik menarik antara kedua benda (N)

$G$ : tetapan umum gravitasi =  $6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

$m_1$ : massa benda 1 (kg)

$m_2$ : massa benda 2 (kg)

$r$ : jarak antara kedua benda (m)

Ruang di sekitar benda bermassa yang menyebabkan benda lain mengalami gaya gravitasi dinamakan sebagai medan gravitasi. Sementara itu, kuat medan gravitasi diartikan sebagai gaya yang bekerja pada satuan massa yang terjadi dalam medan gravitasi. Kuat medan gravitasi jika ditulis dalam persamaan matematis seperti berikut.

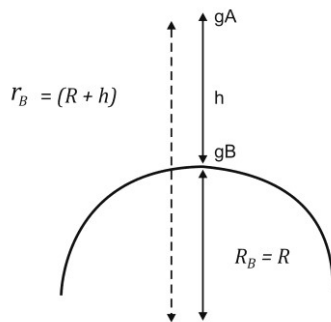
$$g = \frac{F}{m} = \frac{GM}{r^2}$$

Keterangan:

$M$  = massa benda yang menghasilkan percepatan gravitasi (kg)

$r$  = jarak titik ke pusat massa (kg)

### 1. Percepatan gravitasi pada ketinggian tertentu di atas permukaan bumi



$$\frac{g_A}{g_B} = \left( \frac{R}{R+h} \right)^2$$

Keterangan:

$g_A$  = percepatan gravitasi pada permukaan bumi

$g_B$  = percepatan gravitasi pada ketinggian  $h$  di atas permukaan bumi.

$r$  = jari-jari bumi

### 2. Perbandingan percepatan gravitasi dua buah planet

Perbandingan percepatan gravitasi antara sebuah planet ( $g_p$ ) dengan percepatan gravitasi bumi ( $g_b$ ) yang dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{g_p}{g_b} = \frac{m_p}{m_b} \left( \frac{R_b}{R_p} \right)^2$$

### 3. Hukum Kepler tentang planet

#### 1) Hukum I Kepler

“Semua planet bergerak pada lintasan elips mengitari matahari dengan matahari berada di salah satu fokus elips”

#### 2) Hukum II Kepler

“Suatu garis khayal yang menghubungkan matahari dengan planet menyapu luas juring yang sama dalam selang waktu yang sama”

#### 3) Hukum III Kepler

“Perbandingan kuadrat periode terhadap pangkat tiga dari setengah sumbu panjang elips adalah sama untuk semua planet”. Hukum III Kepler jika ditulis dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{konstan}$$

Keterangan:

$T$  = periode revolusi

$R$  = jari-jari rata-rata orbit planet

---

## E. Gaya Pegas

---

### 1. Tegangan, Regangan, dan Modulus Elastik

#### a. Tegangan

Tegangan dapat diartikan sebagai perbandingan antara gaya yang diberikan dengan luas penampang benda. Tegangan dapat menentukan perubahan panjang benda ketika ditarik.

$$\text{Tegangan} = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

$F$  = gaya (Newton)

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

b. Regangan

Regangan diartikan sebagai perbandingan antara perubahan panjang dan panjang mula-mula. Jika regangan dituliskan dalam persamaan matematis akan dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Regangan} = \frac{\Delta l}{l}$$

Keterangan:

$\Delta l$  = perubahan panjang (m)

$l$  = panjang mula-mula (m)

c. Modulus Elastik

Modulus elastik dapat dikatakan sebagai modulus Young. Jika gaya diberikan kepada benda, maka ada kemungkinan bentuk benda akan berubah. Reaksi benda terhadap gaya yang diberikan dan diketahui nilai besarnya disebut sebagai modulus elastik. Modulus elastik merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan. Modulus elastik  $Y$  jika dirumuskan sebagai berikut.

$$Y = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} \\ Y = \frac{F/A}{\Delta l/l} = \frac{F l}{\Delta l A}$$

## 2. Hukum Hooke dan Energi Potensial Pegas

Menurut Hooke, pertambahan panjang pegas berbanding lurus dengan gaya yang diberikan pada benda. Secara matematis hukum Hooke dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F = kx$$

Keterangan:

$F$  = gaya (newton)

$k$  = konstanta pegas (N/m)

$x$  = pertambahan panjang (m)

Pegas dapat disusun secara seri, paralel, maupun campuran antara seri dan paralel. Pegas yang tersusun baik secara seri, paralel, maupun campuran akan diketahui konstanta pegas total.

a. Pegas tersusun secara seri

$$\frac{1}{k_{\text{tot}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$$

b. Pegas tersusun secara paralel

$$k_{\text{tot}} = k_1 + k_2 + \dots + k_n$$

Suatu pegas apabila melakukan pergerakan terus menerus, maka pegas akan memiliki energi yang dinamakan sebagai energi potensial pegas. Energi potensial pegas dirumuskan sebagai berikut.

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 \text{ atau } E_p = \frac{1}{2} Fx$$

## Soal dan Pembahasan

1. Planet A mengitari sebuah bintang pada lintasan berbentuk lingkaran berjari-jari  $R$  dengan periode  $T$ . Jika planet B mengitari bintang yang sama pada lintasan lingkaran berjari-jari  $4R$ , maka periode edar planet B adalah ....

A.  $T/2$   
 B.  $2T$   
 C.  $4T$   
 D.  $8T$   
 E.  $16T$

### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$T_1 = T, R_1 = R, \text{ dan } R_2 = 4R$$

Ditanyakan:  $T_2$

Jawab:

Hubungan antara periode ( $T$ ) dengan jari-jari ( $R$ ) adalah sebagai berikut.

$$T^2 = R^3$$

Berdasarkan persamaan di atas, maka periode edar planet B dapat ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$$

$$\left(\frac{T}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R}{4R}\right)^3$$

$$\left(\frac{T}{T_2}\right)^2 = \frac{1}{256}$$

$$\frac{T}{T_2} = \frac{1}{16}$$

$$T_2 = 16T$$

Jadi, jawaban yang tepat adalah pilihan jawaban E.

-----Jawaban: E

2. Sebuah kotak diletakkan pada bak mobil terbuka yang mulai bergerak dengan percepatan  $6 \text{ m/s}^2$ . Massa kotak adalah  $40 \text{ kg}$ . Jika koefisien gesekan statik dan kinetik antara lantai bak terbuka dan kotak berturut-turut adalah  $0,8$  dan  $0,5$ , maka gaya gesekan yang diberikan lantai bak terbuka pada kotak adalah sebesar ....

A.  $120 \text{ N}$   
 B.  $160 \text{ N}$   
 C.  $200 \text{ N}$   
 D.  $240 \text{ N}$   
 E.  $320 \text{ N}$

### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

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

$$m = 40 \text{ kg}$$

$$\mu_s = 0,8$$

$$\mu_k = 0,5$$

Ditanyakan:  $f_s$

Jawab:

Diketahui bahwa kotak diletakkan pada bak mobil terbuka yang sedang mulai bergerak sehingga yang berlaku adalah gaya gesek statik.

$$f_s = \mu_s N$$

$$f_s = \mu_s mg$$

$$f_s = (0,8)(40)(10)$$

$$f_s = 320 \text{ N}$$

Jadi, besar gaya gesekan yang diberikan oleh lantai terbuka adalah  $320 \text{ N}$ .

-----Jawaban: E

3. Keadaan berikut yang menyebabkan besar gaya normal yang bekerja pada benda tidak sama dengan berat benda tersebut adalah ....

(1) Benda diam di dasar kolam  
 (2) Benda diam di atas bidang miring  
 (3) Benda berada di lift yang bergerak ke atas dengan percepatan tetap  
 (4) Benda di atas bidang datar, di tarik ke atas tali, tetapi tetap diam

### Pembahasan CERDAS:

$$(1) \Sigma F = 0$$

$$N + F_A - w = 0$$

$$N = w - F_A$$

$$(2) \Sigma F = 0$$

$$N - w \cos \alpha = 0$$

$$N = w \cos \alpha$$

$$(3) \Sigma F = ma$$



$$N - w = ma$$

$$N = w + ma$$

(4)  $\Sigma F = 0$

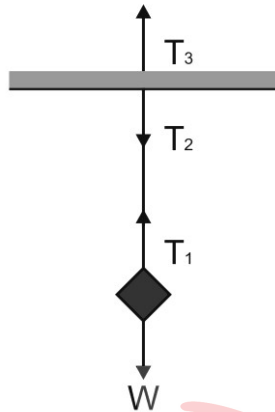
$$N + T - w = 0$$

$$N = w - T$$

Jadi, semua jawaban benar.

-----Jawaban: E

4. Perhatikan gambar berikut!



Sebuah benda digantung dengan seutas tali pada langit-langit suatu ruang. Gaya oleh tali pada langit-langit  $T_2$  merupakan reaksi bagi tegangan tali  $T_1$ .

Sebab

Gaya-gaya  $T_1$  dan  $T_2$  sama besar, tetapi berlawanan arah.

#### Pembahasan CERDAS:

Pernyataan: Salah

Gaya oleh tali pada langit-langit  $T_2$  bukan merupakan reaksi bagi tegangan tali  $T_1$  melainkan reaksi dari  $T_3$ .

Alasan: Benar

Gaya-gaya  $T_1$  dan  $T_2$  sama besar, tetapi berlawanan arah.

-----Jawaban: D

5. Sebuah mobil bermassa 700 kg mogok di jalan mendatar. Kabel horizontal mobil derek memiliki nilai maksimal 1.400 N. Percepatan maksimum yang dapat diterima mobil mogok setelah diderek oleh mobil derek sebesar ....
- A.  $2 \text{ m/s}^2$   
 B.  $4 \text{ m/s}^2$   
 C.  $8 \text{ m/s}^2$

- D.  $10 \text{ m/s}^2$   
 E.  $20 \text{ m/s}^2$

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$m = 700 \text{ kg}$$

$$T = 1.400 \text{ N}$$

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

Ditanyakan: a

Jawab:

$$\Sigma F = ma$$

$$T = ma$$

$$1.400 = 700a$$

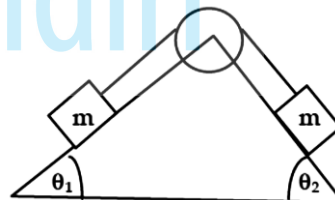
$$a = \frac{1.400}{700}$$

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

Jadi, besar percepatan maksimum mobil adalah  $2 \text{ m/s}^2$ .

-----Jawaban: A

6. Dua balok masing-masing bermassa m dihubungkan dengan seutas tali dan ditempatkan pada bidang miring licin menggunakan sebuah katrol. Jika massa tali dan katrol diabaikan dan sistem bergerak ke kiri, maka besar tegangan tali adalah .....



- A.  $\frac{1}{2} mg(\sin \theta_1 - \sin \theta_2)$   
 B.  $\frac{1}{2} mg(\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$   
 C.  $mg(\sin \theta_1 - \sin \theta_2)$   
 D.  $mg(\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$   
 E.  $2 mg(\sin \theta_1 - \sin \theta_2)$

(SNMPTN 2008)

#### Pembahasan CERDAS:

Percepatan yang dihasilkan oleh pergerakan benda dapat dinyatakan melalui persamaan berikut.

$$a = \frac{w_2 \sin \theta_2 - w_2 \sin \theta_1}{m_1 + m_2} = \frac{mg(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}{2m}$$

$$a = \frac{g(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}{2}$$

Tegangan tali yang diperoleh adalah:

$$w_2 \sin \theta_2 - T = m_2 a$$

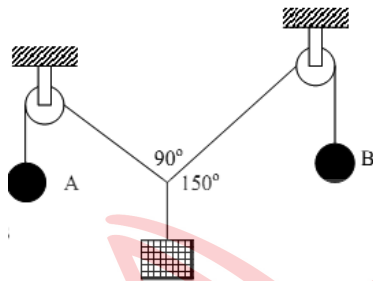
$$mg \sin \theta_2 - T = m \frac{g(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}{2}$$

$$T = \frac{1}{2} mg(\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$$

Jadi, jawaban yang tepat adalah pilihan jawaban B.

-----Jawaban: B

7. Perhatikan gambar berikut!



Pada gambar di atas, sistem dalam keadaan setimbang. Perbandingan massa A dan massa B adalah ....

- A.  $1 : \sqrt{3}$
- B.  $1 : 2$
- C.  $\sqrt{3} : 1$
- D.  $2 : 1$
- E.  $3 : 1$

(SPMB 2002)

#### Pembahasan CERDAS:

Perbandingan antara massa A dan massa B sebagai berikut.

$$\frac{w_A}{m_A} = \frac{w_B}{m_B}$$

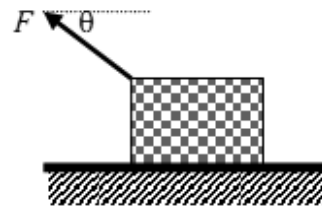
$$\frac{\sin 150^\circ}{0,5} = \frac{\sin 120^\circ}{0,5\sqrt{3}}$$

$$m_A : m_B = 1 : \sqrt{3}$$

Jadi, perbandingan massa Bola A dan B adalah  $1 : \sqrt{3}$

-----Jawaban: A

8. Perhatikan gambar berikut!



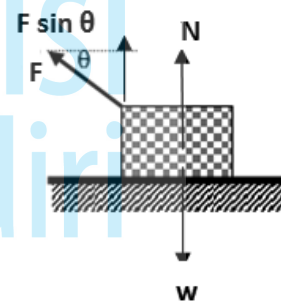
Balok yang beratnya  $w$  ditarik sepanjang permukaan mendatar dengan kelajuan  $v$  oleh gaya  $F$  yang bekerja pada sudut  $\theta$  terhadap horizontal. Besarnya gaya normal yang bekerja pada balok oleh permukaan adalah ....

- A.  $w + F \cos \theta$
- B.  $w + F \sin \theta$
- C.  $w - F \sin \theta$
- D.  $w - F \cos \theta$
- E.  $w$

(UMPTN 2000)

#### Pembahasan CERDAS:

Perhatikan penguraian gaya berikut.



Berdasarkan penguraian gayanya akan diperoleh persamaan gaya normal sebagai berikut.

$$\Sigma F = 0$$

$$N + F \sin \theta - w = 0$$

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

Jadi, jawaban yang tepat adalah pilihan jawaban A.

-----Jawaban: B

9. Planet A dan B masing-masing berjarak rata-rata sebesar  $p$  dan  $q$  terhadap matahari. Planet A mengitari matahari dengan periode  $T$ . Jika  $p = 4q$ , maka B mengitari matahari dengan periode ....

- A.  $\frac{1}{12}T$
- B.  $\frac{1}{10}T$
- C.  $\frac{1}{8}T$
- D.  $\frac{1}{6}T$
- E.  $\frac{1}{4}T$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$R_A = p$$

$$R_B = q$$

$$p = 4q$$

$$T_A = T$$

Ditanyakan:  $T_B$

Jawab:

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{R_A}{R_B}\right)^3$$

$$\left(\frac{T}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{p}{q}\right)^3$$

$$\left(\frac{T}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{4q}{q}\right)^3$$

$$\left(\frac{T}{T_B}\right)^2 = 64$$

$$T_B = \frac{1}{8}T$$

Jadi, planet B akan mengitari matahari dengan periode  $\frac{1}{8}T$ .

-----**Jawaban: C**

- 10.** Sebuah satelit diluncurkan ke atas dengan laju awal  $v$ . Jika gesekan dengan udara diabaikan, massa bumi =  $M$ , massa satelit  $m$ , dan jari-jari bumi =  $R$ , maka agar satelit tidak kembali ke bumi,  $v^2$  berbanding lurus dengan ....

- A.  $\frac{Mm}{R}$
- B.  $\frac{M}{R}$
- C.  $M^2R$
- D.  $MR$
- E.  $MmR$

**Pembahasan CERDAS:**

Kecepatan lepas satelit dituliskan dalam persamaan:

$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$  sehingga  $v^2 = \frac{2GM}{R}$ . Oleh karena itu,  $v^2$  berbanding lurus dengan  $\frac{M}{R}$ .

-----**Jawaban: B**



## - BAB 4 - Usaha dan Energi

### Rangkuman Materi

#### A. Usaha

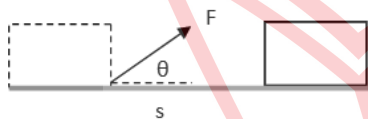
Dalam fisika, usaha ( $W$ ) dapat diartikan sebagai gaya ( $F$ ) yang diberikan oleh seseorang untuk memindahkan benda sejauh  $s$ . Sehingga persamaannya adalah:

$$W = F \cdot s$$

Persamaan tersebut digunakan jika dalam bentuk  $F$  dan  $s$  vektor.

$$\mathbf{F} = a\hat{i} + b\hat{j} + c\hat{k}$$

$$\mathbf{s} = x\hat{i} + y\hat{j} + z\hat{k}$$



Jika suatu gaya  $F$  membentuk sudut  $\theta$ , maka secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

$W$  = usaha yang dilakukan (Joule)

$F$  = gaya yang diberikan (N)

$s$  = perpindahan benda (m)

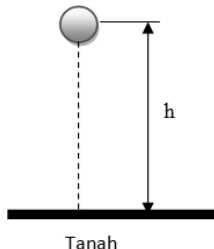
$\theta$  = sudut antara gaya  $F$  dan perpindahan  $s$

#### B. Energi

Energi dalam fisika dapat diartikan kemampuan untuk melakukan usaha. Contoh : energi listrik, energi panas, energi potensial, dan energi kinetik. Berbagai bentuk energi antara lain :

##### 1. Energi Potensial

Energi yang dimiliki benda karena kedudukannya atau posisinya disebut dengan energi potensial.



Secara matematis energi potensial dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$E_p = m g h$$

Keterangan:

$E_p$  = energi potensial (Joule)

$m$  = massa benda (kg)

$g$  = percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

$h$  = ketinggian benda (m)

## 2. Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh benda karena geraknya sehingga setiap benda yang bergerak memiliki energi kinetik.

Secara matematis energi potensial dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Keterangan:

$E_k$  = energi kinetik (Joule)

$m$  = massa benda (kg)

$v$  = kecepatan benda (m/s)

## 3. Energi Listrik

Energi listrik dihasilkan karena aliran arus listrik dan beda potensial dalam selang waktu tertentu.

$$W = V I t$$

Keterangan:

$W$  = energi listrik (Joule)

$V$  = beda potensial listrik (volt)

$I$  = kuat arus listrik (Ampere)

$t$  = selang waktu (sekon)

Satuan energi listrik:

1 Wh = 1 watt jam = 3.600 Joule

1 KWh =  $1 \times 10^3$  watt jam

1 KWh =  $3,6 \times 10^6$  Joule

1 MWh =  $3,6 \times 10^9$  Joule

## 4. Energi Panas

Energi panas sering kali disebut dengan kalor. Energi panas mengakibatkan adanya perubahan suhu pada benda.

$$Q = m c \Delta T$$

$$Q = C \Delta T$$

Keterangan:

$Q$  = energi panas (Joule)

$m$  = massa benda (kg)

$c$  = kalor jenis benda (J/kg K)

$C$  = kapasitas kalor benda (J/K)

$\Delta T$  = selisih suhu benda (K)

Satuan energi panas/kalor

1 kalori = 4,2 Joule

1 Joule = 0,24 kalori

## 5. Energi Potensial Pegas

Energi potensial pegas adalah energi yang dimiliki oleh benda elastis/pegas yang mengalami perubahan panjang. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

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

Keterangan:

$E_{p \text{ pegas}}$  = energi potensial pegas (Joule)

$k$  = konstanta pegas (N/m)

$x$  = perubahan panjang (m)

---

### C. Hubungan Usaha dan Energi Mekanik

---

Usaha dapat dinyatakan sebagai perubahan energi, sehingga diperoleh persamaan berikut.

$$W = \Delta E_p + \Delta E_k$$

Jika hanya terjadi perubahan ketinggian, maka:

$$W = \Delta E_p$$

$$W = m g (h_0 - h_t)$$

Jika hanya terjadi perubahan kecepatan, maka :

$$W = \Delta E_k$$

$$W = \frac{1}{2} m (v_t^2 - v_0^2)$$

Keterangan:

$h_t$  = ketinggian akhir (m)

$h_0$  = ketinggian awal (m)

$v_t$  = kecepatan akhir (m/s)

$v_0$  = kecepatan awal (m/s)

---

### D. Hukum Kekekalan Energi Mekanik

---

Energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan, sehingga berlaku hukum kekekalan energi mekanik.

$$EM_1 = EM_2$$

$$Ek_1 + Ep_1 = Ek_2 + Ep_2$$

Keterangan:

$EM_1$  = Energi mekanik awal (Joule)

$EM_2$  = Energi mekanik akhir (Joule)

$Ek_1$  = Energi kinetik awal (Joule)

$Ep_1$  = Energi potensial awal (Joule)

$Ek_2$  = Energi kinetik akhir (Joule)

$Ep_2$  = Energi potensial akhir (Joule)

---

### E. Daya

---

Daya adalah energi yang digunakan tiap satuan waktu. Secara matematis, daya dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$P = \frac{W}{t}$$

Keterangan:

$P$  = daya (watt)

$W$  = energi yang digunakan (J)

$t$  = waktu penggunaan (s)

Efisiensi Mesin:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \%$$

Keterangan:

$\eta$  = efisiensi mesin

$P_{out}$  = daya keluaran (watt)

$P_{in}$  = daya masukan (watt)

## Soal dan Pembahasan

1. Sebuah benda mengalami getaran selaras dengan amplitudo 40 cm. Jika tenaga potensial pada simpangan terjauh adalah 10 joule, maka tenaga potensial pada simpangan 20 cm adalah ...
- 5 joule
  - 20 joule
  - 2,5 joule
  - 40 joule
  - 100 joule

### Pembahasan CERDAS:

Pada pegas diketahui:

$$A = 40 \text{ cm}$$

$$E_p = 10 \text{ joule}$$

Ditanyakan:  $E_p \rightarrow 20 \text{ cm}$

Jawab: Saat simpangan maksimum (amplitudo)  $A = 40 \text{ cm} = 0,4 \text{ m}$ , dan energi potensial  $E_p = 10 \text{ J}$ , maka:

$$E_p = \frac{1}{2} k A^2$$

$$10 = \frac{1}{2} k (0,4)^2$$

$$k = \frac{1000}{8} = 125 \text{ N/m}$$

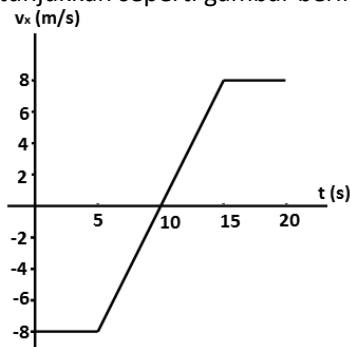
Jika simpangan  $x = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$ , maka:

$$E_p = \frac{1}{2} k x^2 = \frac{1}{2} (125) (0,2)^2 = 2,5 \text{ J}$$

Jadi, besar energi potensial benda saat simpangannya 20 cm adalah 2,5 joule.

-----**Jawaban: C**

2. Sebuah balok bermassa 100 kg ditarik sepanjang sebuah lintasan lurus. Grafik kecepatan balok sebagai fungsi waktu ditunjukkan seperti gambar berikut.



Usaha yang dilakukan oleh resultan gaya yang bekerja pada balok tersebut dari detik ke-10 sampai detik ke-15 adalah ....

- 2.500 J
- 2.750 J
- 3.200 J
- 3.650 J
- 3.750 J

### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$v_0 = -8 \text{ m/s}$$

$$v = 8 \text{ m/s}$$

$$t = 15 \text{ s}$$

Ditanyakan:  $W$

Jawab:

Usaha merupakan perubahan energi kinetik, sehingga persamaannya:

$$W = \Delta E_K$$

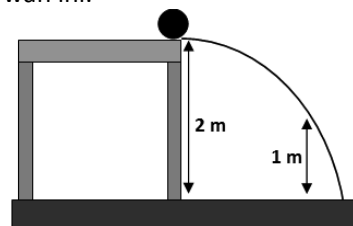
$$W = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2)$$

$$W = \frac{1}{2} 100 (8^2 - 0)$$

$$W = 3.200 \text{ J}$$

-----**Jawaban: C**

3. Suatu partikel dengan massa 1 kg didorong dari permukaan meja hingga kecepatan pada saat lepas dari bibir meja adalah 2 m/s seperti pada gambar di bawah ini.



Energi mekanik partikel saat ketinggiannya 1 meter di atas tanah adalah ....

- 2 J
- 10 J
- 12 J
- 22 J
- 24 J



**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

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

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$h = 1 \text{ m}$$

Ditanyakan:  $E_m$

Jawab:

Berlaku hukum kekekalan energi mekanik  
Energi mekanik saat ketinggian 2 m ( $E_{M_2}$ ) akan sama dengan energi mekanik di ketinggian 1 m ( $E_{M_1}$ ) dari tanah sehingga

$$E_{M_1} = E_{M_2}$$

$$E_{M_1} = E_{P_2} + E_{K_2}$$

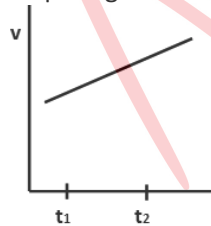
$$E_{M_1} = mgh + \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_{M_1} = 1(10)(2) + \frac{1}{2}(1)(4) = 22 \text{ J}$$

Jadi, energi mekanik partikel saat ketinggiannya 1 meter adalah 22 joule.

-----**Jawaban: D**

4. Grafik laju sebuah benda yang didorong sebuah gaya di atas lantai horizontal ditunjukkan seperti gambar berikut.



Antara  $t_1$  dan  $t_2$  terjadi ....

- A. benda kehilangan energi kinetik
- B. benda mendapat tambahan energi potensial
- C. usaha oleh gaya adalah nol
- D. usaha oleh gaya bernilai negatif
- E. usaha oleh gaya bernilai positif

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan grafik saat  $t_1$  kecepatan benda  $v_1$ , sedangkan saat  $t_2$  kecepatan benda  $v_2$ . Berdasarkan grafik  $v_1 < v_2$ , sehingga:

$$W = \Delta E_K$$

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

Usaha dalam benda ini akan bernilai positif

-----**Jawaban: E**

5. Sebuah mobil bermassa  $m$  memiliki mesin berdaya  $P$ . Jika pengaruh gesekan kecil, maka waktu minimum yang diperlukan mobil agar mencapai kecepatan  $v$  dari keadaan diam adalah.....

- A.  $\frac{mv}{P}$
- B.  $\frac{mv}{2P}$
- C.  $\frac{mv^2}{2P}$
- D.  $\frac{mv^2}{P}$
- E.  $\frac{mv^2}{2P}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$v_0 = 0$$

$$v_t = v$$

Ditanyakan:  $v$

Jawab:

Daya

$$P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta E_K}{t}$$

Jika  $v_0 = 0$  diam, maka:

$$P t = \frac{1}{2}(mv^2 - 0)$$

Waktu yang dibutuhkan:

$$t = \frac{mv^2}{2P}$$

Jadi, waktu yang dibutuhkan supaya kecepatan mobil mencapai  $v$  adalah

$$t = \frac{mv^2}{2P}$$

-----**Jawaban: D**

6. Sebuah pegas dengan konstanta pegas dan sebuah balok bermassa  $m$  membentuk sistem getaran harmonik horizontal tanpa gesekan. Kemudian, pegas ditarik sejauh dari titik setimbang dan dilepaskan. Jika massa pegas diabaikan, maka:

- (1) Pegas bergetar dengan periode tetap
- (2) Energi mekanik total bergantung pada waktu
- (3) Percepatan getaran bergantung pada simpangan ( $x$ )
- (4) Frekuensi getaran tidak bergantung pada  $k$  dan  $t$

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)

**Pembahasan CERDAS:**

(1) Periode pegas:

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

Dari persamaan tersebut, maka periode pegas hanya bergantung pada massa balok ( $m$ ) dan konstanta pegas ( $k$ ), dimana keduanya bernilai konstan (tetap). Jadi, periode pegas juga tetap. Jadi, pernyataan (1) BENAR

(2) Energi mekanik total:

$$E_M = \frac{1}{2} k A^2$$

Nilai energi mekanik selalu konstan, sehingga pernyataan (2) SALAH.

(3) Percepatan getaran bergantung pada  $x$ :

$$\text{Simpangan: } x = A \sin(\omega t)$$

$$\text{Kecepatan: } v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos(\omega t)$$

Percepatan:

$$a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \sin(\omega t) \\ = -\omega^2 x$$

Jadi, benar bahwa percepatan getaran bergantung pada nilai simpangan ( $x$ ).

Sehingga pernyataan (3) BENAR.

(4) Frekuensi getaran pegas:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Dari persamaan tersebut, maka frekuensi getaran pegas bergantung pada massa balok ( $m$ ) dan konstanta pegas ( $k$ ), dimana keduanya bernilai konstan (tetap). Jadi pernyataan (4) SALAH.

Jadi, pernyataan yang benar adalah (1) dan (3).

-----**Jawaban: B**

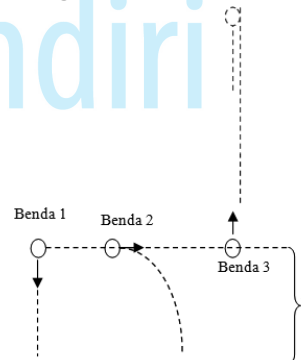
7. Tiga buah peluru ditembakkan pada waktu, ketinggian, dan kelajuan yang sama. Peluru pertama ditembakkan pada arah vertikal ke bawah, peluru kedua pada arah mendatar, dan peluru ketiga vertikal ke atas. Salah satu di antara pernyataan-pernyataan berikut yang benar adalah....

- A. Peluru pertama mencapai tanah paling awal dengan kelajuan paling besar.
- B. Peluru ketiga mencapai tanah paling akhir dengan kelajuan paling kecil.
- C. Peluru pertama mencapai tanah paling awal dengan kelajuan paling kecil.
- D. Peluru ketiga mencapai tanah paling akhir dengan kelajuan paling besar.
- E. Peluru ketiga mencapai tanah paling akhir dengan kelajuan sama dengan kedua peluru yang lain.

(SBMPTN 2014)

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan gambar berikut!

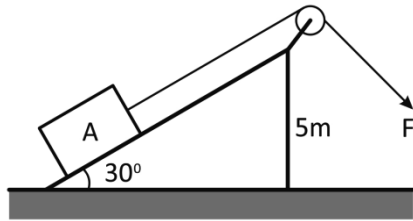


Kecepatan benda 1, 2, dan 3 sama. Berdasarkan gambar tersebut, jarak tempuh benda 3 yang paling jauh sehingga mencapai tanah paling akhir.

Energi mekanik benda 1, 2, dan 3 ketika awal sama sehingga energi kinetik saat tiba di tanah juga sama karena energi potensialnya nol, sehingga kecepatan benda 1, 2, dan 3 sama.

-----**Jawaban: E**

8. Perhatikan gambar berikut!



Balok A dengan berat 100 N bergerak menaiki bidang miring  $30^\circ$  tanpa gesekan oleh tarikan gaya F, sehingga balok tersebut bergerak dengan kelajuan konstan. Besar usaha yang telah dilakukan oleh F saat balok mencapai puncak miring adalah ....

- A. 500 J
- B. 250 J
- C. 0
- D. -250 J
- E. -500 J

(UM-UGM 2010)

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

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

$$\theta = 30^\circ$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$\text{Ditanyakan: } W \rightarrow h = 5 \text{ m}$$

Jawab:

Jika tidak ada gesekan maka usaha yang dilakukan oleh benda dapat digunakan persamaan:

$$W = mg(h_2 - h_1)$$

$$W = w(h_2 - 0)$$

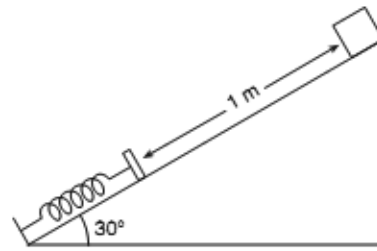
$$W = 100(5)$$

$$W = 500 \text{ J}$$

Jadi, usaha yang telah dilakukan oleh F saat balok mencapai puncak miring sebesar 500 joule.

-----Jawaban: A

9. Yanuar melakukan eksperimen bidang miring dengan sudut kemiringan  $30^\circ$ . Di ujung bawah bidang miring dipasang pegas tambahan seperti gambar berikut.



Kotak kecil bermassa 0,5 kg mula-mula diam kemudian meluncur dan menumbuk pegas sehingga terjadi pemendekan pegas. Jika konstanta pegas sebesar 490 N/m, maka pemendekan pegas maksimum sebesar .... ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )

- A. 1 cm
- B. 2 cm
- C. 5 cm
- D. 7 cm
- E. 10 cm

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui :

$$M = 0,5 \text{ kg}$$

$$s = 1 \text{ m}$$

$$k = 490 \text{ N/m}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Ditanya : x

Jawab :

$$E_{MA} = E_{MB}$$

$$E_{PA} + E_{KA} = E_{PB} + E_{KB}$$

$$mgh_A + \frac{1}{2}mv_A^2 = mgh_B + E_{KB}$$

$$(0,5)(9,8)(1(\sin 30^\circ)) + 0 = 0 + E_{KB}$$

$$2,45 + 0 = 0 + E_{KB}$$

$$E_{KB} = 2,45 \text{ joule}$$

$$E_{MB} = E_{MC}$$

$$E_{PB} + E_{KB} = E_{PC} + E_{KC}$$

$$E_{P\text{ pegas B}} + E_{K\text{ balok B}} = E_{P\text{ balok C}} + E_{K\text{ pegas C}}$$

$$0 + 2,45 = \frac{1}{2}kx^2 + 0$$

$$4,9 = 490x^2$$

$$x^2 = \sqrt{\frac{4,9}{490}}$$

$$x^2 = 1 \times 10^{-1} \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

Jadi, pemendekan pegas maksimumnya adalah 10 cm.

-----**Jawaban: E**

10. Sebuah kelereng dengan massa 10 gram jatuh dari ketinggian 3 meter ke timbunan pasir. Kelereng menembus pasir sedalam 3 cm sebelum berhenti. Besar gaya yang dimiliki pasir pada saat berinteraksi dengan kelereng adalah ...
- A. 1 N
  - B. 3 N
  - C. 6 N
  - D. 8 N
  - E. 10 N

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$m = 10 \text{ gram}$

$h_1 = 3 \text{ m}$

$h_2 = 3 \text{ m}$

Ditanyakan: F

Jawab:

Perubahan energi potensial benda mengakibatkan benda masuk ke dalam pasir

$$W = \Delta E_p$$

$$F s = mg(h_1 - h_2)$$

$$F(3 \times 10^{-2}) = 10^{-2}(10)(3 - 0)$$

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

Jadi, gaya yang dimiliki pasir saat berinteraksi dengan kelereng sebesar 10 N.

-----**Jawaban: E**





## - BAB 5 - Momentum dan Impuls

### Rangkuman Materi

#### A. Impuls

Jika pada suatu benda bekerja gaya  $F$  selama  $t$  detik, maka implus dari gaya itu adalah:

$$I = F \Delta t$$

Keterangan:

$F$  = gaya (N)

$\Delta t$  = selisih waktu (s)

$I$  = impuls (Ns)

Impuls termasuk besaran vektor.

#### B. Momentum

Momentum adalah kecenderungan benda yang bergerak untuk melanjutkan gerakannya pada kelajuan yang konstan. Momentum merupakan besaran vektor yang searah dengan kecepatan benda. Momentum dapat dirumuskan:

$$p = mv$$

Keterangan:

$p$  = momentum (kgm/s)

$m$  = massa benda (kg)

$v$  = kecepatan benda (m/s)

Karena momentum merupakan besaran vektor, maka penjumlahan momentum mengikuti aturan penjumlahan vektor. Jika resultan vektor  $\mathbf{p}_1$  dan  $\mathbf{p}_2$  membentuk sudut  $\alpha$  adalah  $p$ , maka persamaannya sebagai berikut:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2 \cos \alpha}$$

#### Hubungan Impuls dan Momentum

Impuls merupakan perubahan momentum suatu benda yang dinyatakan dalam persamaan.

$$I = \Delta p$$

$$F \Delta t = m(v_t - v_0)$$

Keterangan:

$I$  = impuls (Ns)

$\Delta p$  = perubahan momentum (Ns)

$m$  = massa benda (kg)

$v_t$  = kecepatan akhir (m/s)

$v_0$  = kecepatan awal (m/s)

### C. Hukum Kekekalan Momentum

“Dalam peristiwa tumbukan, momentum total sistem sesaat sebelum tumbukan sama dengan momentum total sistem sesaat sesudah tumbukan, asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem”. Secara matematis dapat ditulis:

$$\begin{aligned}p_{\text{sebelum}} &= p_{\text{sesudah}} \\p_1 + p_2 &= p_1' + p_2' \\m_1 v_1 + m_2 v_2 &= m_1 v_1' + m_2 v_2'\end{aligned}$$

Keterangan:

$p_{\text{sebelum}}$  = momentum sebelum tumbukan

$p_{\text{setelah}}$  = momentum setelah tumbukan

$m_1$  = massa benda pertama

$m_2$  = massa benda kedua

$v_1$  = kecepatan awal benda pertama

$v_2$  = kecepatan awal benda kedua

$v_1'$  = kecepatan akhir benda pertama

$v_2'$  = kecepatan akhir benda kedua

#### Koefisien Restitusi (e)

Koefisien restitusi diartikan sebagai harga negatif dari perbandingan antara beda kecepatan yang bertumbukan sesaat sesudah tumbukan dan sesaat sebelum tumbukan. Koefisien restitusi jika dituliskan dalam persamaan matematis sebagai berikut.

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

Nilai koefisien restitusi, yaitu  $0 \leq e \leq 1$

#### Jenis-Jenis Tumbukan

##### 1. Tumbukan Lenting Sempurna

Apabila tidak ada energi yang hilang selama tumbukan dan jumlah energi kinetik kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan sama, maka tumbukan itu disebut tumbukan lenting sempurna.

1) Berlaku hukum kekekalan momentum

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

2) Berlaku hukum kekekalan energi kinetik

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

3) Koefisien restitusi ( $e$ ) = 1

##### 2. Tumbukan Lenting Sebagian

Pada tumbukan lenting sebagian, beberapa energi kinetik akan diubah menjadi energi bentuk lain seperti panas, bunyi, dan sebagainya. Akibatnya, energi kinetik sebelum tumbukan lebih besar daripada energi kinetik sesudah tumbukan.

1) Berlaku hukum kekekalan momentum

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

2) Tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik

3) Koefisien restitusi ( $e$ ) =  $0 < e < 1$

##### 3. Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, sesudah tumbukan kedua benda bersatu, sehingga kecepatan kedua benda sesudah tumbukan besarnya sama.

$$v_1' = v_2' = v$$

Sehingga:

- 1) Berlaku hukum kekekalan momentum  
 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v'$
- 2) Tidak berlaku hukum kekekalan energi kinetik
- 3) Koefisien restitusi ( $e$ ) = 0

**Koefisien restitusi untuk kasus bola terpental di lantai**

Bola yang dijatuhkan dari ketinggian  $h_1$  sehingga dipantulkan dengan ketinggian  $h_2$  akan mempunyai koefisien elastisitas sebesar

$$e = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

### Soal dan Pembahasan

1. Sebuah bola bermassa 0,3 kg bergerak dengan kecepatan 2 m/s menumbuk bola lain bermassa 0,2 kg yang mula-mula diam. Jika setelah tumbukan bola pertama diam, maka kecepatan bola kedua adalah ....
- A. 6 m/s
  - B. 5 m/s
  - C. 4 m/s
  - D. 3 m/s
  - E. 2 m/s

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$m_1 = 0,3 \text{ kg}$$

$$v_1 = 2 \text{ m/s}$$

$$m_2 = 0,2 \text{ kg}$$

$$v_2 = 0 \text{ m/s}$$

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

Ditanyakan:  $v_2'$

Jawab:

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

$$(0,3)(2) + (0,2)(0) = (0,3)(0) + (0,2)v_2'$$

$$0,6 + 0 = (0,2)v_2'$$

$$v_2' = 3 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan bola kedua adalah 3 m/s.

-----**Jawaban: D**

2. Dua buah benda titik bermassa  $m_1 = 5 \text{ kg}$  dan  $m_2 = 6 \text{ kg}$  terletak berdekatan di bidang datar licin. Sistem ini mendapat

impuls gaya hingga kedua benda bergerak masing-masing dengan kelajuan  $v_1 = 1 \text{ m/s}$  dan  $v_2 = 2 \text{ m/s}$  dengan arah tegak lurus. Besarnya impuls gaya yang bekerja pada sistem adalah ....

- A. 5 Ns
- B. 7 Ns
- C. 12 Ns
- D. 13 Ns
- E. 17 Ns

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$m_1 = 5 \text{ kg}$$

$$v_1 = 1 \text{ m/s}$$

$$m_2 = 6 \text{ kg}$$

$$v_2 = 2 \text{ m/s}$$

Ditanyakan:  $I$

Jawab:

Impuls memiliki nilai sama dengan perubahan momentum. Ketika dua benda yang akan bergerak dan membentuk arah tegak lurus, maka nilai momentumnya dapat dihitung dengan:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \alpha}$$

Jika hal tersebut dihubungkan dengan impuls, maka:

$$I = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1 p_2 \cos \alpha}$$

$$I = \sqrt{m_1 v_1 + m_2 v_2 + 2m_1 v_1 m_2 v_2 \cos \alpha}$$

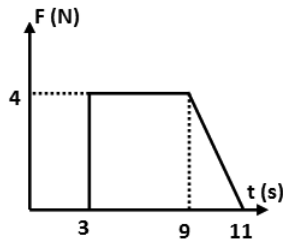
$$I = \sqrt{((5)(1))^2 + ((6)(2))^2 + 2(5)(1)(6)(2) \cos 90^\circ}$$

$$I = \sqrt{25 + 144} = \sqrt{169} = 13 \text{ Ns}$$

Jadi, besar impuls gaya yang bekerja pada sistem sebesar 13 Ns.

-----**Jawaban: D**

3. Perhatikan gambar!



Grafik di atas menyatakan hubungan gaya  $F$  yang bekerja pada benda bermassa 3 kg terhadap waktu  $t$  selama gaya itu bekerja pada benda. Jika benda mula-mula diam, maka kecepatan akhir benda adalah ....

- A. 5 m/s
- B. 10 m/s
- C. 15 m/s
- D. 20 m/s
- E. 25 m/s

**Pembahasan CERDAS:**

Impuls = perubahan momentum

$$I = \Delta p$$

$$F \Delta t = m \Delta v$$

Luas Trapesium =  $m \Delta v$

$$\frac{(6 + 9)(4)}{2} = 3\Delta v$$

$$30 = 3\Delta v$$

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

$$v_t - v_0 = 10 \text{ m/s}$$

$$v_t - 0 = 10 \text{ m/s}$$

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

Jadi, jawaban yang tepat adalah pilihan B.

-----**Jawaban: B**

4. Sebuah benda bermassa 2,5 kg digerakkan mendatar di meja licin dari keadaan diam oleh sebuah gaya mendatar  $F$  yang berubah terhadap waktu menurut persamaan  $F = 80 + 5t$ , dengan  $t$  dalam sekon dan  $F$  dalam Newton. Pada saat  $t = 2$  sekon, maka ....

- (1) kecepatan benda 68 m/s
- (2) percepatan benda  $36 \text{ m/s}^2$
- (3) momentum benda  $170 \text{ kgm/s}$
- (4) energi kinetik benda 5.780 Joule

**Pembahasan CERDAS:**

$$a = \frac{F}{m} = \frac{80+5t}{2,5} = 32+2t$$

$$v_t = \int a \, dt = \int 32+2t \, dt = 32t + t^2 + v_0$$

Benda pada mulanya diam ( $v_0 = 0$ ), sehingga nilai kecepatannya:  $v_t = 32t + t^2$ .

Oleh karena itu, ketika  $t = 2$  sekon diperoleh:

$$(1) v_t = 32t + t^2 = 32(2) + (2)^2 = 68 \text{ m/s}$$

Pernyataan (1) benar

$$(2) a = 32 + 2t = 32 + 2(2) = 36 \text{ m/s}^2$$

Pernyataan (2) benar

(3) Momentum benda dapat dihitung dengan:

$$p = mv = (2,5)(68) = 170 \text{ kgm/s}$$

Pernyataan (3) benar

(4) Energi kinetik dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(2,5)(68)^2 = 5.780 \text{ J}$$

Pernyataan (4) benar

-----**Jawaban: E**

5. Bola A yang bergerak lurus dan mempunyai momentum  $mv$  menumbuk bola B yang bergerak pada garis lurus yang sama. Jika setelah tumbukan bola A mempunyai momentum  $-3mv$ , maka perubahan momentum bola B adalah ...

- A.  $2mv$
- B.  $-2mv$
- C.  $3mv$
- D.  $-4mv$
- E.  $4mv$

**Pembahasan CERDAS:**

Hukum kekekalan momentum sebagai berikut.

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

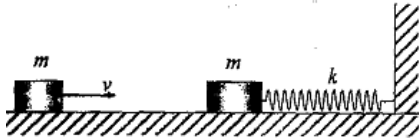
Jika  $p_A = mv$  dan  $p_A' = -3mv$ , maka perubahan momentum bola B adalah:

$$p_B' - p_B = mv - (-3mv) = 4mv$$

-----**Jawaban: E**



6. Benda bermassa  $m$  berada pada bidang licin terikat pada pegas dengan tetapan  $k$ . Benda lain yang juga bermassa  $m$  mendekati dan menumbuk benda pertama dengan kecepatan  $v$  seperti ditunjukkan pada gambar di bawah.



Jika setelah tumbukan, kedua benda saling menempel dan bersama-sama bergetar dengan pegas, maka amplitudo getaran tersebut adalah ....

- $A = v\sqrt{(m/k)}$
- $A = v\sqrt{(k/m)}$
- $A = v\sqrt{(2m/k)}$
- $A = v\sqrt{(m/2k)}$
- $A = 2v\sqrt{(m/k)}$

#### Pembahasan CERDAS:

Ketika kedua benda saling menempel, maka akan terjadi momentum dengan tumbukan tidak lenting sama sekali. Benda yang terikat pada pegas pada mulanya tidak memiliki kecepatan. Adapun kecepatan setelah tumbukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_1 v_1 + m_2 v_2 &= (m_1 + m_2) v' \\ mv + m(0) &= (m + m) v' \\ v' &= \frac{v}{2} \dots (1) \end{aligned}$$

Ketika menekan pegas terjadi hubungan hukum kekekalan energi mekanik sehingga dapat diketahui jarak pegas bergetar.

$$\begin{aligned} Em_1 &= Em_2 \\ Ep_1 + Ek_1 &= Ep_2 + Ek_2 \\ 0 + \frac{1}{2}mv^2 &= \frac{1}{2}ky^2 + 0 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}ky^2 \dots (2)$$

Untuk mengetahui besarnya amplitudo, Anda dapat menghubungkan dengan hubungan penjumlahan energi kinetik dan energi potensial sehingga memperoleh besar energi mekanik.

$$\begin{aligned} Em &= Ek + Ep \\ \frac{1}{2}kA^2 &= \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}ky^2 \end{aligned}$$

Nilai  $\frac{1}{2}ky^2$  diambil dari persamaan (2) dan nilai  $v$  diambil dari persamaan (1) sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}kA^2 &= \frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2 + \frac{1}{2}m\left(\frac{v}{2}\right)^2 \\ A &= v\sqrt{(m/2k)} \end{aligned}$$

-----Jawaban: D

7. Dua benda yang bertumbukan tidak lenting sama sekali mempunyai kecepatan sama setelah tumbukan.

#### SEBAB

Dua benda yang bertumbukan tidak lenting sama sekali tunduk pada hukum kekekalan momentum.

(UMPTN 1996)

#### Pembahasan CERDAS:

Dua benda bertumbukan yang merupakan tumbukan tidak lenting sama sekali akan menyebabkan benda saling berimpit setelah tumbukan sehingga kedua benda tersebut memiliki kecepatan yang sama (**pernyataan benar**).

Semua jenis tumbukan, seperti tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian, dan tumbukan tidak lenting sama sekali selalu berlaku hukum kekekalan momentum (**Alasannya benar**).

Dari penjelasan di atas, pernyataan dan alasan tidak mempunyai hubungan sebab akibat.

-----Jawaban: B

8. Sebuah benda yang mula-mula diam ditumbuk oleh benda lain. Jika massa kedua benda sama dan tumbukan lenting sempurna, maka ....

- setelah tumbukan, kecepatan benda yang menumbuk menjadi nol dan benda kedua kecepatannya sama dengan benda pertama sebelum menumbuk.
- Koefisien restitusinya satu
- Jumlah momentum linear kedua benda sebelum dan sesudah tumbukan sama besar.

- (4) Sebelum dan sesudah tumbukan, jumlah energi kinetik kedua benda itu sama besar.

**Pembahasan CERDAS:**

Tumbukan lenting sempurna memiliki koefisien restitusi ( $e = 1$ ). Jika benda mengalami tumbukan lenting sempurna, maka berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik. Adapun ketika dua benda memiliki massa yang sama, maka setelah tumbukan kecepatan benda yang menumbuk sama dengan nol dan benda yang ditumbuk bergerak dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan benda pertama sebelum menumbuk.

-----**Jawaban: E**

9. Benda A bermassa 5 kg dan benda B bermassa 1 kg bergerak saling mendekati dengan kecepatan masing-masing 2 m/s dan 12 m/s. Jika setelah bertumbukan kedua benda saling menempel, maka kecepatan sesaat setelah kedua benda bertumbukan adalah ...
- 0,25 m/s searah dengan gerak benda A semula.
  - 0,33 m/s berlawanan arah dengan gerak benda A semula
  - 0,45 m/s searah dengan gerak benda A semula
  - 0,45 m/s berlawanan arah dengan gerak benda A semula
  - 0,55 m/s searah dengan gerak benda A semula

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$m_A = 5 \text{ kg}$$

$$m_B = 1 \text{ kg}$$

$$v_A = 2 \text{ m/s}$$

$$v_B = 12 \text{ m/s}$$

Ditanyakan:  $v'$

Jawab:

Pada soal dijelaskan bahwa kedua benda saling menempel, sehingga berlaku:

$$m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B) v'$$

$$(5)(2) + (1)(-12) = (5 + 1)v'$$

$$-2 = 6 v'$$

$$v' = -\frac{1}{3} = -0,33 \text{ (arah berlawanan dengan } v_A)$$

-----**Jawaban: B**

10. Balok bermassa  $m_1$  (2kg) dan  $m_2$  (4 kg) saling mendekati di atas bidang horizontal yang licin. Kelajuan awal  $m_1$  dan  $m_2$  adalah  $v_1 = 5 \text{ m/s}$  dan  $v_2 = 10 \text{ m/s}$ . Jika kedua balok saling tumbukan, maka momentum linear ...

(1) sistem adalah 30 kg m/s

(2) balok kedua 30 kg m/s jika kelajuan balok pertama menjadi nol

(3) balok kedua 20 kg m/s jika kelajuan balok pertama 5 m/s ke kiri

(4) balok pertama 30 kg m/s ketika kelajuan balok kedua nol

**Pembahasan CERDAS:**

$$p = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$p = (2)(5) + (4)(-10) = -30 \text{ kg m/s}$$

**Pernyataan (1) benar**

Jika kelajuan balok pertama setelah tumbukan menjadi nol, maka  $p_1' = 0$ . Sehingga besarnya momentum balok kedua setelah tumbukan adalah:

$$p = p_1' + p_2'$$

$$-30 = 0 + p_2'$$

$$p_2' = -30 \text{ kg m/s}$$

**Pernyataan (2) benar**

$$p = p_1' + p_2'$$

$$p = m_1 v_1' + p_2'$$

$$-30 = (2)(-5) + p_2'$$

$$p_2' = -20 \text{ kg m/s}$$

**Pernyataan (3) benar**

Jika kelajuan balok kedua setelah tumbukan menjadi nol, maka  $p_2' = 0$ . Sehingga besarnya momentum balok pertama setelah tumbukan adalah:

$$p = p_1' + p_2'$$

$$-30 = p_1' + 0$$

$$p_1' = -30 \text{ kg m/s}$$

**Pernyataan (4) benar**

-----**Jawaban: E**



## - BAB 6 - Dinamika Rotasi dan Keseimbangan Benda Tegar

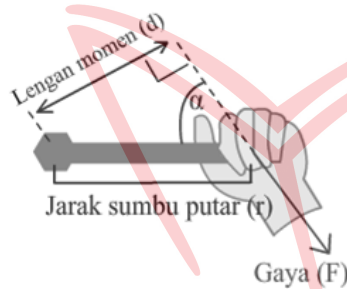
### Rangkuman Materi

#### A. Momen Gaya

Momen gaya atau torsi merupakan besaran yang dapat menyebabkan berputarnya suatu benda. Secara vektor, rumusan momen gaya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\tau = r \times F$$

Besarnya momen gaya  $\tau$  yang ditimbulkan oleh gaya  $F$  yang bekerja membentuk sudut pada jarak  $r$  dari sumbu putar didefinisikan sebagai perkalian antara gaya  $F$  dan lengan momen  $d$ .



Keterangan:

$\tau$  = momen gaya (Nm)

$F$  = gaya (N)

$d$  = jarak lengan momen (m)

$r$  = jarak sumbu putar (m)

$\alpha$  = sudut antara jarak sumbu putar dan gaya

$$\tau = Fd = F r \sin \alpha$$

#### B. Momen Inersia

Momen inersia merupakan ukuran kelembaman suatu benda untuk berputar. Momen inersia partikel dirumuskan sebagai:

$$I = mr^2$$

Keterangan:

$I$  = momen inersia ( $\text{kg m}^2$ )

$m$  = massa benda (kg)

$r$  = jarak massa ke sumbu putar (m)


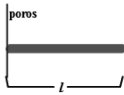
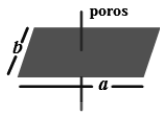
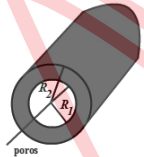


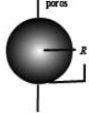
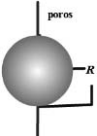
Momen inersia bergantung pada:

- 1) bentuk benda
- 2) massa benda
- 3) letak sumbu putar

Sedangkan momen inersia benda tegar secara umum dirumuskan sebagai:

$$I = \int r^2 dm$$

Untuk benda-benda yang beraturan bentuknya, momen inersianya dapat ditentukan sesuai dengan tabel berikut:

No	Benda	Momen Inersia
1	Batang Silinder, poros melalui pusat 	$I = \frac{1}{12} ml^2$
2	Batang Silinder, poros melalui ujung 	$I = \frac{1}{3} ml^2$
3	Pelat Besi persegi panjang, poros melalui pusat 	$I = \frac{1}{2} m(a^2 + b^2)$
4	Silinder Berongga 	$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2)$
5	Silinder Pejal 	$I = \frac{1}{2} mR^2$
6	Silinder Tipis Berongga 	$I = mR^2$
7	Bola Pejal 	$I = \frac{2}{5} mR^2$
8	Bola Tipis Berongga 	$I = \frac{2}{3} mR^2$

Momen inersia benda terhadap sembarang sumbu rotasi yang paralel dengan sumbu pusat massa menggunakan teorema sumbu paralel.

$$I = I_{PM} + Md^2$$

Keterangan:

$I$  = momen inersia ( $\text{kg m}^2$ )

$I_{PM}$  = momen inersia pusat massa ( $\text{kg m}^2$ )

$M$  = massa benda ( $\text{kg}$ )

$d$  = jarak sumbu rotasi ke pusat massa ( $\text{m}$ )

---

### C. Momentum Sudut

---

Momentum sudut didefinisikan sebagai hasil kali antara momen inersia dan kecepatan sudut. Besarnya momentum sudut dapat dituliskan pada persamaan berikut.

$$L = I \omega$$

Keterangan:

$L$  = momentum sudut ( $\text{kg m}^2 \text{ rad/s}$ )

$I$  = momen inersia ( $\text{kg m}^2$ )

$\omega$  = kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )

---

### D. Hubungan Momen Gaya dan Percepatan Sudut

---

Hubungan antara momen gaya dengan percepatan sudut memenuhi persamaan Hukum II Newton, sehingga besarnya torsi dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau = I \alpha$$

Keterangan:

$\tau$  = momen gaya ( $\text{Nm}$ )

$I$  = momen inersia ( $\text{kg m}^2$ )

$\alpha$  = percepatan sudut ( $\text{rad/s}^2$ )

---

### E. Energi Kinetik Rotasi

---

Energi kinetik yang dimiliki oleh benda yang berotasi disebut energi kinetik rotasi ( $E_{K_{rot}}$ ), yang besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E_{K_{rot}} = \frac{1}{2} I \omega^2$$

Keterangan:

$E_{K_{rot}}$  = energi kinetik rotasi (joule)

$I$  = momen inersia ( $\text{kg m}^2$ )

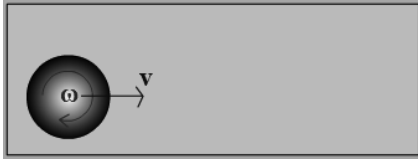
$\omega$  = kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ )

---

### F. Gabungan Energi Kinetik

---

Benda yang bergerak menggelinding memiliki kecepatan linier ( $v$ ) untuk bergerak translasi dan kecepatan sudut ( $\omega$ ) untuk bergerak rotasi.



Besarnya energi kinetik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$EK = EK_{\text{trans}} + EK_{\text{rot}}$$

$$EK = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2$$

Keterangan:

Ek = energi kinetik (Joule)

Ek<sub>rot</sub> = energi kinetik rotasi (Joule)

Ek<sub>trans</sub> = energi kinetik translasi (Joule)

I = momen inersia (kg m<sup>2</sup>)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan linier (m /s)

## G. Hukum Kekekalan Momentum Sudut

Hukum kekekalan momentum sudut menyatakan bahwa apabila tidak ada momen gaya yang bekerja pada sistem, maka momentum sudut akan konstan.

$$L_1 = L_2$$

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

Keterangan:

L<sub>1</sub> = momentum sudut awal (kgm<sup>2</sup>rad/s)

I<sub>1</sub> = momen inersia awal (kgm<sup>2</sup>)

ω<sub>1</sub> = kecepatan sudut awal (rad/s)

L<sub>2</sub> = momentum sudut akhir (kgm<sup>2</sup>rad/s)

I<sub>2</sub> = momen inersia akhir (kgm<sup>2</sup>)

ω<sub>2</sub> = kecepatan sudut akhir (rad/s)

Contoh aplikasi hukum kekekalan momentum sudut antara lain pada gerakan penari balet dan pelompat indah.

## H. Dinamika Rotasi

Pada benda tegar juga dinamikan rotasi diperlukan untuk menentukan komponen gaya, torsi, dan titik berat pada benda tersebut.

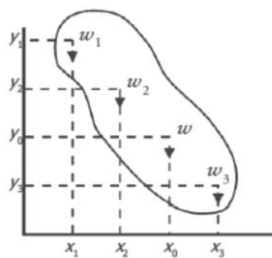
Jika benda dalam keadaan diam atau setimbang dan bergerak kelajuan konstan, maka berlaku:

$$\sum F = 0 \text{ dan } \sum \tau = 0$$

Namun jika benda bergerak dengan percepatan tetap, maka:

$$\sum F = m a \text{ dan } \sum \tau = I \alpha$$

## I. Titik Berat Benda



Titik berat adalah titik tangkap gaya berat benda. Letak titik berat benda dapat ditentukan melalui percobaan maupun perhitungan.

$$x_0 = \frac{\sum W_n x_n}{\sum W_n}$$

$$y_0 = \frac{\sum W_n y_n}{\sum W_n}$$

Keterangan:

$x_0$  = letak titik berat benda pada sumbu x

$W_n$  = berat benda ke-n

$x_n$  = letak titik berat benda ke-n pada sumbu x

$y_0$  = letak titik berat benda pada sumbu y

$y_n$  = letak titik berat benda ke-n pada sumbu y

Untuk nilai percepatan gravitasi  $g$  yang dapat dianggap konstan, maka titik pusat massa dirumuskan sebagai berikut:

$$x_{pm} = \frac{\sum m_n x_n}{\sum m_n}$$

$$y_{pm} = \frac{\sum m_n y_n}{\sum m_n}$$

Keterangan:

$x_{pm}$  = pusat massa benda pada sumbu x

$m_n$  = massa benda ke-n

$x_n$  = pusat massa benda ke-n pada sumbu x

$y_{pm}$  = pusat massa benda pada sumbu y

$y_n$  = pusat massa benda ke-n pada sumbu y

**Titik berat benda homogen:**

**1. Benda berbentuk ruang (dimensi tiga)**

$$2. \quad x_0 = \frac{\sum V_n x_n}{\sum V_n}$$

$$3. \quad y_0 = \frac{\sum V_n y_n}{\sum V_n}$$

Keterangan:

$x_0$  = titik berat benda pada sumbu x

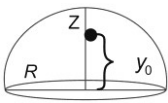
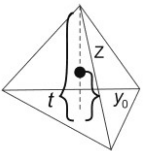
$V_n$  = volume benda ke-n

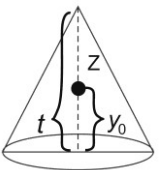
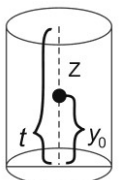
$x_n$  = titik berat benda ke-n pada sumbu x

$y_0$  = titik berat benda pada sumbu y

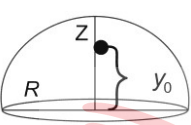
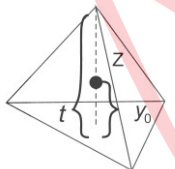
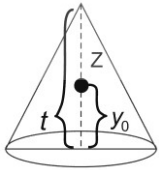
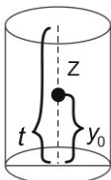
$y_n$  = titik berat benda ke-n pada sumbu y

Titik berat berupa selimut ruang

No.	Gambar	Letak Titik Berat	Keterangan
1.		$y_0 = \frac{1}{2} R$	R = jari-jari
2.		$y_0 = \frac{1}{3} t$	t = tinggi limas

3.		$y_0 = \frac{1}{3}t$	t = tinggi kerucut
4.		$y_0 = \frac{1}{2}t$	t = tinggi silinder

Titik berat benda berbentuk ruang

No	Gambar	Letak Titik Berat	Keterangan
1.		$y_0 = \frac{3}{8}R$	R = jari-jari
2.		$y_0 = \frac{1}{4}t$	t = tinggi limas
3.		$y_0 = \frac{1}{4}t$	t = tinggi kerucut
4.		$y_0 = \frac{1}{2}t$	t = tinggi silinder

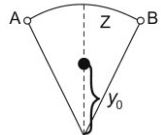
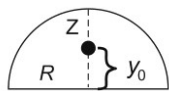
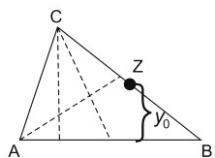
#### 4. Benda Berbentuk luasan (dimensi dua)

$$x_0 = \frac{\sum A_n x_n}{\sum A_n}$$

$$y_0 = \frac{\sum A_n y_n}{\sum A_n}$$



Titik berat benda berbentuk luasan

No	Gambar	Latak Titik Berat	Keterangan
1.		$y_0 = \frac{\overline{AB}}{AB} \frac{2}{3} R$	$\overline{AB}$ = tali busur AB AB = busur AB R = jari-jari
2.		$y_0 = \frac{4R}{3\pi}$	R = jari-jari
3.		$y_0 = \frac{1}{3} t$	t = tinggi segitiga

5. Benda berbentuk garis (dimensi satu)

$$x_0 = \frac{\sum l_n x_n}{\sum l_n}$$

$$y_0 = \frac{\sum l_n y_n}{\sum l_n}$$

Keterangan:

$x_0$  = titik berat benda pada sumbu x

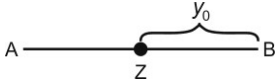
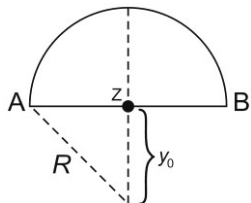
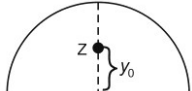
$l_n$  = panjang benda ke-n

$x_n$  = titik berat benda ke-n pada sumbu x

$y_0$  = titik berat benda pada sumbu y

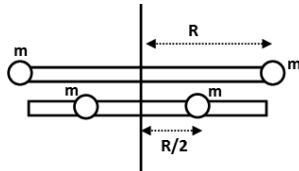
$y_n$  = titik berat benda ke-n pada sumbu y

Titik berat benda berbentuk garis

No	Gambar	Latak Titik Berat	Keterangan
1.		$y_0 = \frac{1}{2} AB$	z di tengah-tengah AB
2.		$y_0 = \frac{\overline{AB}}{AB} R$	$\overline{AB}$ = tali busur AB AB = busur AB R = jari-jari
3.		$y_0 = \frac{2R}{3\pi}$	R = jari-jari

## Soal dan Pembahasan

1. Batang tak bermassa yang panjangnya  $2R$  dapat berputar di sekitar sumbu vertikal melewati pusatnya seperti tampak pada gambar berikut.



Sistem berputar dengan kecepatan sudut  $\omega$  ketika kedua massa  $m$  berjarak sejauh  $R$  dari sumbu. Massa secara simultan ditarik sejauh  $R/2$  mendekati sumbu oleh gaya yang arahnya sepanjang batang. Kecepatan sudut baru dari sistem tersebut adalah ....

- A.  $\omega/4$   
B.  $\omega/2$   
C.  $\omega$   
D.  $2\omega$   
E.  $4\omega$

### Pembahasan CERDAS:

Pada peristiwa tersebut berlaku hukum kekekalan momentum sudut, di mana:

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

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

Momen inersia awal ( $I_1$ )

$$I_1 = mR^2 + mR^2 = 2mR^2$$

Momen inersia akhir ( $I_2$ )

$$I_2 = m\left(\frac{R}{2}\right)^2 + m\left(\frac{R}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}mR^2$$

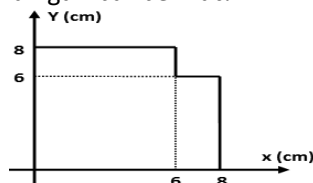
Sehingga:

$$2mR^2(\omega) = \frac{1}{2}mR^2(\omega_2)$$

$$\omega_2 = 4\omega$$

-----Jawaban: E

2. Perhatikan gambar berikut!

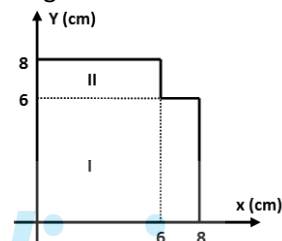


Selembar kertas berbentuk L seperti tampak pada gambar di atas. Pusat massa kertas tersebut berada di koordinat ....

- A. (5,5 ; 5,5)  
B. (6,6)  
C. (3,8 ; 3,8)  
D. (11,11)  
E. (3,3)

### Pembahasan CERDAS:

Perhatikan gambar berikut!



Pada gambar tersebut dapat dibagi menjadi dua bagian bidang, yaitu dua buah bangun persegi panjang. Pusat massa dapat dihitung dengan persamaan:

$$z_0 = \frac{A_1 z_1 + A_2 z_2}{A_1 + A_2}$$

Persamaan di atas dapat digunakan untuk menentukan koordinat, baik di sumbu X maupun di sumbu Y. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

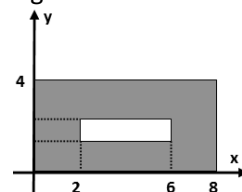
$$x_0 = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{A_1 + A_2}$$

$$x_0 = \frac{(48)(4) + (12)(3)}{48 + 12}$$

$$x_0 = 3,8$$

-----Jawaban: C

3. Perhatikan gambar berikut!



Papan tipis berongga tepat di tengah-tengahnya terletak bidang X-Y seperti gambar di atas. Jika rapat massa papan homogen, maka pusat massa terletak di titik ....

- A. (0,0)
- B. (8,2)
- C.  $\left(4, \frac{3}{4}\right)$
- D.  $\left(4, 3\frac{1}{4}\right)$
- E. (4,2)

**Pembahasan CERDAS:**

Anggap dalam gambar tersebut terdapat dua buah persegi panjang. Luas dua buah persegi panjang tersebut adalah:

$$A_1 = 8 \times 4 = 32$$

$$A_2 = 4 \times 1 = 4$$

Letak pusat massa papan berongga adalah:

Pada sumbu X berlaku:

$$x_0 = \frac{A_1 x_1 - A_2 x_2}{A_1 - A_2}$$

$$x_0 = \frac{(32)(4) - (4)(4)}{32 - 4} = 4$$

Pada sumbu Y berlaku:

$$y_0 = \frac{A_1 y_1 - A_2 y_2}{A_1 - A_2}$$

$$y_0 = \frac{(32)(2) - (4)(2)}{32 - 2} = 2$$

Jadi, pusat massanya terdapat pada koordinat (4,2).

-----**Jawaban: E**

4. Sumbu kedua roda muka dan sumbu kedua roda belakang sebuah truk yang bermassa 1.500 kg berjarak 2 m. Pusat massa truk 1,5 m di belakang roda muka. Jika percepatan gravitasi bumi  $10 \text{ m/s}^2$ , maka beban yang dipikul oleh kedua roda muka truk itu adalah ....

- A. 1.250 N
- B. 2.500 N
- C. 3.750 N

- D. 5.000 N
- E. 6.250 N

**Pembahasan:**

Diketahui:

$$AB = 2 \text{ m}$$

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

$$PB = 1,5 \text{ m}$$

$$mg = 1.500 \text{ kg}$$

Ditanyakan:  $N_B$

Jawab:

$$\Sigma \tau_A = 0$$

$$mg(AP) - N_B(AB) = 0$$

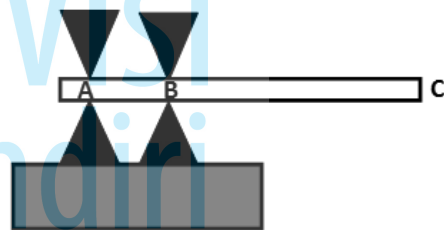
$$15.000(0,5) - N_B(2) = 0$$

$$= 3.750 \text{ N}$$

Jadi, beban yang dipikul oleh kedua roda muka truk adalah 3.750 N.

-----**Jawaban: C**

5. Papan loncat serbasama sepanjang 4 m bermassa 50 kg ditahan di dua tempat, yaitu A dan B seperti pada gambar di bawah ini.



Jarak A ke B adalah 0,5 m dan jarak B ke C adalah 3 m. Seorang peloncat indah meloncat dari ujung papan loncat di titik C dengan menjejakkan kakinya  $10^3 \text{ N}$  (papan dianggap tegar). Gaya yang diberikan penahan di titik A pada saat peloncat indah tersebut menjejakkan kakinya ke papan loncat adalah ....

- A. 8,0 kN
- B. 7,5 kN
- C. 7,0 kN
- D. 6,5 kN
- E. 6,0 kN

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$AC = 4 \text{ m}$$

$$m = 50 \text{ kg}$$

AB = 0,5 m

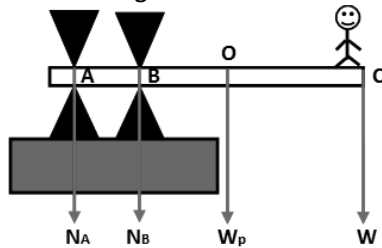
BC = 3 m

$W = 10^3 \text{ N}$

Ditanyakan:  $N_A$

Jawab:

Perhatikan gambar berikut!



Titik berat papan berada di tengah-tengah pada titik O, dapat diperoleh dari setengah panjang papan 4 m, sehingga OC adalah 2 m.

Titik B sebagai sumbu rotasi di mana syarat kesetimbangan adalah:

$$\sum \tau = 0$$

$$AB \cdot N_A - OB \cdot W_p - BC \cdot W = 0$$

$$0,5N_A - 1(500) - 3(1.000) = 0$$

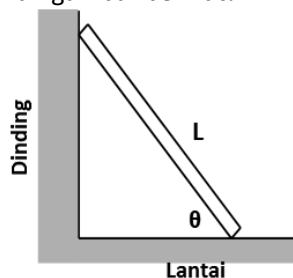
$$N_A = 7.000 \text{ N}$$

$$N_A = 7,0 \text{ kN}$$

Jadi, gaya yang diberikan penahan di titik A pada saat peloncat indah tersebut menjejakan kakinya ke papan loncat sebesar 7,0 kN.

-----Jawaban: C

6. Perhatikan gambar berikut!



Sebuah tangga homogen dengan panjang L diam bersandar pada tembok yang licin di atas lantai yang kasar dengan koefisien gesekan statis antara lantai dan tangga adalah  $\mu$ . Jika tangga membentuk sudut  $\theta$  tepat saat akan tergelincir, maka besar sudut  $\theta$  adalah ....

A.  $\theta = \frac{\mu}{L}$

B.  $\tan \theta = 2\mu$

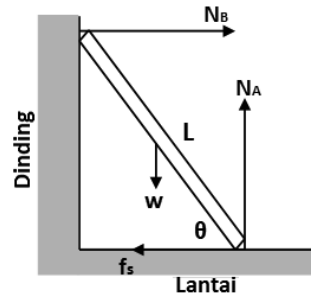
C.  $\tan \theta = \frac{1}{2\mu}$

D.  $\sin \theta = \frac{1}{\mu}$

E.  $\cos \theta = \mu$

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan gambar berikut!



Syarat setimbang (keadaan diam)

$$\sum F = 0$$

Pada sumbu x,  $\sum F_x = 0$

$$N_B - f_s = 0$$

$$N_B = \mu \cdot N_A \quad (1)$$

Pada sumbu y juga berlaku  $\sum F_y = 0$

$$N_A = W \quad (2)$$

Kesetimbangan rotasi,  $\sum \tau = 0$  dengan poros di A

$$\frac{1}{2} L \cos \theta \cdot W - L \sin \theta \cdot N_B = 0$$

masukan persamaan (1) dan (2)

$$\frac{1}{2} \cos \theta \cdot W = \sin \theta \cdot \mu W$$

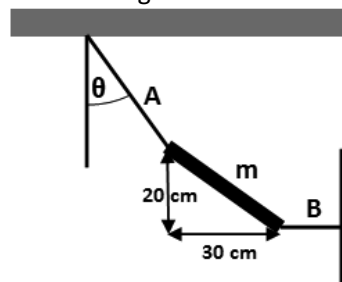
$$\mu = \frac{1}{2 \tan \theta}$$

Sehingga:

$$\tan \theta = \frac{1}{2\mu}$$

-----Jawaban: C

7. Perhatikan gambar berikut!

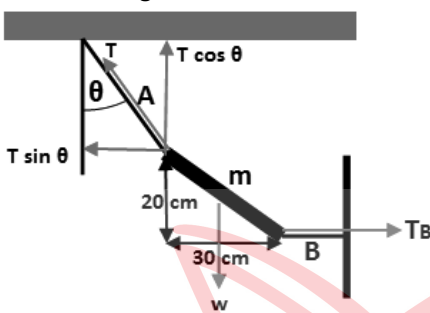


Batang homogen bermassa  $m$  diikat dengan tali-tali A dan B, setimbang pada posisi gambar dengan tali B horizontal. Nilai  $\tan \theta$  adalah ...

- A.  $\frac{8}{5}$
- B.  $\frac{4}{3}$
- C.  $\frac{1}{2}$
- D.  $\frac{3}{4}$
- E.  $\frac{3}{8}$

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan gambar berikut!



Syarat Kesetimbangan

$$\sum F = 0 \text{ dan } \sum \tau = 0$$

$$\sum F_x = 0, \text{ sehingga}$$

$$T_B = T \sin \theta \quad (1)$$

$$\sum F_y = 0, \text{ sehingga}$$

$$W = T \cos \theta \quad (2)$$

Untuk momen gaya gunakan titik A sebagai porosnya maka

$$0,2 T_B - \frac{1}{2} (0,3) W = 0$$

$$T_B = \frac{3}{4} W \quad (3)$$

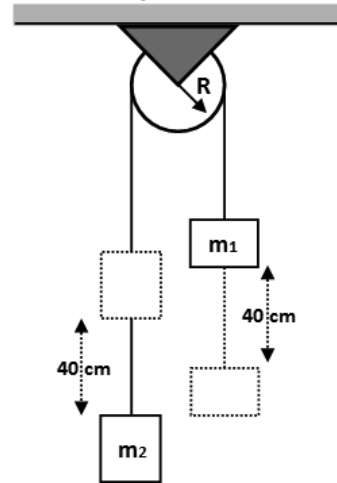
Berdasarkan persamaan (1), (2) dan (3) diperoleh

$$\frac{T \sin \theta}{T \cos \theta} = \frac{T_B}{W}$$

$$\tan \theta = \frac{\frac{3}{4} W}{W} = \frac{3}{4}$$

-----Jawaban: D

**8. Perhatikan gambar berikut!**



Balok  $m_1 = 3 \text{ kg}$  dan balok  $m_2 = 4 \text{ kg}$  dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol (momen inersia katrol  $I = \frac{1}{2} MR^2$ ) seperti pada gambar di atas. Jika massa katrol = 2 kg, jari-jari katrol  $R = 10 \text{ cm}$ , dan percepatan gravitasi  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka kecepatan balok setelah bergerak sejauh 40 cm adalah ...

- A. 1 m/s
- B.  $\sqrt{2} \text{ m/s}$
- C. 2 m/s
- D.  $\sqrt{6} \text{ m/s}$
- E. 4 m/s

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$m_1 = 3 \text{ kg}$$

$$m_2 = 4 \text{ kg}$$

$$M_k = 2 \text{ kg}$$

$$R = 10 \text{ cm}$$

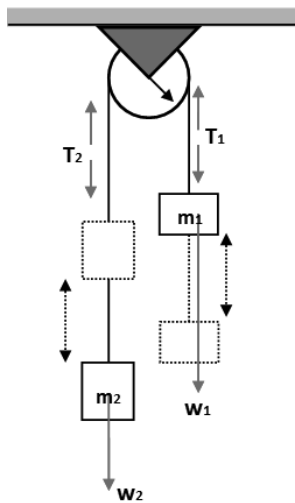
$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$s = 40 \text{ cm}$$

Ditanyakan:  $v$

Jawab:

Perhatikan gambar berikut!



Sistem benda berlaku

$$\sum F = m \cdot a$$

$$W_1 - T_1 + T_2 - W_2 = (m_1 + m_2)a$$

$$40 - T_1 + T_2 - 30 = (4 + 3)a$$

$$T_2 - T_1 = 7a - 10 \quad (1)$$

Pada sistem katrol berlaku

$$\sum \tau = I \alpha$$

$$T_1 R - T_2 R = \frac{1}{2} M_k R^2 \left( \frac{a}{R} \right)$$

$$T_1 - T_2 = \frac{1}{2} (2) a$$

$$T_1 - T_2 = a \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (1) dan (2), maka:

$$-a = 7a - 10$$

$$a = \frac{10}{8} = 1,25 \text{ m/s}^2$$

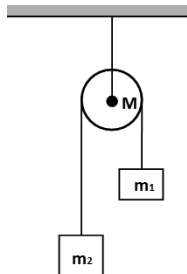
Kecepatan dapat diperoleh dari persamaan

$$v = \sqrt{2ah} = 1 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan balok sebesar 1 m/s.

-----**Jawaban: A**

9. Perhatikan sistem katrol berikut!



katrol tanpa silinder pejal homogen yang dapat berotasi tanpa gesekan terhadap sumbunya yang tetap. Massa beban  $m_1 = m$ , massa katrol  $M = 2m$ , massa beban  $m_2 = 3m$  dan diameter katrol  $d$ . Bila percepatan gravitasi  $g$  dan sistem bergerak tanpa pengaruh luar, maka percepatan sudut rotasi katrol adalah ....

- A.  $2g/5d$
- B.  $3g/5d$
- C.  $4g/5d$
- D.  $6g/5d$
- E.  $g/d$

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$m_1 = m$$

$$m_2 = 3m$$

$$M = 2m$$

$$s = 40 \text{ cm}$$

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

Ditanyakan:  $\alpha$

Jawab:

Hukum II Newton tinjau keadaan benda

$$\sum F = ma$$

$$W_2 - T_1 + T_2 - W_1 = (m_1 + m_2)a$$

$$T_2 - T_1 = 4ma - 20m \quad (1)$$

Tinjau katrol

$$\sum \tau = I \alpha$$

$$T_1 R - T_2 R = \frac{1}{2} M R^2 \frac{a}{R}$$

$$T_1 - T_2 = ma \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (1) dan (2) diperoleh:

$$-ma = 4ma - 20m$$

$$a = \frac{2}{5} g$$

Sehingga percepatan sudutnya adalah:

$$\alpha = \frac{a}{R} = \frac{2g}{5d}$$

Jadi, percepatan sudut katrol sebesar  $\frac{2g}{5d}$ .

-----**Jawaban: A**

10. Sebuah balok bergerak pada permukaan meja dengan lintasan berbentuk lingkaran berjari-jari  $r$  dengan kecepatan sudut tetap. Pernyataan yang benar berkaitan dengan momentum linier dan momentum sudut balok adalah ...
- (1) momentum linier tetap
  - (2) momentum sudut tetap
  - (3) momentum sudut berubah
  - (4) momentum linier berubah

**Pembahasan CERDAS:**

Untuk kecepatan sudut yang tetap, maka momentum sudutnya juga tetap karena

$$L = I\omega$$

Sedangkan pada gerak melingkar memiliki kecepatan linier yang arahnya berubah-ubah. Jika momentum linier adalah

$$p = m v$$

maka momentum liniernya juga berubah sehingga pernyataan yang benar adalah nomor (2) dan (4)

-----**Jawaban: C**





## - BAB 7 - Fluida Statis

### Rangkuman Materi

#### A. Massa Jenis dan Tekanan Fluida

##### 1. Massa Jenis

Massa jenis zat diartikan sebagai perbandingan massa zat dengan volume zat tersebut. Secara matematis, massa jenis zat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Keterangan:

$\rho$  = massa jenis zat ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  = massa zat (kg)

$V$  = volume zat ( $\text{m}^3$ )

##### 2. Tekanan Fluida

Fluida akan memberikan tekanan pada setiap bidang permukaan yang bersinggungan dengannya. Tekanan dapat didefinisikan sebagai gaya yang bekerja tegak lurus pada suatu bidang per satuan luas. Apabila penjelasan tersebut dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

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

Keterangan:

$p$  = tekanan ( $\text{N/m}^2$ )

$F$  = gaya (N)

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

Dalam satuan internasional, tekanan memiliki satuan  $\text{N/m}^2$ . Selain itu, satuan  $\text{N/m}^2$  disebut juga sebagai Pascal (Pa). Berikut konversi beberapa satuan tekanan.

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

##### 3. Tekanan Hidrostatik

Hukum hidrostatik menyatakan bahwa semua titik yang terletak pada suatu bidang datar di dalam zat cair yang sejenis memiliki tekanan yang sama. Tekanan hidrostatik bergantung pada kedalaman, percepatan gravitasi, dan massa jenis. Tekanan hidrostatik dirumuskan sebagai berikut.

$$p = \rho gh$$



Keterangan:

$p$  = tekanan ( $\text{N/m}^2$ )

$\rho$  = massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$h$  = kedalaman dari permukaan fluida cair (m)

#### 4. Tekanan Atmosfer

Atmosfer merupakan lapisan udara yang menyelimuti bumi. Semakin ke bawah, maka semakin berat lapisan udara yang ada di atasnya. Oleh karena itu, semakin rendah suatu tempat maka semakin tinggi tekanan atmosfernya. Tekanan pada kedalaman tertentu juga dipengaruhi tekanan atmosfer yang menekan permukaan atas lapisan zat cair sehingga dapat digunakan untuk mengetahui tekanan total pada kedalaman tertentu dalam zat cair yang dirumuskan sebagai berikut.

$$p = p_0 + \rho gh$$

Keterangan:

$p$  = tekanan total ( $\text{N/m}^2$  atau pascal)

$p_0$  = tekanan atmosfer ( $\text{N/m}^2$  atau pascal)

$\rho$  = massa jenis zat ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$h$  = kedalaman (m)

---

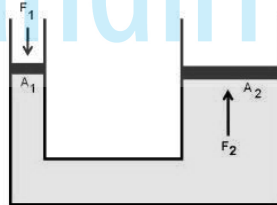
### B. Hukum- Hukum Fluida Statis

---

#### 1. Hukum Pascal

Hukum Pascal menyatakan bahwa “tekanan yang diberikan kepada fluida di dalam ruang tertutup akan diteruskan ke segala arah”. Hukum Pascal diterapkan dalam dongkrak hidrolik, pompa hidrolik, mesin pengepres hidrolik, kursi pasien dokter gigi, dan rem piringan hidrolik pada mobil. Hukum Pascal berdasarkan gambar di bawah dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\frac{F_1}{A_1} &= \frac{F_2}{A_2} \\ \frac{F_1}{r_1^2} &= \frac{F_2}{r_2^2} \\ \frac{F_1}{d_1^2} &= \frac{F_2}{d_2^2}\end{aligned}$$



Keterangan:

$F_1, F_2$  = gaya pada penampang 1 dan 2 (N)

$A_1, A_2$  = luas penampang 1 dan 2 ( $\text{m}^2$ )

$r_1^2, r_2^2$  = jari-jari penampang 1 dan 2 (m)

$d_1^2, d_2^2$  = diameter penampang 1 dan 2 (m)

#### 2. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes berbunyi, “Setiap benda yang terendam seluruhnya atau sebagian di dalam fluida akan mendapatkan gaya apung dengan arah ke atas yang besarnya sama dengan berat fluida yang dipindahkan oleh benda itu”. Jika berat benda di udara disimbolkan  $w_u$ , berat benda di dalam fluida disimbolkan  $w_f$ , maka gaya ke atas dituliskan dalam persamaan

$$F_A = w_u - w_f \text{ atau } F_A = \rho_f g V_{bt}$$

Keterangan:

$F_A$  = gaya Archimedes (N)

$w_u$  = berat benda ketika di udara (N)

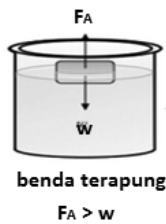
$\rho_f$  = massa jenis fluida

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$V_{bt}$  = volume benda tercelup ( $m^3$ )

Ketika benda tercelup dalam zat cair, maka akan bekerja gaya angkat ke atas atau gaya Archimedes ( $F_A$ ) dan gaya berat ( $w$ ) dengan arah ke bawah. Berdasarkan kedua gaya tersebut, benda ketika di dalam zat cair berlaku tiga hal yaitu mengapung, melayang, dan tenggelam.

a. Mengapung



Benda mengapung memiliki gaya berat  $w$  kurang dari gaya ke atas  $F_A$ . Benda yang mengapung pada dasarnya benda hanya tercelup sebagian. Oleh karena itu volume zat cair yang dipindahkan sama dengan volume benda yang tercelup dalam zat cair. Benda dapat mengapung ketika  $\rho_b < \rho_f$  dan  $V_{bt} < V_b$ .

$$\begin{aligned} w &< F_A \\ mg &< \rho_f g V_{bt} \\ \rho_b g V_b &< \rho_f g V_{bt} \\ \rho_b V_b &< \rho_f V_{bt} \end{aligned}$$

Keterangan:

$\rho_b$  = massa jenis benda ( $kg/m^3$ )

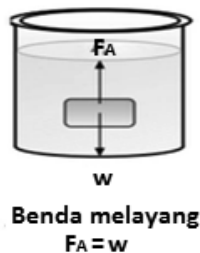
$V_b$  = volume benda ( $m^3$ )

$\rho_f$  = massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

$V_{bt}$  = volume benda tercelup ( $m^3$ )

b. Melayang

Benda melayang memiliki gaya berat  $w$  sama dengan gaya ke atas  $F_A$ . Hal yang membedakan antara benda mengapung dan melayang adalah ketika benda melayang benda keseluruhan tercelup di dalam zat cair sehingga volume yang dipindahkan sama dengan volume benda keseluruhan. Oleh karena itu, benda melayang berlaku:



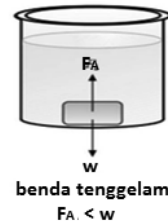
$$\begin{aligned} w &= F_A \\ mg &= \rho_f g V_{bt} \\ \rho_b g V_b &= \rho_f g V_{bt} \\ \rho_b V_b &= \rho_f V_{bt} \end{aligned}$$

Ketika benda melayang, volume zat cair yang dipindahkan ( $V_{bt}$ ) sama dengan volume benda ( $V_b$ ) sehingga  $\rho_b = \rho_f$ . Jadi, sebuah benda dikatakan melayang apabila massa jenis benda sama dengan massa jenis zat cair.

c. Tenggelam

Benda tenggelam memiliki gaya berat  $w$  lebih kecil dibandingkan dengan gaya ke atas. Ketika benda tenggelam, seluruh benda tercelup dalam zat cair sehingga volume zat cair yang dipindahkan sama dengan volume benda.

$$\begin{aligned}w &> F_A \\mg &> \rho_f g V_{bt} \\ \rho_b g V_b &> \rho_f g V_{bt} \\ \rho_b V_b &> \rho_f V_{bt}\end{aligned}$$



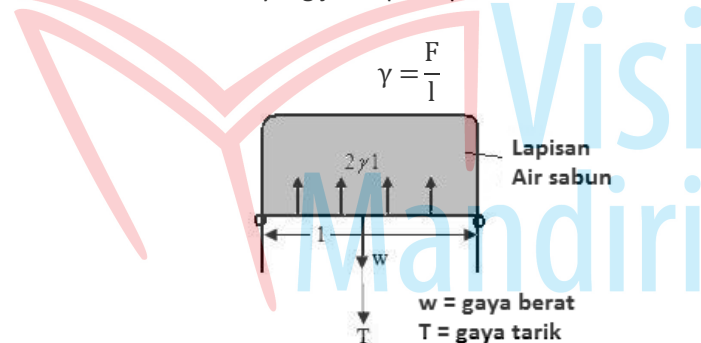
Ketika benda tenggelam, volume zat cair yang dipindahkan ( $V_{bt}$ ) sama dengan volume benda ( $V_b$ ), maka berlaku  $\rho_b > \rho_f$ . Jadi, sebuah benda dikatakan tenggelam apabila massa jenis benda lebih besar daripada massa jenis zat cair.

---

### C. Tegangan Permukaan Zat Cair

---

Tegangan permukaan merupakan kecenderungan zat cair untuk meregang sehingga permukaan cairan terlihat seperti terdapat lapisan. Contoh penerapan tegangan permukaan, seperti pisau silet atau jarum dapat mengapung di atas permukaan air, serangga yang dapat hinggap di atas permukaan air, dan tetesan air yang jatuh pada permukaan kaca berbentuk bola (bulatan).



Persamaan di atas digunakan untuk zat cair yang memiliki satu permukaan. Jika zat cair memiliki dua permukaan seperti air sabun, maka dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\gamma = \frac{F}{2l}$$

Keterangan:

$\gamma$  = tegangan permukaan zat cair (N/m)

$F$  = gaya tegang permukaan (N)

$l$  = panjang permukaan (m)

---

### D. Sudut Kontak dan Kapilaritas

---

#### 1. Sudut Kontak

Partikel zat cair dapat berpindah-pindah ke segala arah tanpa meninggalkan sifat zat cair tersebut. Gaya tarik menarik antarpartikel yang sama dinamakan kohesi, sementara itu gaya tarik menarik antarpartikel yang berlainan jenis dinamakan adhesi.

Apabila zat cair dimasukkan dalam tabung akan terdapat kelengkungan pada dinding kaca. Hal tersebut dinamakan dengan *meniskus*. Ketika air dimasukkan ke dalam tabung reaksi akan terbentuk meniskus cekung. Pada air terbentuk meniskus cekung disebabkan gaya kohesi lebih kecil dibandingkan gaya adhesi. Sementara itu, ketika raksa dimasukkan ke dalam tabung reaksi akan terbentuk meniskus cembung. Terbentuknya meniskus cembung pada raksa disebabkan adanya gaya kohesi lebih besar dibandingkan dengan gaya adhesi.

Kelengkungan air maupun kelengkungan raksa ditarik garis lurus akan membentuk sudut  $\theta$  terhadap dinding vertikal. Sudut  $\theta$  dinamakan sudut kontak dengan sudut kontak air adalah sudut lancip ( $\theta < 90^\circ$ ), sedangkan sudut kontak raksa adalah sudut tumpul ( $90^\circ < \theta < 180^\circ$ ).

## 2. Kapilaritas

Kapilaritas adalah peristiwa naik atau turunnya permukaan zat cair di dalam pipa kapiler. Kapilaritas dapat dilihat ketika naiknya minyak tanah melalui sumbu kompor dan naiknya air dari akar menuju bagian atas seperti daun melalui pembuluh kayu dalam batang pohon. Naik turunnya permukaan zat cair dalam pipa kapiler dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$y = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

Keterangan:

$y$  = kenaikan zat cair (m)

$\gamma$  = tegangan permukaan zat cair (N/m)

$\rho$  = massa jenis zat cair ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$r$  = jari-jari pipa kapiler (m)

---

## E. Viskositas

---

Viskositas fluida menyatakan gesekan dalam fluida. Semakin besar viskositas, maka semakin sulit benda bergerak di dalam fluida. Dalam kehidupan sehari-hari, viskositas lebih dikenal sebagai ukuran kekentalan fluida. Viskositas zat cair dapat ditentukan secara kuantitatif dengan besaran koefisien viskositas ( $\eta$ ). Gaya yang diperlukan untuk menggerakkan benda di dalam fluida sebagai berikut.

$$F = \frac{\eta A v}{l}$$

Keterangan:

$F$  = gaya untuk pergerakan benda (N)

$A$  = luas permukaan papan ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan (m/s)

$l$  = jarak antar dua keping (m)

$\eta$  = koefisien viskositas (kg/ms)

---

## F. Kecepatan Terminal

---

### 1. Hukum Stokes

Hukum Stokes menjelaskan bahwa apabila sebuah benda melaju dalam suatu fluida, maka benda akan memperoleh gaya hambat. Besar gaya hambat yang dialami benda berbentuk bola yang bergerak dalam fluida kental dirumuskan sebagai berikut.

$$F_s = 6\pi\eta r v$$

Keterangan:

Keterangan:

$F_s$  = gaya hambat (N)

$\eta$  = koefisien viskositas (kg/ms)

$r$  = jari-jari bola (m)

$v$  = kelajuan bola (m/s)

## 2. Kecepatan Terminal

Kecepatan terminal adalah kecepatan bola yang bergerak dalam fluida kental dengan kecepatan konstan. Kecepatan terminal dirumuskan sebagai berikut.

$$v = \frac{2r^2g}{9\eta}(\rho_b - \rho_f)$$

Keterangan:

$v$  = kecepatan terminal (m/s)

$r$  = jari-jari bola (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$\eta$  = koefisien viskositas (kg/ms)

$\rho_b$  = massa jenis benda ( $kg/m^3$ )

$\rho_f$  = massa jenis fluida ( $kg/m^3$ )

## Soal dan Pembahasan

1. Seongkah es dengan massa jenis  $0,90 \text{ gram/cm}^3$  dimasukkan ke dalam minyak dengan massa jenis  $0,80 \text{ gram/cm}^3$ . Peristiwa yang akan terjadi adalah ....

- A. es terapung
- B.  $\frac{1}{9}$  bagian es tenggelam
- C.  $\frac{1}{2}$  bagian es tenggelam
- D.  $\frac{8}{9}$  bagian es tenggelam
- E. Es tenggelam seluruhnya

### Pembahasan CERDAS:

Berdasarkan soal diketahui bahwa:

$$\rho_B = 0,90 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_f = 0,80 \text{ gram/cm}^3$$

Massa jenis bongkahan es lebih besar dibandingkan massa jenis fluida sehingga benda akan tenggelam.

-----**Jawaban: E**

2. Jarum dapat terapung pada permukaan air karena ....

- A. massa jenis jarum lebih kecil daripada air

- B. massa jenis jarum lebih besar dari pada air
- C. gaya apung Archimedes
- D. berat jenis jarum sama dengan berat jenis air
- E. tegangan permukaan air

### Pembahasan CERDAS:

Massa jenis jarum lebih besar dibandingkan massa jenis air sehingga seharusnya jarum tenggelam. Jarum tidak tenggelam disebabkan adanya tegangan permukaan sehingga jarum terapung pada permukaan air.

-----**Jawaban: E**

3. Perhatikan pernyataan di bawah ini!
- (1) sudut kontak permukaan fluida
  - (2) jari-jari pipa kapiler
  - (3) massa jenis fluida
  - (4) tegangan permukaan fluida

Kenaikan permukaan fluida yang cekung dalam pipa kapiler berbanding lurus dengan ....

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

**Pembahasan CERDAS:**

Kenaikan permukaan fluida dalam pipa kapiler dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$h = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

Berdasarkan persamaan di atas, dapat diketahui bahwa kenaikan permukaan fluida ( $h$ ) berbanding lurus dengan tegangan permukaan ( $\gamma$ ). Oleh karena itu, pilihan yang tepat adalah pilihan nomor (4).

-----**Jawaban: D**

4. Sebuah benda terapung di atas permukaan air yang berlapis minyak dengan 50% volume benda berada di dalam air, 30% volume benda berada di dalam minyak, dan sisanya berada di atas permukaan minyak. Jika massa jenis minyak 0,8 gram/cm<sup>3</sup>, maka massa jenis benda tersebut adalah ....
- A. 0,62 gram/cm<sup>3</sup>
  - B. 0,68 gram/cm<sup>3</sup>
  - C. 0,74 gram/cm<sup>3</sup>
  - D. 0,78 gram/cm<sup>3</sup>
  - E. 0,82 gram/cm<sup>3</sup>

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ gram/cm}^3$$

$$V_{\text{bT air}} = 50\%$$

$$\rho_{\text{minyak}} = 0,8 \text{ gram/cm}^3$$

$$V_{\text{bT minyak}} = 30\%$$

Ditanyakan:  $\rho_B$

Jawab:

Dalam kasus ini dapat diselesaikan menggunakan hubungan antara gaya berat dan gaya apung. Adapun persamaannya sebagai berikut.

$$F_A = w$$

$$\rho_f g V_{\text{bT}} = \rho_b g V_B$$

$$\rho_f V_{\text{bT}} = \rho_b V_B$$

$$\rho_{\text{air}} V_{\text{bT air}} + \rho_{\text{minyak}} V_{\text{bT minyak}} = \rho_b V_B$$

$$(1)(50\%V_B) + (0,8)(30\%V_B) = \rho_b V_B$$

$$\rho_B = 0,5 + 0,24 = 0,74$$

Jadi, massa jenis zat benda tersebut adalah 0,74 gram/cm<sup>3</sup>.

-----**Jawaban: C**

5. Setetes air hujan yang turun dari awan ke permukaan bumi terjadi karena adanya gaya gravitasi. Jika diketahui setetes air hujan mempunyai volume 0,5 ml, rapat masa air 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>, dan percepatan gravitasi 10 m/s<sup>2</sup>, maka gaya gravitasi yang dialami tetesan air hujan adalah ....
- A. 5 x 10<sup>-5</sup> N
  - B. 5 x 10<sup>-4</sup> N
  - C. 5 x 10<sup>-3</sup> N
  - D. 5 x 10<sup>-2</sup> N
  - E. 5 x 10<sup>-1</sup> N

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 0,5 \text{ mL} = 5 \times 10^{-4} \text{ L} = 5 \times 10^{-7} \text{ m}^3$$

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

Ditanyakan:  $w$

Jawab:

Gaya gravitasi air hujan dapat ditentukan dengan gaya berat.

$$w = mg$$

$$w = (\rho V)g$$

$$w = (10^3)(5 \times 10^{-7})(10)$$

$$w = 5 \times 10^{-3} \text{ N}$$

Jadi, gaya gravitasi yang dialami tetes air hujan adalah 5 x 10<sup>-3</sup> N.

-----**Jawaban: C**

6. Sebuah balok di udara beratnya 50 N, ketika dicelupkan ke dalam air beratnya menjadi 30 N. Massa jenis balok tersebut adalah ....
- A. 2.500 kg/m<sup>3</sup>
  - B. 3.000 kg/m<sup>3</sup>
  - C. 3.500 kg/m<sup>3</sup>
  - D. 4.000 kg/m<sup>3</sup>
  - E. 4.500 kg/m<sup>3</sup>

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

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

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

$$\rho_{\text{air}} = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

Ditanyakan:  $\rho_b$ 

Jawab:

Volume Benda, yaitu:

$$F_a = w_u - w_a$$

$$\rho_{\text{air}} g V_b = w_u - w_a$$

$$(1.000)(10)V_b = 50 - 30$$

$$V_b = \frac{20}{10^4} = 20 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Massa jenis benda dapat ditentukan dengan perhitungan:

$$\rho_b = \frac{m_b}{V_b} = \frac{w_u}{g V_b} = \frac{50}{10 \times 20 \times 10^{-4}}$$

$$\rho_b = 0,25 \times 10^4 = 2.500 \text{ kg/m}^3$$

Jadi, massa jenis balok tersebut adalah  $2.500 \text{ kg/m}^3$ .

-----Jawaban: A

7. Sebuah benda ketika di udara memiliki berat  $5.000 \text{ kgm/s}^2$ , sedangkan ketika di dalam air memiliki berat  $4.000 \text{ kgm/s}^2$ . Jika massa jenis benda  $2.000 \text{ kg/m}^3$ , massa dan volume benda tersebut adalah ....
- 500 kg dan  $0,1 \text{ m}^3$
  - 400 kg dan  $0,1 \text{ m}^3$
  - 300 kg dan  $0,2 \text{ m}^3$
  - 200 kg dan  $0,1 \text{ m}^3$
  - 100 kg dan  $0,2 \text{ m}^3$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

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

$$\rho_{\text{benda}} = 2.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 1.000 \text{ Kg/m}^3$$

$$w_{\text{di udara}} = 5.000 \text{ kgm/s}^2$$

$$w_{\text{di air}} = 4.000 \text{ Kg/s}^2$$

Ditanyakan: m dan V

Jawab:

$$F_{\text{apung}} = w_{\text{di udara}} - w_{\text{di air}}$$

$$F_{\text{apung}} = 5.000 \text{ kgm/s}^2 - 4.000 \text{ kgm/s}^2$$

$$F_{\text{apung}} = 1.000 \text{ kgm/s}^2$$

Besarnya volume air yang dipindahkan:

$$F_{\text{apung}} = \text{berat air yang dipindahkan}$$

$$F_{\text{apung}} = m \cdot g$$

$$V_{\text{air yang dipindahkan}} = \frac{F_{\text{apung}}}{(\text{massa jenis air})(g)}$$

$$V_{\text{air yang dipindahkan}} = \frac{\frac{1.000 \text{ kgm}}{\text{s}^2}}{\left(\frac{1.000 \text{ kg}}{\text{m}^3}\right)\left(\frac{10 \text{ m}}{\text{s}^2}\right)}$$

$$= \frac{1000}{10000} \text{ m}^3 = 0,1 \text{ m}^3$$

Besarnya massa benda:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

$$m = (2000 \text{ kg/m}^3)(0,1 \text{ m}^3)$$

$$m = 200 \text{ kg}$$

Jadi, massa benda tersebut 200 kg.

-----Jawaban: D

8. Volume helium yang diperlukan apabila sebuah balon harus mengangkat 500 kg beban adalah ....
- 424,8  $\text{m}^3$
  - 438,8  $\text{m}^3$
  - 484,7  $\text{m}^3$
  - 448,7  $\text{m}^3$
  - 478,8  $\text{m}^3$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$\rho_{\text{helium}} = 0,1786 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{udara}} = 1,293 \text{ Kg/m}^3$$

$$m = 500 \text{ kg}$$

Ditanyakan: V

Jawab:

$$F_{\text{Apung}} = W_{\text{beban}} + W_{\text{helium}}$$

$$F_{\text{Apung}} = m_{\text{beban}} g + m_{\text{he}} \cdot g$$

**(persamaan 1)**

Gaya apung = Berat udara yang dipindahkan

$$F_{\text{Apung}} = m_{\text{udara yg dipindahkan}} (g)$$

**(persamaan 2)****Persamaan 1 dan 2**

$$m_{\text{beban}} + m_{\text{he}} \cdot g = m_{\text{udara}} \cdot g$$

$$m_{\text{beban}} + m_{\text{he}} = m_{\text{udara}}$$

$$500 \text{ kg} + \frac{\rho_{\text{He}}}{V_{\text{He}}} = \rho_{\text{udara}} V_{\text{udara}}$$

$$500 \text{ kg} = (\rho_{\text{udara}})(V_{\text{udara}}) - (\rho_{\text{helium}})(V_{\text{helium}})$$

$$500 \text{ kg} = (\rho_{\text{udara}} - \rho_{\text{helium}})(V)$$

$$V = \frac{500 \text{ kg}}{\rho_{\text{udara}} - \rho_{\text{helium}}}$$

$$V = \frac{500 \text{ kg}}{1,293 \text{ kg/m}^3 - 0,1786 \text{ kg/m}^3}$$

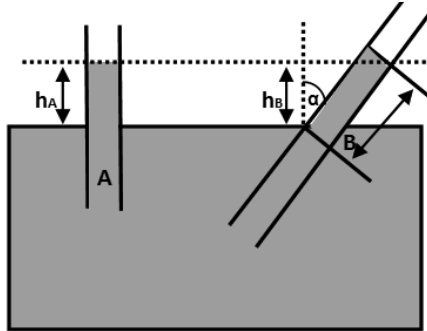
$$V = \frac{500 \text{ kg}}{1,1144 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 448,7 \text{ m}^3$$

Jadi, volume helium sebesar 448,7 m<sup>3</sup>.

-----**Jawaban: D**

9. Dua buah pipa berdiri yang satu tegak dan yang lainnya dalam kondisi miring. Dua buah pipa ini melalui sebuah bejana tertutup rapat seperti gambar berikut.



Jika salah satu pipa dimasuki air dan pada pipa yang lain dua kali lebih banyak dibandingkan pipa pertama, maka sudut kemiringan pipa kedua adalah ...

- A. 30°
- B. 37°
- C. 45°
- D. 53°
- E. 60°

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$h_B = 2h_A$$

Ditanyakan:  $\cos \alpha$

Jawab:

Tekanan pada pipa A dan pipa B sama besar. Oleh karena itu, berlaku persamaan:

$$p_A = p_B$$

$$\rho g h_A = \rho g h_B$$

$$h_A = h_B$$

Nilai  $\alpha$  adalah:

$$\cos \alpha = \frac{h_A}{h_B}$$

$$\cos \alpha = \frac{h_A}{2h_A}$$

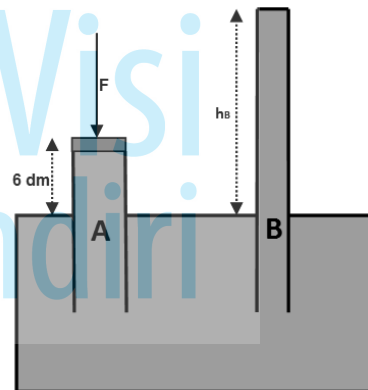
$$\cos \alpha = \frac{1}{2}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

Jadi, sudut kemiringan kedua pipa adalah 60°.

-----**Jawaban: E**

10. Dua buah pipa melalui sebuah bejana tertutup. Luas penampang pipa pertama 200 cm<sup>2</sup> dan tingginya 6 dm. Adapun pipa lain memiliki luas penampang 2,5 cm<sup>2</sup> dan sangat panjang. Pada pipa lebar dimasukkan minyak tanah yang memiliki massa jenis 0,88 gram/cm<sup>3</sup>, sehingga pipa lebar penuh seperti gambar berikut.



Jika pada pipa lebar ditempatkan penghisap dan ditekan dengan gaya 300 N dan percepatan gravitasi 10 m/s<sup>2</sup>, maka tinggi minyak tanah pada pipa kecil di atas bak adalah ....

- A. 1,2 m
- B. 1,8 m
- C. 2,3 m
- D. 2,5 m
- E. 3,2 m



**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$F = 300 \text{ N}$$

$$\rho = 0,88 \text{ gram/cm}^3 = 880 \text{ kg/m}^3$$

$$h_A = 6 \text{ dm} = 0,6 \text{ m}$$

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

$$A = 200 \text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

Ditanyakan:  $h_B$

Jawab:

Tekanan di A disebabkan berat minyak dan berat piston, sedangkan tekanan di B berasal berat minyak di B. Jika dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$p_A = p_B$$

$$p_{\text{piston}} + \rho g h_A = \rho g h_B$$

$$\frac{F}{A \rho g} + h_A = h_B$$

$$h_B = h_A + \frac{F}{A \rho g}$$

$$h_B = 0,6 + \frac{300}{(2 \times 10^{-2})(880)(10)}$$

$$h_B = 2,3$$

Jadi, tinggi minyak dalam pipa kecil adalah 2,3 m.

-----**Jawaban: C**





## - BAB 8 - Fluida Dinamis

### Rangkuman Materi

#### A. Fluida Ideal

Fluida ideal adalah fluida yang digunakan sebagai model idealisasi dan bermanfaat untuk mendapatkan perkiraan awal tentang sifat-sifat aliran fluida. Ciri-ciri umum fluida ideal adalah:

1. Tak termampatkan (tidak kompresibel), artinya tidak mengalami perubahan volume ketika diberi tekanan.
2. Tidak kental (non-viskos), artinya tidak ada gaya gesekan antara lapisan fluida satu dengan yang lain.
3. Alirannya tidak bergolak (non-turbulen), artinya memiliki aliran garis lurus (streamline).
4. Tak bergantung waktu (tunak), artinya kecepatannya konstan pada titik tertentu dan membentuk aliran laminar (berlapis).

#### B. Debit

Debit adalah volume fluida yang mengalir tiap satuan waktu. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Q = Av \text{ atau } Q = \frac{V}{t}$$

Keterangan:

$Q$  = debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

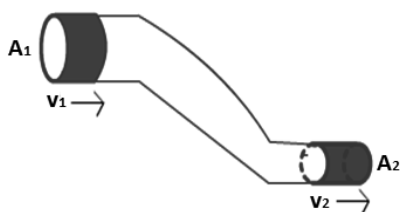
$V$  = volume fluida ( $\text{m}^3$ )

$t$  = waktu (s)

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

$v$  = kecepatan (m/s)

#### C. Persamaan Kontinuitas



Persamaan kontinuitas menyatakan bahwa debit fluida yang memasuki pipa sama dengan debit fluida yang keluar dari pipa. Perhatikan gambar aliran fluida yang mengalir dalam pipa berikut.

Persamaan kontinuitas berlaku persamaan berikut.

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Keterangan:

$Q_1$  = debit ketika masuk ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$Q_2$  = debit ketika keluar ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A_1$  = luas penampang 1 ( $\text{m}^2$ )

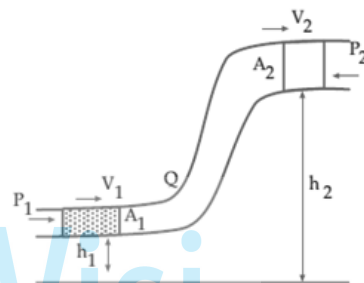
$A_2$  = luas penampang 2 ( $\text{m}^2$ )

$v_1$  = kecepatan fluida ketika masuk ( $\text{m/s}$ )

$v_2$  = kecepatan fluida ketika keluar ( $\text{m/s}$ )

#### D. Asas Bernoulli

Asas Bernoulli menyatakan bahwa dalam pipa horizontal, tekanan fluida paling besar terdapat dalam fluida dengan kelajuan aliran kecil, sedangkan tekanan paling kecil terdapat dalam fluida dengan kelajuan aliran besar.



Asas Bernoulli apabila dituliskan dalam suatu persamaan sebagai berikut.

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{konstan}$$

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

Keterangan:

$p_1, p_2$  = tekanan di titik 1 dan 2 ( $\text{N/m}^2$ )

$v_1, v_2$  = kecepatan aliran di titik 1 dan 2 ( $\text{m/s}$ )

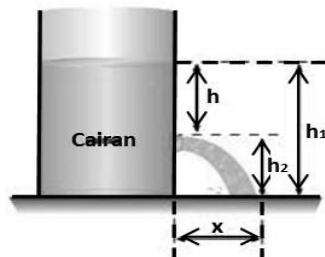
$h_1, h_2$  = ketinggian di titik 1 dan 2 (m)

$\rho$  = massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

#### E. Aplikasi Asas Bernoulli

##### 1. Tangki Berlubang



Kecepatan semburan air:

$$v = \sqrt{2gh}$$

Keterangan:

$v$  = kecepatan semburan ( $\text{m/s}$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$h$  = tinggi lubang dari permukaan air (m)

Waktu yang dibutuhkan semburan air mencapai tanah (t):

$$t = \sqrt{\frac{2h_2}{g}}$$

Keterangan:

t = waktu yang dibutuhkan air mencapai tanah (s)

g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

$h_2$  = ketinggian lubang diukur dari permukaan tanah (m)

Jarak jangkauan air (x):

$$x = \sqrt{2 h h_2}$$

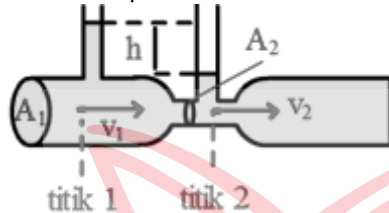
Keterangan:

h = tinggi lubang dari permukaan air (m)

$h_2$  = ketinggian lubang diukur dari permukaan tanah (m)

## 2. Venturimeter

a. Venturimeter tanpa manometer



b. Kelajuan fluida pada luas penampang  $A_1$  sebagai berikut.

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

Keterangan:

$v_1$  = kelajuan fluida pada penampang 1

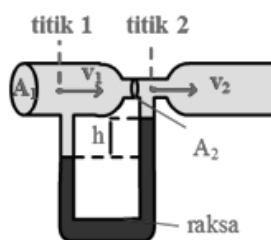
g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

h = perbedaan ketinggian pada fluida (m)

$A_1$  = luas penampang 1

$A_2$  = luas penampang 2

c. Venturimeter dengan manometer



Kelajuan fluida pada luas penampang  $A_1$  sebagai berikut.

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho_r gh}{\rho_u \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

Keterangan:

$v_1$  = kelajuan fluida pada penampang 1

g = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

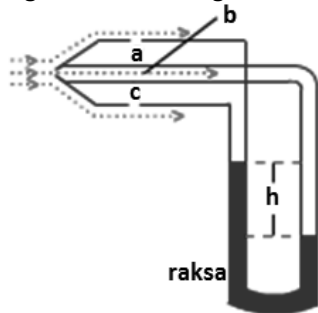
h = perbedaan ketinggian pada fluida (m)

$A_1$  = luas penampang 1 ( $m^2$ )

$A_2$  = luas penampang 2 ( $\text{m}^2$ )  
 $\rho_R$  = massa jenis raksa ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $\rho_U$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

### 3. Tabung Pitot

Tabung pitot adalah alat yang digunakan untuk mengukur kelajuan gas. Diagram tabung pitot digambarkan sebagai berikut.



Kecepatan aliran gas dirumuskan sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\frac{2\rho_R gh}{\rho_U}}$$

Keterangan:

$v$  = kecepatan aliran gas ( $\text{m/s}$ )

$\rho_R$  = massa jenis raksa ( $\text{kg/m}^3$ )

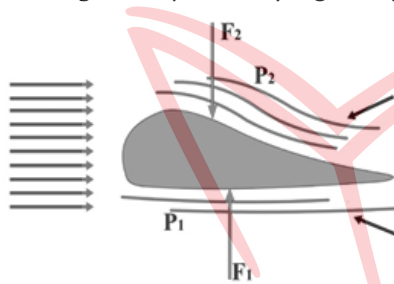
$\rho_U$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

$h$  = perbedaan ketinggian pada fluida ( $\text{m}$ )

### 4. Gaya Angkat Pesawat

Sketsa gambar pesawat yang ditunjukkan melalui gambar berikut.



$$F_1 - F_2 = (p_1 - p_2)A$$

$$F_1 - F_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)A$$

Keterangan:

$F_1 - F_2$  = gaya angkat pesawat terbang ( $\text{N}$ )

$p_1$  = tekanan pada sayap bagian bawah ( $\text{N/m}^2$ )

$p_2$  = tekanan pada sayap bagian atas ( $\text{N/m}^2$ )

$A$  = luas penampang sayap ( $\text{m}^2$ )

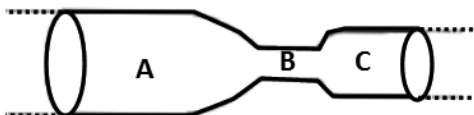
$v_1$  = kecepatan udara sayap bagian atas ( $\text{m/s}$ )

$v_2$  = kecepatan udara sayap bagian bawah ( $\text{m/s}$ )

$\rho$  = massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

## Soal dan Pembahasan

1. Air mengalir pada suatu pipa yang diameternya berbeda dengan perbandingan 1 : 2 seperti pada gambar berikut!



Jika kecepatan air yang mengalir pada bagian pipa yang besar adalah 40 m/s,

maka besarnya kecepatan air pada bagian pipa yang kecil adalah ....

- A. 20 m/s
- B. 40 m/s
- C. 80 m/s
- D. 120 m/s
- E. 160 m/s

### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{2}$$

$$v_2 = 40 \text{ m/s}$$

Ditanyakan:  $v_1$

Jawab:

Perbandingan diameter pipa kecil dan pipa besar:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{1}{2}$$

Persamaan Kontinuitas di mana

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Karena berupa lingkaran, maka:

$$\frac{1}{4} \pi d_1^2 v_1 = \frac{1}{4} \pi d_2^2 v_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^2$$

$$\frac{v_1}{40} = \left( \frac{2}{1} \right)^2$$

$$v_1 = 160 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan aliran air pada pipa kecil adalah 160 m/s

-----Jawaban: E

2. Sebuah pipa silindrik yang lurus mempunyai dua macam penampang, masing-masing dengan luas  $200 \text{ mm}^2$  dan  $100 \text{ mm}^2$ . Pipa tersebut diletakkan secara horizontal, sedangkan air di dalamnya mengalir dari penampang besar ke penampang kecil. Jika kecepatan arus di penampang besar adalah 2 m/s, maka kecepatan arus di penampang kecil adalah ....

- A.  $\frac{1}{4} \text{ m/s}$
- B.  $\frac{1}{2} \text{ ms}$
- C. 1 m/s
- D. 2 m/s
- E. 4 m/s

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$A_1 = 200 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 100 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = 2 \text{ m/s}$$

Ditanyakan:  $v_2$

Jawab:

Persamaan Kontinuitas

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

Jika  $v_1 = 2 \text{ m/s}$ ,  $A_1 = 200 \text{ mm}^2$ , dan  $A_2 = 100 \text{ mm}^2$ , maka:

$$(200)(2) = (100)v_2$$

$$v_2 = 4 \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan aliran pada pipa kecil adalah 4 m/s.

-----Jawaban: E

3. Jika kita berdiri di dekat rel kereta api dan kebetulan lewat serangkaian kereta api cepat, maka yang akan kita rasakan adalah ....

- A. ditarik menuju rel
- B. didorong menjauhi rel
- C. kadang-kadang merasa ditarik
- D. ditarik atau didorong tergantung kecepatan kereta api
- E. tidak merasa apa-apa

#### Pembahasan CERDAS:

Apabila kita berada di dekat rel kereta api dan menghadap ke arah rel kereta api kemudian terdapat kereta api yang melintas, maka akan terjadi perubahan kecepatan. Kecepatan udara di depan kita lebih besar dibandingkan kecepatan udara di belakang kita. Sesuai dengan hukum Bernoulli, hal tersebut mengakibatkan tekanan udara di belakang kita lebih besar dibandingkan tekanan udara di depan kita. Akibatnya, kita merasa didorong dari belakang untuk mendekati rel kereta api. Hal tersebut membuat kita serasa ditarik menuju rel.

-----Jawaban: A

4. Pesawat terbang dapat mengangkasa karena ....

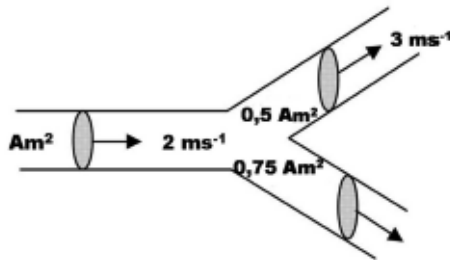
- A. Perbedaan tekanan dan aliran-aliran udara
- B. Pengaturan titik berat pesawat
- C. Gaya angkat dari mesin pesawat
- D. Perubahan momentum dari pesawat
- E. Berat pesawat yang lebih kecil daripada berat udara yang dipindahkan

**Pembahasan CERDAS:**

Gaya Angkat pesawat merupakan aplikasi dari Hukum Bernoulli tentang tekanan dan aliran-aliran udara pada sayap pesawat.

-----Jawaban: A

5. Perhatikan gambar berikut!



Fluida ideal mengalir melalui pipa mendatar dengan luas penampang  $A \text{ m}^2$ , kemudian fluida mengalir melalui dua pipa yang luas penampangnya lebih kecil seperti gambar di atas. Kecepatan fluida pada pipa yang luas penampangnya  $0,75 A \text{ m}^2$  adalah ....

- A. 0,5 m/detik
- B.  $\frac{2}{3}$  m/detik
- C. 1,5 m/detik
- D. 2 m/detik
- E. 2,5 m/detik

**Pembahasan:**

Diketahui:

$$A_1 = A \text{ m}^2$$

$$v_1 = 2 \text{ m/s}$$

$$A_2 = 0,5 A \text{ m}^2$$

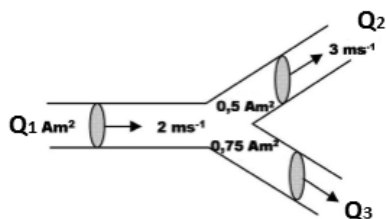
$$A_3 = 0,75 A \text{ m}^2$$

$$v_2 = 3 \text{ m/s}$$

Ditanyakan:  $v_3$

Jawab:

Perhatikan gambar berikut!



Berdasarkan gambar di atas, berlaku persamaan kontinuitas:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 + A_3 v_3$$

$$A(2) = 0,5A(3) + 0,75Av_3$$

$$2A - 1,5A = 0,75Av_3$$

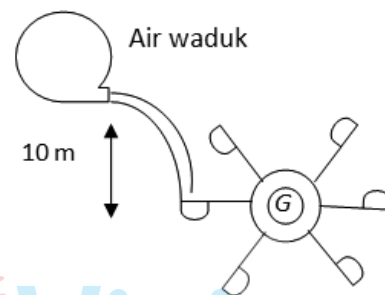
$$v_3 = \frac{2}{3} \text{ m/s}$$

Jadi, kecepatan aliran pada penampang

$$0,75 A \text{ m}^2 \text{ adalah } \frac{2}{3} \text{ m/s.}$$

-----Jawaban: B

6. Perhatikan gambar berikut!



Pada gambar di atas, G adalah generator 1.000 W yang digerakkan dengan kincir air. Generator hanya menerima energi sebesar 80% dari energi air. Jika generator dapat bekerja normal, maka debit air yang sampai ke kincir adalah ....

- A. 12,5 L/s
- B. 25 L/s
- C. 27,5 L/s
- D. 125 L/s
- E. 250 L/s

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$P_{\text{in}} = 1.000 \text{ W}$$

$$\eta = 80\%$$

Ditanyakan: Q

Jawab:

Debit air yang dialirkan dapat diperoleh dari persamaan daya keluaran yang dihasilkan.

$$P_{\text{out}} = \eta \rho Qgh$$

$$1000 = (80\%)(1.000)Q(10)(10)$$

sehingga debit air sebesar

$$Q = 0,0125 \text{ m}^3/\text{s} \text{ atau } Q = 12,5 \text{ L/s}$$

Jadi, debit air yang sampai ke kincir adalah 12,5 L/s.

-----Jawaban: A

7. Air terjun setinggi 20 m digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air (PLTA). Setiap detik air mengalir  $10 \text{ m}^3$ . Jika efisiensi generator 55% dan percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ , maka daya rata-rata yang dihasilkan adalah ....
- A. 110 kW  
B. 1.100 kW  
C. 2.200 kW  
D. 2.500 kW  
E. 5.500 kW

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$h = 20 \text{ m}$$

$$Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta = 55\%$$

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

Ditanyakan:  $P_{\text{out}}$

Jawab:

Daya keluaran yang dihasilkan

$$P_{\text{out}} = \eta \rho Q g h$$

$$P_{\text{out}} = (55\%)(1.000)(10)(10)(20)$$

$$P_{\text{out}} = 1.100 \text{ kW}$$

Jadi, daya rata-rata yang dihasilkan adalah 1.100 kW.

-----Jawaban: B

8. Saat ketinggian pesawat bertambah, tekanan udara di bawah sayap pesawat terbang lebih besar daripada tekanan udara di atas permukaan sayap.

**SEBAB**

Kecepatan aliran udara di atas permukaan sayap lebih besar daripada kecepatan aliran udara di bawah sayap.

**Pembahasan CERDAS:**

**Pernyataan benar**

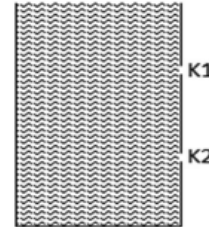
Penerapan Hukum Bernoulli pada sayap pesawat terbang agar dapat mengudara yakni

$$P_{\text{atas}} < P_{\text{bawah}} \text{ dan } v_{\text{atas}} > v_{\text{bawah}}$$

**Alasan Benar dan berhubungan**

-----Jawaban: A

9. Perhatikan gambar berikut!



Pada gambar di atas, air yang memancar bersama-sama dari lubang K2 pasti lebih jauh dibandingkan yang memancar dari lubang K1.

**SEBAB**

Tekanan hidrostatik air di lubang K2 lebih besar dibanding tekanan hidrostatik di lubang K1.

**Pembahasan CERDAS:**

**Pernyataan salah**

Air yang terpancar pada K2 memiliki kecepatan lebih besar dari K1, akan tetapi waktu yang dimiliki oleh lubang K2 lebih kecil dari waktu yang dimiliki K1

**Alasan benar**

Tekanan hidrostatik di lubang K2 lebih besar daripada lubang K1 karena

$$P_h = \rho g h$$

di mana  $h$  adalah kedalaman lubang. Semakin dalam lubang, maka semakin besar tekanan hidrostatiknya.

-----Jawaban: D

10. Air mengalir melalui sebuah pipa mendatar dengan kelajuan  $4 \text{ m/s}$  pada tekanan  $4 \text{ atm}$ . Jika pipa kemudian menyempit sedemikian sehingga diameternya menjadi setengah diameter mula-mula, maka besarnya tekanan air pada bagian pipa yang sempit adalah ....

- A. 2,8 atm  
B. 2,4 atm  
C. 1,8 atm  
D. 1,2 atm  
E. 0,8 atm



**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$v_1 = 4 \text{ atm}$$

$$p_1 = 4 \text{ atm}$$

$$d_1 = d$$

$$d_2 = \frac{1}{2} d$$

Ditanyakan:  $p_2$

Jawab:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{1}{4} \pi d^2 (4 \text{ m/s}) = \frac{1}{4} \pi \left( \frac{1}{2} d \right)^2 v_2$$

$$\frac{1}{4} d^2 (4 \text{ m/s}) = \frac{1}{16} d^2 v_2$$

$$v_2 = 16 \text{ m/s}$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$4 \text{ atm} + \frac{1}{2} \left( 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left( 4 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$= p_2 + \frac{1}{2} \left( 1.000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left( 16 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$4 \text{ atm} + 8.000 \text{ Pa} = p_2 + 128.000 \text{ Pa}$$

$$4 \text{ atm} + 0,08 \text{ atm} = p_2 + 1,28 \text{ atm}$$

$$p_2 = 4 \text{ atm} + 0,08 \text{ atm} - 1,28 \text{ atm}$$

$$p_2 = 2,8 \text{ atm}$$

Jadi, tekanan pada pipa dengan penampang sempit adalah 2,8 atm.

-----Jawaban: A





## - BAB 9 - Getaran, Gelombang, dan Bunyi

### Rangkuman Materi

#### A. Getaran dan Gelombang Bunyi

##### 1. Pengertian Getaran

Getaran diartikan sebagai gerak bolak-balik secara periodik melalui titik keseimbangan. Dalam getaran terdapat periode dan frekuensi. Periode ( $T$ ) diartikan sebagai waktu yang diperlukan untuk satu melakukan getaran, sedangkan frekuensi getaran ( $f$ ) diartikan sebagai banyaknya getaran dalam setiap satuan waktu. Apabila dituliskan dalam suatu persamaan sebagai berikut.

Keterangan:

$T$  = periode (sekon)

$t$  = waktu (sekon)

$N$  = banyaknya getaran

$f$  = frekuensi (Hertz)

Hubungan antara periode dan frekuensi sebagai berikut.

$$T = \frac{t}{N} \text{ dan } f = \frac{N}{t}$$

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

Simpangan adalah kedudukan suatu titik terhadap titik keseimbangan pada suatu waktu tertentu. Apabila simpangan terjauh, maka dinamakan amplitudo. Getaran harmonik sederhana adalah getaran dengan resultan gaya yang bekerja pada titik sembarang dan mengarah ke titik keseimbangan. Besar resultan gaya sebanding dengan jarak titik sembarang ke titik keseimbangan tersebut. Contoh getaran harmonik sederhana adalah getaran pada pegas dan getaran pada ayunan.

##### 2. Persamaan Simpangan, Kecepatan, dan Percepatan

Simpangan dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$y = A \sin(\omega t + \theta_0)$$

Keterangan:

$y$  = simpangan (meter)

$A$  = amplitudo (meter)

$\omega$  = frekuensi sudut (rad/s)

$\theta_0$  = sudut fase awal (rad)

Persamaan kecepatan getaran harmonik dinyatakan sebagai turunan pertama dari fungsi simpangan. Adapun persamaannya adalah:

$$v = A\omega \cos(\omega t + \theta_0)$$

Adapun persamaan dari percepatan gerak harmonik sederhana diperoleh dari turunan pertama dari kecepatan yang dinyatakan sebagai berikut:

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \theta_0)$$

### 3. Sudut Fase, Fase, dan Beda Fase

Berdasarkan persamaan simpangan

$$y = A \sin(\omega t + \theta_0)$$

Sudut  $(\omega t + \theta_0)$  dinamakan sebagai **sudut fase** yang dinotasikan dengan  $\theta$ .

Sudut fase dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\theta = (\omega t + \theta_0)$$

$$\theta = \left( \frac{2\pi t}{T} + \theta_0 \right)$$

$$\theta = 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{\theta_0}{2\pi} \right)$$

$$\theta = 2\pi\phi$$

Dengan  $\phi$  sebagai **fase**.

Pada saat  $t = t_1$  dengan fase  $\phi_1$  dan pada saat  $t = t_2$  dengan fase  $\phi_2$ , maka **beda fase** yang dihasilkan antara kedua kedudukan  $\Delta\phi$  adalah:

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$$

$$\Delta\phi = \frac{t_2 - t_1}{T}$$

### 4. Getaran Beban pada Pegas

Sebuah pegas apabila melakukan getaran akan memiliki periode dan frekuensi. Periode dan frekuensi pada pegas dituliskan dalam persamaan berikut.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \text{ dan } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Keterangan:

$T$  = periode (sekon)

$f$  = frekuensi (hertz)

$k$  = tetapan gaya (N/m)

Adapun percepatan pegas ( $\alpha$ ) dihitung dengan persamaan:

$$a = \frac{-ky}{m}$$

### 5. Getaran Beban pada Ayunan Sederhana

Ayunan yang bergetar memiliki frekuensi yang dituliskan dalam persamaan:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{ dan } f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Keterangan:

$T$  = periode (sekon)

$f$  = frekuensi (Hertz)

$l$  = panjang tali (meter)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

## 6. Hukum Kekekalan Energi Mekanik pada Getaran Harmonik

Hukum kekekalan energi mekanik dinyatakan bahwa “Pada getaran harmonik terjadi pertukaran energi potensial menjadi energi kinetik atau sebaliknya. Sementara itu, energi mekanik yaitu energi potensial dan energi kinetik bernilai tetap”

### a. Energi Potensial

Energi potensial dirumuskan sebagai berikut.

$$E_p = \frac{1}{2}ky^2$$
$$E_p = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\sin^2\omega t$$

Keterangan:

$E_p$  = energi potensial (Joule)

$m$  = massa benda (kg)

$A$  = amplitudo (m)

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

$t$  = waktu (sekon)

### b. Energi Kinetik

Energi kinetik dirumuskan sebagai berikut.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$
$$E_k = \frac{1}{2}m\omega^2A^2\cos^2\omega t$$
$$E_k = \frac{1}{2}k(A^2 - y^2)$$

### c. Energi Mekanik

Energi mekanik merupakan jumlah energi potensial dan energi kinetik.

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

## 7. Superposisi Getaran

Kegiatan menjumlahkan simpangan-simpangan getaran disebut *superposisi getaran*.

Misalkan suatu gelombang memiliki dua getaran, yaitu:

$$y_1 = A \sin \omega_1 t$$

$$y_2 = A \sin \omega_2 t$$

Getaran resultannya menjadi:

$$y = 2A \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2}t\right) \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2}t\right)$$

## 8. Pengertian Gelombang

Gelombang merupakan getaran yang merambat, baik melalui medium maupun tanpa medium. Gelombang yang dapat merambat dengan medium dinamakan gelombang mekanik, sedangkan gelombang yang dapat merambat baik ada medium maupun tanpa medium dinamakan gelombang elektromagnetik.

## 9. Gelombang Transversal dan Gelombang Longitudinal

### a. Gelombang Transversal

Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatannya tegak lurus terhadap arah perambatannya. Contoh: gelombang pada tali atau gelombang pada air.

Dalam gelombang transversal dikenal istilah bukit dan lembah gelombang. Bukit gelombang terletak di puncak gelombang, sedangkan lembah gelombang terletak di dasar

gelombang. Panjang gelombang dalam gelombang transversal diartikan sebagai jarak antara dua puncak berurutan. Selain itu, panjang gelombang diartikan jarak antara dua lembah yang berurutan. Adapun periode gelombang diartikan sebagai selang waktu yang diperlukan untuk menempuh dua puncak yang berurutan atau dua dasar yang berurutan.

b. Gelombang Longitudinal

Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getarnya serah dengan arah perambatannya. Dalam gelombang longitudinal terdapat renggangan dan rapatan. Contoh: gelombang pada slinki dan gelombang bunyi.

Dalam gelombang longitudinal, panjang gelombang sama dengan jarak antara dua rapatan atau jarak antara dua renggangan yang berdekatan. Apabila antara rapatan dan renggangan berdekatan sama dengan setengah panjang gelombang ( $\frac{1}{2}\lambda$ ).

c. Hubungan antara panjang gelombang, cepat rambat, periode, dan frekuensi suatu gelombang.

$$v = \lambda f \text{ atau } v = \frac{\lambda}{T}$$

Keterangan:

$v$  = cepat rambat gelombang (m/s)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$f$  = frekuensi (Hertz)

$T$  = periode gelombang (sekon)

## 10. Gelombang Berjalan

a. Simpangan Gelombang

Gelombang berjalan dituliskan dalam persamaan berikut.

$$y = \pm A \sin(\omega t \mp kx)$$

Keterangan:

$y$  = simpangan gelombang (m)

$A$  = amplitudo (m)

$\omega$  = frekuensi sudut (rad/s)

$k$  = bilangan gelombang

Simbol  $A$  menyatakan amplitudo. Jika gelombang permulaannya merambat ke atas, maka amplitudo akan bernilai positif. Jika gelombang permulaannya merambat ke bawah, maka amplitudo akan bernilai negatif.

Jika gelombang permulaannya merambat ke kanan, maka tanda tanda sinus akan bernilai negatif ( $\omega t - kx$ ). Sementara itu, jika gelombang permulaannya merambat ke kiri, maka tanda sinus akan bernilai positif ( $\omega t + kx$ ).

Jika  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  dan  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ , maka persamaan gelombang berjalan berubah menjadi:

$$y = \pm A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t \mp \frac{2\pi}{\lambda}x\right)$$

b. Kecepatan Partikel dan Percepatan Partikel pada Gelombang Berjalan

Kecepatan partikel disuatu titik yang berjarak  $x$  meter dari titik asal setelah bergetar selama  $t$  sekon merupakan suatu turunan pertama dari fungsi simpangan ( $y$ ) terhadap fungsi waktu yang dituliskan dalam persamaan berikut.

$$v = A\omega \cos(\omega t \pm kx)$$

Sementara itu, percepatan partikel merupakan turunan pertama dari fungsi kecepatan.

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t \pm kx)$$

- c. Sudut Fase, Fase, dan Beda Fase dari Gelombang Berjalan

Sudut fase dari gelombang berjalan dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\theta = \omega t - kx$$

Fase gelombang

$$\phi = \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}$$

Beda fase

$$\Delta\phi = -\frac{\Delta x}{\lambda}$$

### 11. Gelombang Stasioner

Gelombang stasioner adalah gelombang yang terjadi karena terjadi interferensi terus-menerus antara gelombang datang dan gelombang pantul. Gelombang stasioner dibagi menjadi dua yaitu gelombang stasioner dengan ujung terikat dan gelombang stasioner dengan ujung bebas.

- a. Gelombang Stasioner dengan Ujung Terikat

Persamaan simpangan gelombang stasioner dengan ujung terikat

$$y = 2A \sin kx \cos \omega t$$

Letak simpul pada gelombang stasioner dengan ujung terikat

$$\Delta x = \frac{(n-1)}{2} \lambda \text{ dengan } n = 1, 2, 3, \dots$$

Letak perut pada gelombang stasioner dengan ujung terikat

$$\Delta x = \frac{(2n-1)}{4} \lambda \text{ dengan } n = 1, 2, 3, \dots$$

- b. Gelombang Stasioner dengan Ujung Bebas

Persamaan simpangan gelombang stasioner dengan ujung bebas.

$$y = 2A \cos kx \sin \omega t$$

Letak simpul pada gelombang stasioner dengan ujung bebas.

$$\Delta x = \frac{(2n-1)}{4} \lambda \text{ dengan } n = 1, 2, 3, \dots$$

Letak perut pada gelombang stasioner dengan ujung bebas.

$$\Delta x = \frac{(n-1)}{2} \lambda \text{ dengan } n = 1, 2, 3, \dots$$

---

### B. Gelombang Bunyi

---

Intensitas bunyi yang dihasilkan dari sebuah sumber bunyi dirumuskan sebagai berikut.

$$I = \frac{P}{A} \text{ atau } I = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Keterangan:

I = intensitas bunyi (W/m<sup>2</sup>)

P = daya (watt)

A = luas (m<sup>2</sup>)

r = jarak sumber bunyi (m)

Berdasarkan persamaan di atas diperoleh hubungan antara intensitas dan jarak sumber bunyi sebagai berikut.

$$\frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

Keterangan:

I<sub>1</sub> = intensitas pada keadaan 1 (W/m<sup>2</sup>)

I<sub>2</sub> = intensitas pada keadaan 2 (W/m<sup>2</sup>)

r<sub>1</sub> = jarak pada keadaan 1 (m)

r<sub>2</sub> = jarak pada keadaan 2 (m)

Tingkat intensitas kekuatan bunyi dapat diartikan sebagai taraf intensitas bunyi. Taraf intensitas bunyi dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Persamaan taraf intensitas sebagai berikut.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Taraf intensitas bunyi jika dihubungkan dengan jumlah sumber bunyi sebagai berikut.

$$TI = TI_0 + 10 \log \frac{n_2}{n_1}$$

Keterangan:

TI = taraf intensitas bunyi (dB)

TI<sub>0</sub> = taraf intensitas bunyi dengan jumlah sumber mula-mula (dB)

n<sub>1</sub> = jumlah sumber bunyi mula-mula

n<sub>2</sub> = jumlah sumber bunyi akhir

Jika menentukan taraf intensitas bunyi berdasarkan jarak sumber bunyi sebagai berikut.

$$TI = TI_0 - 20 \log \frac{r_2}{r_1}$$

Keterangan:

TI = taraf intensitas bunyi (dB)

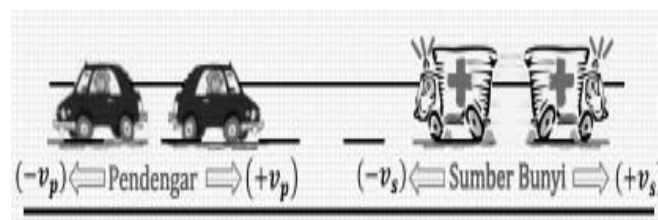
TI<sub>0</sub> = taraf intensitas bunyi pada jarak mula-mula (dB)

r<sub>2</sub> = jarak akhir dari sumber bunyi (m)

r<sub>1</sub> = jarak awal sumber bunyi (m)

### 1. Efek Doppler

Efek Doppler adalah peristiwa bertambah atau berkurangnya frekuensi sumber yang didengar oleh pendengar yang diakibatkan adanya gerak relatif antara sumber bunyi dan pendengar sehingga bunyi seolah-olah terdengar lebih keras atau pelan.



Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$$

Keterangan:

$f_p$  = frekuensi bunyi yang diterima pendengar (Hz)

$v$  = kecepatan bunyi di udara = 340 m/s

$v_p$  = kecepatan pendengar (m/s)

$v_s$  = kecepatan sumber bunyi (m/s)

$f_s$  = frekuensi bunyi dari sumber bunyi (Hz)

## 2. Layangan Bunyi

Layangan bunyi merupakan selisih frekuensi yang didengar oleh pendengar yang terjadi jika ada dua frekuensi yang berbeda terdengar oleh pendengar. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Delta f = |f_1 - f_2|$$

Keterangan:

$\Delta f$  = layangan bunyi (Hz)

$f_1$  = frekuensi yang didengar pertama (Hz)

$f_2$  = frekuensi yang didengar kedua (Hz)

---

## C. Gelombang Elektromagnet

---

### 1. Sifat Gelombang

Gelombang elektromagnetik memiliki sifat-sifat seperti cahaya sebagai berikut.

- Dapat merambat dalam ruang hampa (tidak memerlukan medium untuk merambat).
- Tidak bermuatan listrik.
- Merupakan gelombang transversal, yaitu arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya.
- Arah perambatannya tidak dibelokkan, baik pada medan listrik maupun medan magnet.
- Memiliki sifat umum gelombang, seperti dapat mengalami polarisasi, pemantulan (refleksi), pembiasan (refraksi), interferensi, dan lenturan (difraksi).

### 2. Frekuensi, Panjang Gelombang, dan Kecepatan.

Seperti gelombang secara umum, gelombang elektromagnetik juga memiliki frekuensi, panjang gelombang, dan kecepatan rambat yang memenuhi persamaan berikut.

$$c = \lambda f$$

Keterangan:

$c$  = kecepatan cahaya (m/s)

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$f$  = frekuensi gelombang (Hz)

### 3. Jenis-jenis Gelombang Elektromagnetik

Berbagai jenis spektrum gelombang elektromagnetik dari panjang gelombang terbesar ke panjang gelombang terkecil akan dijelaskan sebagai berikut.

#### a. Gelombang radio dan TV

Gelombang radio memiliki panjang gelombang  $10^4$  m ~ 0,1 m. Gelombang radio dihasilkan melalui perangkat elektronik seperti LC oscillator.



**b. Gelombang mikro**

Gelombang mikro memiliki panjang gelombang antara  $0,3 \text{ m} \sim 10^4 \text{ m}$ . Manfaat gelombang mikro antara lain:

- 1) untuk memasak makanan oven *microwave*.
- 2) untuk menganalisa struktur atomik dan molekul.
- 3) dapat digunakan untuk mengukur kedalaman laut.
- 4) gelombang RADAR diaplikasikan untuk mendeteksi suatu objek, memandu pendaratan pesawat terbang, membantu pengamatan di kapal laut dan pesawat terbang pada malam hari atau cuaca kabut, serta untuk menentukan arah dan posisi yang tepat.

**c. Gelombang inframerah**

Gelombang inframerah memiliki panjang gelombang  $10^{-3} \text{ m} \sim 7 \times 10^{-7} \text{ m}$ . Sinar inframerah banyak digunakan dalam bidang kedokteran digunakan untuk mendeteksi masalah sirkulasi darah, radang sendi, dan kanker. Selain itu, dapat digunakan untuk menyembuhkan penyakit cacar dan encok, Teknologi inframerah juga dapat digunakan pada *remote control*, fotografi kamera inframerah dan alarm pencuri, serta untuk pengeringan cat mobil dengan cepat.

**d. Cahaya tampak**

Cahaya tampak merupakan spektrum elektromagnetik yang dapat dilihat oleh mata. Cahaya tampak terdiri dari beberapa jenis sinar dengan urutan panjang gelombang paling panjang ke paling pendek yaitu sinar merah, jingga, kuning, hijau, biru dan ungu. Gelombang sinar tampak memiliki panjang gelombang antara  $7 \times 10^{-7} \text{ m}$  ( $\lambda_{\text{merah}}$ )  $\sim 4 \times 10^{-7} \text{ m}$  ( $\lambda_{\text{ungu}}$ ). Cahaya tampak dapat dimanfaatkan dalam bidang telekomunikasi yakni sinar laser dalam serat optik.

**e. Sinar ultraviolet (UV)**

Gelombang ultraviolet memiliki panjang gelombang antara  $4 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 6 \times 10^{-10} \text{ m}$ . Sumber utama sinar ultraviolet (UV) adalah matahari. Sinar UV merupakan bagian terpenting dari tumbuhan karena membantu dalam proses fotosintesis. Dalam bidang kedokteran dapat dimanfaatkan untuk membunuh virus dan bakteri sehingga sangat cocok untuk sterilisasi ruang dan peralatan bedah. Manfaat lain sinar UV adalah dapat digunakan untuk memeriksa keaslian uang, serta membantu pembentukan vitamin D pada tulang, namun jika kulit terkena paparan sinar UV yang berlebihan dapat menyebabkan kehitaman (kulit terbakar) bahkan kanker kulit.

**f. Sinar X**

Sinar X (*X-Ray*) juga dikenal sebagai sinar Rontgen. Sinar X memiliki panjang gelombang antara  $10^{-8} \text{ m} \sim 10^{-12} \text{ m}$ . Manfaat gelombang sinar X antara lain;

- 1) sebagai alat pendeteksi penyakit organ dalam.
- 2) Untuk terapi kanker.
- 3) memeriksa struktur kristal pada zat padat.
- 4) memeriksa barang-barang di bandara/pelabuhan.

Meskipun memiliki banyak manfaat, jika digunakan terus-menerus sinar X dapat merusak jaringan tubuh.

#### g. Sinar Gamma

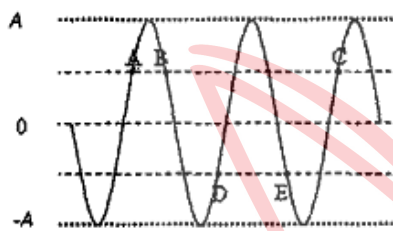
Sinar gamma dihasilkan melalui emisi radiasi nuklir (seperti  $^{60}\text{Co}$  dan  $^{137}\text{Cs}$ ). Sinar gamma memiliki panjang gelombang antara  $10^{-10} \text{ m} \sim 10^{-14} \text{ m}$ . Berbagai manfaat sinar gamma antara lain:

- 1) dapat digunakan untuk terapi
- 2) untuk sterilisasi peralatan rumah sakit, makanan, bahan makanan kaleng
- 3) pembuatan varietas tanaman unggul
- 4) mengurangi populasi hama tanaman (serangga)
- 5) perunut aliran fluida dan mendeteksi kebocoran pipa

Bahaya dari radiasi sinar gamma antara lain adalah dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan tubuh serta kemandulan.

### Soal dan Pembahasan

1. Gambar di bawah ini memperlihatkan profil sebuah gelombang pada saat tertentu.



Titik A, B, dan C segaris. Begitu juga titik D dan E. Simpangan titik A sama dengan 0,5 amplitudo, sedangkan simpangan titik E -0,5 amplitudo. Berapa kali panjang gelombang jarak titik C dari titik A?

- A.  $\frac{1}{4}$
- B.  $\frac{1}{2}$
- C. 1
- D.  $\frac{3}{2}$
- E. 2

#### Pembahasan CERDAS:

Berdasarkan gambar, titik C dari titik A memiliki dua bukit dan dua lembah. Oleh karena itu dalam jarak tersebut dapat dikatakan sebagai dua gelombang. Adapun dua gelombang dapat dikatakan sebagai dua  $\lambda$  (panjang gelombang).

-----Jawaban: E

2. Sebuah seruling yang memiliki kolom udara terbuka pada kedua ujungnya memiliki nada atas kedua dengan frekuensi 1.700 Hz. Jika kecepatan suara di udara adalah 340 m/s, maka panjang seruling mendekati ...

- A. 10 cm
- B. 15 cm
- C. 20 cm
- D. 25 cm
- E. 30 cm

#### Pembahasan CERDAS:

$$f = 1.700 \text{ Hz}$$

$$v = 340 \text{ m/s}$$

Seruling dapat dikatakan sebagai pipa organa terbuka. Selain itu, di dalam soal dijelaskan bahwa terjadi pada nada atas kedua. Persamaan pada pipa organa tertutup sebagai berikut.

$$f_n = \frac{(n+1)}{2l} v$$

$$f_2 = \frac{(2+1)}{2l} v = \frac{3v}{2l}$$

$$1.700 = \frac{3(340)}{2l}$$

$$l = \frac{(3)(340)}{(2)(1.700)}$$

$$l = 0,3 \text{ meter} = 30 \text{ cm}$$

-----Jawaban: E

3. Garputala X dan Y, bila dibunyikan bersamaan akan menghasilkan 300 layangan per menit. Garputala X memiliki frekuensi 300 Hz. Jika garputala Y ditempel setetes lilin, maka akan menghasilkan 180 layangan per menit dengan garputala X. Frekuensi asli dari garputala Y adalah ...
- 295 Hz
  - 297 Hz
  - 303 Hz
  - 305 Hz
  - 308 Hz

**Pembahasan CERDAS:**

Ketika keadaan awal, frekuensi awal garputala adalah:

$$f_p = 300 \text{ layangan/menit} = \frac{300}{60} \text{ Hz} = 5 \text{ Hz}$$

Jika  $f_x > f_y$ , maka  $f_p = f_x - f_y$  .... (1)

Jika  $f_x < f_y$  maka  $f_p = f_y - f_x$  .... (2)

Sementara itu, setelah garputala dilapisi lilin, nilai  $f_y$  akan semakin kecil dan pelayangan bunyi yang dihasilkan  $f_p = 180$  layangan/menit = 3 Hz. Berdasarkan pernyataan tersebut, jika  $f_y$  semakin mengecil, maka  $f_p$  juga mengecil. Oleh karena itu, persamaan yang memenuhi adalah persamaan (2). Adapun untuk menentukan frekuensi asli garputala Y sebagai berikut.

$$f_p = f_y - f_x$$

$$5 = f_y - 300$$

$$f_y = 305 \text{ Hz}$$

-----**Jawaban: D**

4. Pada jarak 3 meter dari sumber ledakan terdengar bunyi dengan taraf intensitas 50 dB. Pada jarak 30 meter dari sumber ledakan, bunyi terdengar dengan taraf intensitas sebesar ....
- 5 dB
  - 20 dB
  - 30 dB
  - 35 dB
  - 45 dB

**Pembahasan CERDAS:**

$$r_1 = 3 \text{ meter}$$

$$r_2 = 30 \text{ meter}$$

$$TI_0 = 50 \text{ dB}$$

$$TI = TI_0 - 20 \log \frac{r_2}{r_1}$$

$$TI = 50 - 20 \log \frac{30}{3}$$

$$TI = 50 - 20 \log 10 = 50 - 20(1) = 30 \text{ dB}$$

-----**Jawaban: C**

5. Intensitas bunyi pada bidang bola yang berpusat di sumber bunyi berbanding lurus dengan kuadrat jari-jarinya.

**SEBAB**

Luas permukaan bola berbanding lurus dengan kuadrat jari-jarinya.

**Pembahasan CERDAS:**

Intensitas bunyi pada bidang bola dituliskan dalam persamaan:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

Berdasarkan persamaan di atas, intensitas bunyi pada bidang bola berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jarinya, sedangkan luas permukaan bola berbanding lurus dengan kuadrat jari-jarinya.

Oleh karena itu, dapat dikatakan pernyataan salah dan alasan benar.

-----**Jawaban: D**

6. Pada suatu percobaan dengan tabung resonansi, ternyata resonansi pertama didapat jika permukaan air di dalam tabung berada 20 cm dari ujung atas tabung. Resonansi kedua akan terjadi bila jarak permukaan air ke ujung tabung itu ....
- 20 cm
  - 40 cm
  - 50 cm
  - 60 cm
  - 80 cm

**Pembahasan CERDAS:**

$$\text{Resonansi terjadi jika } l = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots$$

Apabila resonansi tersebut dibandingkan panjangnya menjadi  $l_1 : l_2 : l_3 = 1 : 3 : 5$

Jika  $l_1 = 20$  cm, maka besar  $l_2$  sebagai berikut:

$$l_2 = 3l_1 = 3(20) = 60 \text{ cm}$$

-----**Jawaban: D**

7. Seorang nelayan merasakan perahunya dihempas gelombang sehingga perahu bergerak naik turun. Waktu yang diperlukan untuk bergerak dari puncak ke lembah adalah 3 sekon. Nelayan juga mengamati bahwa jarak antarpuncak gelombang adalah 12 meter. Waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk mencapai pantai yang jauhnya 100 m adalah ....

- A. 3 sekon
- B. 4 sekon
- C. 8 sekon
- D. 33 sekon
- E. 50 sekon

**Pembahasan CERDAS:**

Dalam soal dijelaskan bahwa waktu yang diperlukan dari puncak ke lembah 3 sekon. Puncak ke lembah dinotasikan sebagai setengah periode. Oleh karena itu, periodenya sebagai berikut.

$$\frac{1}{2}T = 3 \text{ sekon}$$

$$T = 6 \text{ sekon}$$

Selain itu, dikatakan jarak antarpuncak 12 meter sehingga besarnya panjang gelombang adalah:

$$\lambda = 12 \text{ meter}$$

Besarnya kecepatan gelombang

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{12}{6} = 2 \text{ m/s}$$

Waktu yang dibutuhkan gelombang sampai pantai adalah:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{100}{2} = 50 \text{ sekon}$$

-----**Jawaban: E**

8. Gelombang stasioner dapat terjadi karena superposisi gelombang datang dan gelombang pantul ujung bebas. Titik simpul kesepuluh berjarak 1,52 meter dari ujung bebasnya. Jika frekuensi gelombang itu 50 Hz, maka cepat rambat gelombangnya ...

- A. 16 m/s
- B. 32 m/s
- C. 48 m/s
- D. 64 m/s
- E. 72 m/s

**Pembahasan CERDAS:**

Dalam ujung bebas, syarat terbentuknya simpul adalah:

$$\Delta x = \frac{(2n-1)\lambda}{4}$$

Apabila dikatakan bahwa terjadi pada simpul kesepuluh ( $n = 10$ ), maka:

$$\Delta x = \frac{(2(10)-1)\lambda}{4} = \frac{19v}{4f}$$

$$1,52 = \frac{19}{4} \left( \frac{v}{50} \right)$$

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

-----**Jawaban: A**

9. Suatu gelombang dinyatakan dalam persamaan  $y = 0,20 \sin 0,40\pi(x - 60t)$ . Bila semua jarak diukur dalam cm dan waktu dalam sekon, maka pernyataan berikut yang benar adalah ....

- (1) panjang gelombangnya bernilai 5 cm
- (2) frekuensi gelombangnya bernilai 12 Hz
- (3) gelombang menjalar dengan kecepatan 60 cm/s
- (4) simpangan gelombang 0,1 cm pada posisi  $x = \frac{35}{12}$  cm dan saat  $t = \frac{1}{24}$  sekon

**Pembahasan CERDAS:**

**Jawaban: E**

Persamaan gelombang tersebut

$$y = 0,20 \sin 0,40\pi(x - 60t)$$

$$y = 0,20 \sin 0,40\pi x - 24\pi t$$

Berdasarkan persamaan tersebut akan diperoleh

$$\text{Amplitudo} = 0,20 \text{ meter}$$

$$\omega = 24\pi \text{ rad/s}$$

$$k = 0,40\pi$$

Sehingga

$$\omega = 2\pi f \leftrightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{24\pi}{2\pi} = 12 \text{ Hz}$$

**Pernyataan (2) benar**

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \leftrightarrow \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{0,40\pi} = 5 \text{ cm}$$

**Pernyataan (1) benar**

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{24\pi}{0,40\pi} = 60 \text{ cm/s}$$

**Pernyataan (3) benar**

$$y = 0,20 \sin 0,40\pi x - 24\pi t$$

$$y = 0,20 \sin \left[ 0,40\pi \left( \frac{35}{12} \right) - 24\pi \left( \frac{1}{24} \right) \right]$$

$$y = 0,20 \sin \frac{\pi}{6} = 0,1 \text{ cm}$$

**Pernyataan (4) benar**

**Jadi, pernyataan (1), (2), (3), dan (4) benar.**

-----**Jawaban: E**

- 10.** Sebuah benda bermassa 50 gram bergerak harmonis sederhana dengan amplitudo 10 cm dan periode 0,2 sekon. Besar gaya yang bekerja pada sistem saat simpangannya setengah amplitudo adalah sekitar ....

- A. 1,0 N
- B. 2,5 N
- C. 4,8 N

D. 6,9 N

E. 8,4 N

**Pembahasan CERDAS:**

Berdasarkan penjelasan dalam soal diketahui:

$$m = 50 \text{ gram} = 5 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$A = 10 \text{ cm} = 1 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$T = 0,2 \text{ sekon}$$

Jika simpangan setengah amplitudonya, maka besarnya gaya yang bekerja adalah

$$F = ky$$

$$F = m\omega^2 y$$

$$F = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \frac{1}{2} A$$

$$F = (5 \times 10^{-2}) \left( \frac{2\pi}{0,2} \right)^2 \frac{1}{2} (1 \times 10^{-1})$$

$$F = 2,5 \text{ N}$$

-----**Jawaban: B**



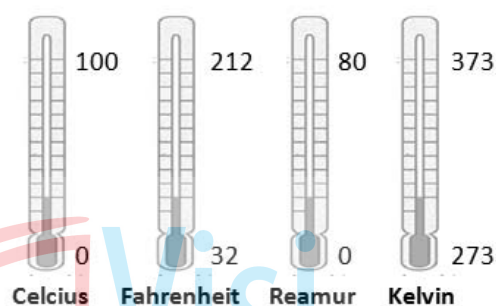


## - BAB 10 - Suhu dan Kalor

### Rangkuman Materi

#### A. Suhu dan Termometer

Suhu merupakan tingkat atau ukuran panas dinginnya suatu benda. Alat ukur suhu adalah termometer. Berbagai macam termometer yang digunakan memiliki skala yang berbeda-beda.



Perbandingan beberapa skala termometer adalah sebagai berikut:

$$T_C : (T_F - 32) : T_R = 5 : 9 : 4$$

Konversi antara skala Celsius dan skala Fahrenheit dituliskan:

$$T_C = \frac{5}{9}(T_F - 32) \text{ atau } T_F = \frac{9}{5}T_C + 32$$

Konversi antara skala Celsius dan skala Reamur dituliskan:

$$T_C = \frac{5}{4}T_R \text{ atau } T_R = \frac{4}{5}T_C$$

Konversi antara skala Fahrenheit dan skala Reamur dituliskan:

$$T_R = \frac{4}{9}(T_F - 32) \text{ atau } T_F = \frac{9}{4}T_R + 32$$

Jika ada termometer X ingin dikonversikan ke bentuk lain:

$$\frac{(T_{x\text{maks}} - T_x)}{(T_{x\text{maks}} - T_{x\text{min}})} = \frac{(T_{C\text{maks}} - T_C)}{(T_{C\text{maks}} - T_{C\text{min}})}$$

di mana:

$T_{x\text{maks}}$  = titik didih termometer X

$T_{x\text{min}}$  = titik beku termometer X

$T_x$  = suhu pada termometer X

$T_{C\text{maks}}$  = titik didih termometer Celsius

$T_{C\text{min}}$  = titik beku termometer Celsius

$T_c$  = suhu pada termometer Celsius

---

## B. Kalor

---

Kalor adalah energi panas zat yang dapat berpindah dari suhu tinggi ke suhu rendah. Jika mengalami perubahan suhu, maka:

$$Q = m c \Delta T$$

$$Q = C \Delta T$$

Namun jika tidak mengalami perubahan suhu (berubah wujud), maka:

**Untuk es menjadi air**

$$Q = m L$$

**Untuk air menjadi uap air (gas)**

$$Q = m U$$

Keterangan:

Q = kalor (Joule)

c = kalor jenis zat (J/kg K)

C = kapasitas panas suatu benda (J/K)

$\Delta T$  = perubahan suhu zat (K)

L = kalor laten lebur (J/kg)

U = kalor laten uap (J/kg)

### Konversi Satuan Kalor

1 kalori = 4,2 Joule

1 Joule = 0,24 kalori

---

## C. Pemuaian

---

Pemuaian adalah bertambah besarnya ukuran suatu benda karena kenaikan suhu yang terjadi pada benda tersebut.

### 1. Pemuaian Zat Padat

Ada tiga jenis pemuaian pada zat padat, yaitu:

a. Pemuaian Panjang

$$L = L_0 + \Delta L$$

$$L = L_0 + L_0 \alpha \Delta T$$

b. Pemuaian Luas

$$A = A_0 + \Delta A$$

$$A = A_0 + A_0 \beta \Delta T$$

c. Pemuaian Volume

$$V = V_0 + \Delta V$$

$$V = V_0 + V_0 \gamma \Delta T$$

$$\text{di mana } \alpha = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{3}, \gamma$$

### 2. Pemuaian Zat Cair

Pada zat cair terjadi pemuaian volume.

$$V = V_0 + \Delta V$$

$$V = V_0 + V_0 \gamma \Delta T$$

### 3. Pemuaian Zat Gas

Pada zat gas terjadi pemuaian volume

$$V = V_0 + \Delta V$$

$$V = V_0 + V_0 \frac{1}{273} \Delta T$$

## D. Perpindahan Kalor

Energi panas/kalor dapat berpindah melalui berbagai cara, antara lain:

### 1. Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan kalor tanpa disertai perpindahan partikel-partikelnya.

$$H = \frac{Q}{t} = k \frac{A \Delta T}{L}$$

Keterangan:

k = konduktivitas bahan ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

### 2. Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan kalor disertai dengan perpindahan partikel-partikelnya.

$$H = \frac{Q}{t} = h A \Delta T$$

Keterangan:

h = tetapan konveksi ( $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ )

### 3. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan kalor tanpa zat perantara.

$$P = \frac{Q}{t} = e \sigma A T^4$$

Keterangan:

e = emisivitas bahan

$\sigma$  = tetapan Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ )

## Soal dan Pembahasan

1. Termometer menunjukkan suhu  $-20^\circ\text{C}$  ketika es mencair dan menunjukkan suhu  $-140^\circ\text{C}$  ketika air mendidih. Kenaikan skala termometer berskala Fahrenheit menunjukkan angka  $0^\circ\text{F}$  adalah....

- A. 8,44
- B. 18,44
- C. 28,44
- D. 48,44
- E. 58,44

### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$T_{AX} = 140$$

$$T_{BX} = -20$$

$$T_F = 0$$

Ditanyakan:  $T_X$

Jawab:



$$\frac{T_X - T_{BX}}{T_{AX} - T_{BX}} = \frac{T_F - T_{BF}}{T_{AF} - T_{BF}}$$

$$\frac{T_X - (-20)}{140 - (-20)} = \frac{0 - 32}{212 - 32}$$

$$\frac{T_X + 20}{160} = \frac{-32}{180}$$

$$180T_X + 3.600 = 5.120$$

$$180T_X = 1.520$$

$$T_X = \frac{1.520}{180} = 8,44$$

Jadi, angka yang ditunjukkan termometer tersebut adalah 8,44.

-----**Jawaban: A**

2. Sebuah kubus dengan volume  $V$  terbuat dari bahan yang koefisien muai panjangnya  $\alpha$ . Jika suhu kubus dinaikkan sebesar  $\Delta T$ , maka luasnya akan bertambah ...

- A.  $\alpha V \Delta T$   
 B.  $6 \alpha V \Delta T$   
 C.  $12 \alpha V \Delta T$   
 D.  $6 \alpha V^{\frac{2}{3}} \Delta T$   
 E.  $12 \alpha V^{\frac{2}{3}} \Delta T$

**Pembahasan CERDAS:**

Volume kubus adalah:  $V = s^3$

Kubus memiliki 6 bidang luasan persegi yang sama luasnya, sehingga:  $A = 6s^2$

Sedangkan luas persegi adalah  $A = s^2$

Untuk kubus seluruh luasannya mula-mula adalah  $A_0 = 6 V^{\frac{2}{3}}$

Koefisien muai luas ( $\beta$ ) adalah 2 kali koefisien muai panjang ( $\alpha$ ).

Sehingga untuk pertambahan luasnya menjadi:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

$$\Delta A = 6 V^{\frac{2}{3}} \cdot 2\alpha \cdot \Delta T$$

$$\Delta A = 12 \alpha V^{\frac{2}{3}} \Delta T$$

-----**Jawaban: E**

3. Sebatang rel kereta api memiliki panjang 30 m ketika suhu  $20^\circ\text{C}$ . Untuk menguji sifat termal rel tersebut, maka dilakukan percobaan dengan menaikkan suhunya

menjadi  $40^\circ\text{C}$  sehingga panjangnya menjadi 30,0075 m. Jika rel diuji ketika suhunya  $-10^\circ\text{C}$ , maka panjangnya menjadi ....

- A. 29,97250 m  
 B. 28,97750 m  
 C. 29,98250 m  
 D. 29,98750 m  
 E. 29,98875 m

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$L_0 = 30 \text{ m}$$

$$L = 30,0075 \text{ m}$$

$$T_0 = 20^\circ$$

$$T = 40^\circ$$

$$T_{uji} = -10^\circ$$

Ditanyakan:  $L_{uji}$

Jawab:

Untuk menentukan panjang rel saat suhunya  $-10^\circ\text{C}$ , maka harus dicari dahulu koefisien muai panjang ( $\alpha$ ) rel dari hasil uji sifat termal.

Saat rel suhunya dinaikkan dari  $20^\circ\text{C}$  menjadi  $40^\circ\text{C}$ :

$$L = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$30,0075 = 30 + 30 \cdot \alpha \cdot (40 - 20)$$

$$0,0075 = 600\alpha$$

$$\alpha = 1,25 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

maka saat suhunya menjadi  $-10^\circ\text{C}$  panjangnya menjadi:

$$L_{uji} = L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$L = 30 + 30 \cdot (1,25 \times 10^{-5}) \cdot (-10 - 20)$$

$$L = 30 - 0,01125 = 29,98875 \text{ m}$$

Jadi, pada suhu  $-10^\circ\text{C}$  panjang rel tersebut menjadi 29,98875 m.

-----**Jawaban: E**

4. Kalor yang dilepaskan jika 15 gram air bersuhu  $100^\circ\text{C}$  didinginkan hingga suhu  $20^\circ\text{C}$  adalah .... (kalor uap  $540 \text{ kal gram}^{-1}$ , kalor jenis air  $1 \text{ kal gram}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

- A. 9.300 kal  
 B. 8.100 kal  
 C. 3.900 kal  
 D. 2.100 kal

E. 1.200 kal

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

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

$$T_0 = 100^\circ \text{C}$$

$$T = 20^\circ \text{C}$$

$$c = 1 \text{ kal/g}^\circ \text{C}$$

$$L = 540 \text{ kal/g}$$

Ditanyakan:  $Q$

Jawab:

Kalor yang dilepas merupakan energi panas yang dilepaskan oleh air dari suhu  $100^\circ \text{C}$  hingga  $20^\circ \text{C}$ , sehingga:

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

$$Q = 15(1)(100 - 20) = 1200 \text{ kal}$$

Jadi, besar kalor yang dilepas pada proses ini adalah 1.200 kal.

-----Jawaban: E

5. Kalor yang dilepaskan apabila 150 g air bersuhu  $100^\circ \text{C}$  didinginkan hingga suhu  $20^\circ \text{C}$  adalah .... (kalor uap 540 kal/g, kalor jenis air 1 kal/g $^\circ \text{C}$ )

- A. 8,1 kkal
- B. 9,2 kal
- C. 12 kkal
- D. 12,5 kkal
- E. 15 kal

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$m = 150 \text{ g}$$

$$T_0 = 100^\circ \text{C}$$

$$T = 20^\circ \text{C}$$

Ditanyakan:  $Q$

Jawab:

$$Q = mc\Delta T$$

$$= (150 \text{ g})(1 \text{ kal/g}^\circ \text{C})(100^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C})$$

$$= -12.000 \text{ kal}$$

$$= 12 \text{ kkal}$$

Tanda negatif artinya sistem melepas kalor. Jadi, banyaknya kalor yang dilepas air adalah 12 kkal.

-----Jawaban: C

6. Dua kg es bersuhu  $0^\circ \text{C}$  dicampur dengan 8 kg air bersuhu  $t^\circ \text{C}$ . Campuran tersebut mencapai suhu setimbang  $20^\circ \text{C}$  tanpa pertukaran kalor dengan lingkungan. Jika kalor jenis air 1 kal/kg $^\circ \text{C}$ , kalor jenis es 0,5 kal/kg $^\circ \text{C}$ , dan kalor lebur es 80 kkal/kg, maka nilai  $t$  adalah ....

- A.  $10^\circ \text{C}$
- B.  $15^\circ \text{C}$
- C.  $20^\circ \text{C}$
- D.  $40^\circ \text{C}$
- E.  $45^\circ \text{C}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$m_{\text{es}} = 2 \text{ kg}$$

$$T_{\text{es}} = 0^\circ \text{C}$$

$$m_{\text{air}} = 8 \text{ kg}$$

$$T_{\text{air}} = t^\circ \text{C}$$

$$T = 20^\circ \text{C}$$

$$c_{\text{es}} = 0,5 \text{ kal/kg}^\circ \text{C}$$

$$c_{\text{air}} = 1 \text{ kal/kg}^\circ \text{C}$$

$$L = 80 \text{ kal/kg}$$

Ditanyakan:  $t$

Jawab:

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

$$m_{\text{air}}c_{\text{air}}(T_{\text{air}} - T) = m_{\text{es}}L + m_{\text{es}}c_{\text{air}}(T - 0)$$

$$(8 \text{ kg})(1 \text{ kkal/kg}^\circ \text{C})(t - 20)^\circ \text{C} = (2 \text{ kg})(80 \text{ kal/kg}) + (2 \text{ kg})(20 - 0)(20 - 0)^\circ \text{C}$$

$$8t \text{ kal/}^\circ \text{C} - 160 \text{ kal} = 160 \text{ kal} + 40 \text{ kal}$$

$$t = \frac{360 \text{ kal}}{8 \text{ kal/}^\circ \text{C}} = 45^\circ \text{C}$$

Jadi, nilai  $t$  adalah  $45^\circ \text{C}$ .

-----Jawaban: E

7. Suatu kalorimeter berisi es (kalor jenis =  $0,5 \text{ kal/(gr K)}$ ), kalor lebur es =  $80 \text{ kal/gr}$ ) sebanyak  $36 \text{ gr}$  pada suhu  $-6^\circ\text{C}$ . Kapasitas kalor kalorimeter adalah  $27 \text{ kal/K}$ . Kemudian ke dalam kalorimeter itu dituangkan alkohol (kalor jenis  $0,58 \text{ kal/(gr K)}$ ) pada suhu  $50^\circ\text{C}$  yang menyebabkan suhu akhir menjadi  $8^\circ\text{C}$ . Massa alkohol yang dituangkan adalah ....
- A.  $108 \text{ gram}$   
 B.  $150 \text{ gram}$   
 C.  $200 \text{ gram}$   
 D.  $288 \text{ gram}$   
 E.  $300 \text{ gram}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$m_{es} = 36 \text{ kg}$$

$$T_{es} = -6^\circ\text{C}$$

$$c_{es} = 0,5 \text{ kal/kg}^\circ\text{C}$$

$$L_{es} = 80 \text{ kal/kg}$$

$$c_{al} = 0,58 \text{ kal/kg}^\circ\text{C}$$

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

$$T = 8^\circ\text{C}$$

$$C_{kal} = 27 \text{ kal/K}$$

Ditanyakan:  $m_{Al}$

Jawab:

$$Q_{lepas} (\text{alkohol}) = Q_{terima} (\text{air+wadah})$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{kalorimeter}$$

Untuk alkohol

$$Q_1 = m_{al} \cdot c_{al} \cdot \Delta T$$

$$Q_1 = m_{al} \cdot (0,58) \cdot (50 - 8)$$

$$Q_1 = 24,36 m_{al}$$

Untuk es bersuhu  $-6^\circ\text{C}$  hingga menjadi air bersuhu  $8^\circ\text{C}$ ,

Es dari  $-6^\circ\text{C}$  hingga  $0^\circ\text{C}$

$$Q_2 = m_{es} \cdot c_{es} \cdot \Delta T$$

$$Q_2 = 36(0,5)(0 - (-6)) = 108 \text{ kal}$$

Es menjadi air

$$Q_3 = m_{es} \cdot L$$

$$Q_3 = 36(80) = 2.880 \text{ kal}$$

Air suhu  $0^\circ\text{C}$  naik menjadi  $8^\circ\text{C}$

$$Q_4 = m_{es} \cdot c_{air} \cdot \Delta T$$

$$Q_4 = 36(1)(8) = 288 \text{ kal}$$

Untuk kalorimetrynya dari suhu  $-6^\circ\text{C}$  hingga  $8^\circ\text{C}$ ,

$$Q_{kalorimeter} = C \cdot \Delta T$$

$$Q_{kalorimeter} = 27(14) = 378 \text{ kal}$$

Sehingga:

$$24,36 m_{al} = 3654$$

$$m_{al} = 150 \text{ gram}$$

Jadi, massa alkohol yang dituang ke wadah sebesar  $150 \text{ gram}$ .

-----Jawaban: B

8. Es bersuhu  $-8^\circ\text{C}$  dan bermassa  $m_1 \text{ gram}$  dicampur dengan air bersuhu  $12^\circ\text{C}$  dan bermassa  $m_2 \text{ gram}$ . Pada saat terjadi kesetimbangan suhu, sebagian massa es melebur. Jika diketahui kalor lebur es =  $80 \text{ kalori/g}$ , maka massa es yang melebur adalah....

A.  $\frac{1}{20}(3m_1 + m_2) \text{ gram}$

B.  $\frac{1}{20}(m_1 - 3m_2) \text{ gram}$

C.  $\frac{1}{20} m_1 \text{ gram}$

D.  $\frac{1}{20}(m_1 + m_2) \text{ gram}$

E.  $\frac{1}{20}(3m_2 - m_1) \text{ gram}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$T_{es} = -8^\circ\text{C}$$

$$m_{es} = m_1$$

$$T_a = 12^\circ\text{C}$$

$$m_a = m_2$$

$$L = 80 \text{ kal/g}$$

Ditanyakan:  $m_{es \text{ lebur}}$

Jawab:

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

$$m_{es} c_{es} \Delta T + m_{es \text{ lebur}} L = m_{air} c_{air} \Delta T$$

$$(m_1) (0,5 \text{ kal/g}^\circ\text{C})(8^\circ\text{C}) + (m_{es \text{ lebur}})(80 \text{ kal/kg})$$

$$= (m_1) (1 \text{ kal/kg}^\circ\text{C})$$

$$4 m_1 + 80 m_{es \text{ lebur}} = 12 m_2$$

$$80 m_{es \text{ lebur}} = 12 m_2 - 4 m_1$$

$$m_{es \text{ lebur}} = \frac{12m_2 - 4m_1}{80} = \frac{1}{20} (3m_2 - m_1)$$

Jadi, massa es yang melebur sebanyak

$$\frac{1}{20}(3m_2 - m_1).$$

-----**Jawaban: E**

9. Hasil campuran 1 gram es bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$  dengan 1 cc air bersuhu  $0^{\circ}\text{C}$  dalam wadah dinding adiabatik adalah....
- A. Air dan es yang jumlahnya tidak dapat ditentukan
  - B. Air sedikit lebih banyak dari es
  - C. 0,5 gram es dan 1,5 cc air
  - D. 1 gram es dan 1 cc air
  - E. 1,5 gram es dan 0,5 cc air

**Pembahasan CERDAS:**

Adiabatik artinya tidak ada perubahan kalor sehingga kondisinya tetap seperti semula. Wadah yang digunakan adalah dinding adiabatik, artinya wadah tidak menyerap atau melepas kalor. Oleh karena itu, kondisinya adalah 1 gram es dan 1 cc air.

-----**Jawaban: D**

10. Jika suatu zat mempunyai kalor jenis tinggi, maka zat itu :

- A. lambat mendidih
- B. cepat mendidih
- C. lambat melebur
- D. lambat naik suhunya jika dipanaskan
- E. cepat naik suhunya jika dipanaskan

**Pembahasan CERDAS:**

Jika suatu zat memiliki kalor jenis tinggi, maka zat tersebut dapat menyimpan kalor dalam jumlah yang besar sehingga mengakibatkan butuh energi yang lebih banyak untuk menaikkan suhu zat tersebut. Hal ini menyebabkan zat yang memiliki kalor jenis tinggi akan lebih lambat naik suhunya dibandingkan zat yang kalor jenisnya rendah jika dipanaskan.

-----**Jawaban: D**

Visi  
Mandiri



## - BAB 11 - Teori Kinetik Gas dan Termodinamika

### Rangkuman Materi

#### A. Persamaan Gas Ideal

##### 1. Ciri-ciri Gas Ideal

Gas dapat dikatakan ideal jika memenuhi kriteria berikut.

- Terdiri dari molekul yang identik.
- Molekul bergerak secara acak.
- Tidak terjadi gaya interaksi antarmolekul.
- Ukuran molekul gas dapat diabaikan terhadap ukuran wadah.
- Molekul gas terdistribusi merata dalam wadah.
- Tumbukan antar molekul bersifat elastis sempurna.

##### 2. Hukum-hukum tentang Gas

###### a. Hukum Boyle

Hukum Boyle berbunyi “Jika suhu gas yang berada dalam bejana tertutup dipertahankan konstan, maka tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya”.

$$p \sim \frac{1}{V}$$

Apabila dituliskan dalam persamaan matematis akan berlaku persamaan berikut:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Keterangan:

$p_1$  = tekanan ketika kondisi awal (Pa)

$V_1$  = volume ketika kondisi awal ( $m^3$ )

$p_2$  = tekanan ketika kondisi akhir (Pa)

$V_2$  = volume ketika kondisi akhir ( $m^3$ )

###### b. Hukum Charles

Hukum Charles berbunyi “Jika tekanan gas yang berada dalam bejana tertutup dipertahankan konstan, maka volume gas sebanding dengan suhu mutlaknya”.

$$V \sim T$$

Berdasarkan hubungan di atas akan berlaku persamaan berikut:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Keterangan:

$V_1$  = volume ketika kondisi awal ( $m^3$ )

$V_2$  = volume ketika kondisi akhir ( $m^3$ )

$T_1$  = suhu ketika kondisi awal (K)

$T_2$  = suhu ketika kondisi akhir (K)

### c. Hukum Gay-Lussac

Hukum Gay-Lussac berbunyi “Jika tekanan gas yang berada dalam bejana tertutup dipertahankan konstan, maka tekanan gas sebanding dengan suhu mutlaknya”.

$$P \sim T$$

Jika ditulis dalam persamaan matematis sebagai berikut.

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Keterangan:

$p_1$  = tekanan ketika kondisi awal (Pa)

$p_2$  = tekanan ketika kondisi akhir (Pa)

$T_1$  = suhu ketika kondisi awal (K)

$T_2$  = suhu ketika kondisi akhir (K)

### d. Hukum Boyle-Gay Lussac

Hukum Boyle - Gay Lussac merupakan gabungan dari hukum Boyle, hukum Charles, dan hukum Gay Lussac, sehingga berlaku persamaan berikut.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Keterangan:

$P_1$  = tekanan awal ( $N/m^2$ )

$P_2$  = tekanan akhir ( $N/m^2$ )

$V_1$  = volume awal ( $m^3$ )

$V_2$  = volume akhir ( $m^3$ )

$T_1$  = suhu awal (K)

$T_2$  = suhu akhir (K)

## 3. Persamaan Umum Gas Ideal

Dalam keadaan tertentu, sejumlah mol gas ideal dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$pV = NkT \text{ atau } pV = nRT$$

Keterangan:

$P$  = tekanan gas ideal ( $N/m^2$ )

$V$  = volume gas ideal ( $m^3$ )

$N$  = jumlah molekul zat

$n$  = perbandingan massa suatu partikel terhadap massa relatifnya (mol)

$k$  = konstanta Boltzmann ( $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )

$R$  = konstanta gas umum ( $R = 8,31 \text{ J/mol K}$ )

$T$  = suhu gas ideal (K)

Jumlah mol zat ( $n$ ) dapat ditentukan dengan persamaan.

$$n = \frac{N}{N_A} \text{ atau } n = \frac{m}{M_r}$$

Keterangan:

$N_A$  = bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  partikel)

$m$  = massa partikel gas

$M_r$  = massa relatif molekul gas

$N$  = jumlah partikel

---

## B. Kelajuan Efektif

---

Dalam gas ideal tekanan, suhu dan kecepatan dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

### 1. Tekanan Gas

Tekanan gas pada suatu partikel berbanding lurus dengan energi kinetik suatu partikel. Adapun hubungannya sebagai berikut.

$$p = \frac{2}{3} \frac{N \bar{E}_k}{V}$$

Keterangan:

$p$  = tekanan (Pa)

$N$  = jumlah partikel

$V$  = volume ( $m^3$ )

$\bar{E}_k$  = energi kinetik rata-rata suatu partikel (joule)

### 2. Suhu Gas

Suhu gas ideal jika dipandang dari sudut mikroskopik akan berlaku persamaan berikut.

$$T = \frac{2}{3k} \bar{E}_k$$

Keterangan:

$T$  = suhu gas ideal (K)

$k$  = tetapan Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$ )

$\bar{E}_k$  = energi kinetik rata-rata suatu partikel (joule)

### 3. Kecepatan efektif

Molekul-molekul gas bergerak secara acak dan tidak memiliki kecepatan yang sama satu dengan yang lain. Semisal, dalam suatu wadah tertutup sebanyak  $N_1$  molekul bergerak dengan kecepatan  $v_1$ ,  $N_2$  molekul bergerak dengan kecepatan  $v_2$ , dan seterusnya. Rata-rata kuadrat kecepatan partikel gas  $\bar{v}^2$  dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\bar{v}^2 = \frac{N_1 v_1^2 + N_2 v_2^2 + \dots}{N_1 + N_2 + \dots} = \frac{\sum (N_i v_i^2)}{N}$$

Kecepatan efektif ( $v_{rms}$ ) didefinisikan sebagai akar dari rata-rata kuadrat kecepatan. Apabila dituliskan dalam persamaan matematis, maka akan menjadi persamaan berikut.

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_r}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

Keterangan:

$N$  = jumlah partikel zat

$E_k$  = energi kinetik rata-rata (J)

$m_0$  = massa sebuah partikel gas (kg)

$M_r$  = massa molekul relatif (kg/mol)

$\rho$  = massa jenis gas ideal ( $\text{kg/m}^3$ )

### C. Energi Dalam

Energi dalam suatu gas ideal didefinisikan sebagai jumlah energi kinetik translasi, rotasi, dan vibrasi seluruh molekul gas yang terdapat di dalam suatu wadah tertentu. Energi dalam dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$U = N\bar{E}_k = Nf\left(\frac{1}{2}kT\right)$$

Keterangan:

$f$  = derajat kebebasan molekul gas

$U$  = energi dalam (joule)

$N$  = jumlah partikel zat

$E_k$  = energi kinetik gas (joule)

$T$  = suhu (Kelvin)

Berdasarkan persamaan di atas, energi dalam suatu gas dipengaruhi oleh derajat kebebasan. Derajat kebebasan suatu gas dipengaruhi jenis gas, baik gas monoatomik maupun gas diatomik.

1. Gas monoatomik ( $f = 3$  seperti He, Ne, dan Ar)

$$U = N\bar{E}_k = \frac{3}{2}NkT$$

2. Gas diatomik seperti  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$

- a. Suhu rendah ( $T = \pm 250$  K),  $f = 3$

$$U = N\bar{E}_k = \frac{3}{2}NkT$$

- b. Suhu sedang ( $T = \pm 500$  K),  $f = 5$

$$U = N\bar{E}_k = \frac{5}{2}NkT$$

- c. Suhu tinggi ( $T = \pm 1000$  K),  $f = 7$

$$U = N\bar{E}_k = \frac{7}{2}NkT$$

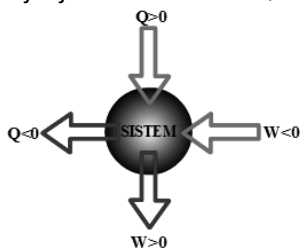
### D. Hukum Termodinamika

#### 1. Hukum I Termodinamika

Hukum I Termodinamika menyatakan bahwa untuk setiap proses dalam termodinamika apabila kalor  $Q$  diberikan kepada sistem dan sistem melakukan usaha  $W$ , maka akan terjadi perubahan energi dalam  $\Delta U$ .

$$Q = \Delta U + W$$

Perjanjian tanda untuk  $Q$  dan  $W$  adalah sebagai berikut.

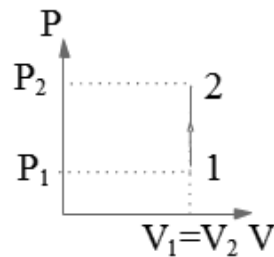


1.  $W$  bertanda positif jika sistem melakukan usaha terhadap lingkungan
2.  $W$  bertanda negatif jika sistem menerima usaha dari lingkungan.
3.  $Q$  bertanda positif jika sistem menerima kalor dari lingkungan.
4.  $Q$  bertanda negatif jika sistem memberikan kalor kepada lingkungan.



## 2. Proses Termodinamika

### a. Proses Isokhorik



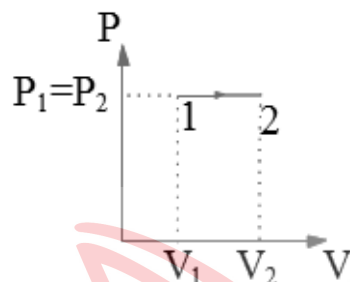
Proses isokhorik merupakan proses termodinamika yang terjadi pada gas dalam keadaan volume tetap.

Pada proses isokhorik berlaku persamaan usaha  $W = 0$ , maka  $Q = \Delta U$ . Sehingga:

$$Q = \frac{3}{2} nRT(T_2 - T_1)$$

### b. Proses Isobarik

Proses isobarik merupakan proses termodinamika yang terjadi pada gas keadaan tekanan tetap.



Pada proses isobarik berlaku persamaan.

$$W = P(V_2 - V_1)$$

Perubahan energi dalam  $\Delta U$

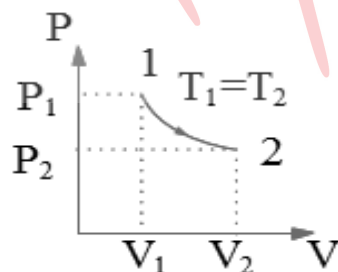
$$\Delta U = \frac{3}{2} P(V_2 - V_1)$$

Sehingga besarnya kalor dapat dihitung melalui persamaan

$$Q = \frac{5}{2} P(V_2 - V_1)$$

### c. Proses Isotermik

Proses isobarik merupakan proses termodinamika yang terjadi pada gas keadaan suhu tetap.



Pada proses isotermik berlaku persamaan.

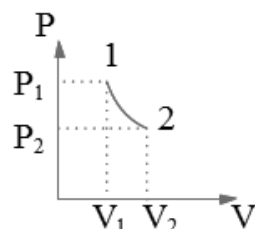
Besar Usaha  $W$  yang dihasilkan sebagai berikut.

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Perubahan energi dalam  $\Delta U = 0$  maka kalor  $Q = W$

### d. Proses Adiabatik

Proses adiabatik merupakan proses termodinamika yang berlangsung tanpa adanya pertukaran kalor antara sistem dan lingkungan.



Pada proses adiabatik berlaku persamaan.

Usaha  $W$

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} (P_1 V_1 - P_2 V_2)$$

Karena  $Q = 0$  sehingga  $\Delta U = -W$  dengan  $\gamma$  = konstanta Laplace

## E. Mesin Carnot dan Mesin Pendingin

### 1. Mesin Carnot

Mesin Carnot adalah mesin efisien yang bekerja dalam suhu reservoir tinggi dan suhu reservoir rendah. Oleh karena itu, suatu mesin Carnot memiliki efisiensi. Adapun rumus dari efisiensi mesin Carnot sebagai berikut.

$$\eta = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100\%$$

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\%$$

Keterangan:

$\eta$  = efisiensi mesin kalor

$T_2$  = suhu pada reservoir rendah (K)

$T_1$  = suhu pada reservoir tinggi (K)

$W$  = usaha (joule)

$Q_1$  = kalor yang diserap (joule)

$Q_2$  = kalor yang dilepas (joule)

### 2. Mesin Pendingin

Prinsip kerja dari lemari es dan penyejuk ruangan merupakan kebalikan dari siklus Carnot atau mesin pemanas. Alat ini mengalirkan kalor keluar dari lingkungan sejuk ke lingkungan hangat. Sebagai contoh: lemari es, sistem menerima kerja sebesar  $W$  dan menyerap kalor dengan suhu reservoir rendah  $T_2$  sebesar  $Q_2$  serta membuang sejumlah kalor yang lebih besar ke reservoir suhu tinggi  $T_1$  sebesar  $Q_1$ . Unjuk kerja dari lemari es dapat ditentukan melalui koefisien performansi  $K_p$ .

$$K_p = \frac{Q_2}{W} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

## Soal dan Pembahasan

1. Suhu gas nitrogen pada saat kelajuan *rms*-nya (*root mean square*) sama dengan  $v_1$  adalah 300 K. Jika kelajuan *rms* gas nitrogen diperbesar menjadi dua kali dari  $v_1$ , maka suhu gas nitrogen tersebut berubah menjadi ....

- A. 425 K
- B. 600 K
- C. 1.146 K
- D. 1.200 K
- E. 2.292 K

#### Pembahasan CERDAS:

Hubungan antara  $v_{rms}$  dengan suhu dapat dilihat dalam persamaan berikut.

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

Berdasarkan persamaan tersebut,  $v_{rms}$  berbanding lurus dengan  $\sqrt{T}$ . Jika  $v_{rms}$  dinaikkan menjadi dua kalinya, maka suhunya berubah menjadi:

$$\frac{v_{rms\ 1}}{v_{rms\ 2}} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

$$\frac{v_{rms\ 1}}{2v_{rms\ 1}} = \sqrt{\frac{300}{T_2}}$$

$$\frac{1}{2} = \sqrt{\frac{300}{T_2}}$$

$$T_2 = 1.200\text{ K}$$

-----Jawaban: D

2. Sebuah wadah tertutup diisi  $n$  mol gas ideal monoatomik. Suhu dan tekanan gas adalah  $T_0$  dan  $p_0$ , sedangkan volume wadah dijaga tetap. Ketika suhunya diturunkan menjadi  $\frac{3}{4}T_0$ , maka ....

- (1) tekanannya menjadi  $\frac{3}{4}p_0$
- (2) energi yang dilepas adalah  $\frac{3}{4}nRT_0$
- (3) usaha yang dilakukan gas adalah nol
- (4) perubahan energi dalamnya adalah  $-\frac{3}{4}nRT_0$

**Pembahasan CERDAS:**

Jika suhunya diturunkan menjadi  $\frac{3}{4}T_0$  dan dalam kondisi isokhorik, maka:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{p_0}{p_2} = \frac{T_0}{\frac{3}{4}T_0}$$

$$p_2 = \frac{4}{3}p_0$$

**Pernyataan (1) benar.**

Dalam proses isokhorik, usaha yang dilakukan bernilai nol ( $W = 0$ ).

**Pernyataan (3) benar**

Energi yang dilepas pada proses tersebut

$$E = \frac{3}{2}nRT_2 = \frac{3}{2}nR\frac{3}{4}T_0 = \frac{9}{8}nRT_0$$

**Pernyataan (2) salah**

Perubahan energi dalam yang terjadi:

$$E = \frac{3}{2}nR\Delta T$$

$$E = \frac{3}{2}nR(T_2 - T_1)$$

$$E = \frac{3}{2}nR\left(\frac{3}{4}T_0 - T_0\right)$$

$$E = \frac{3}{2}nR\left(-\frac{1}{4}T_0\right)$$

$$E = -\frac{3}{8}nRT_0$$

**Pernyataan (4) salah.**

Jadi, pernyataan yang benar adalah pernyataan (1) dan pernyataan (3).

-----**Jawaban: B**

3. Suatu mesin Carnot mempunyai efisiensi 30% dengan temperatur reservoir suhu tinggi sebesar 750 K. Agar efisiensi mesin naik menjadi 50%, maka temperatur reservoir suhu tinggi harus dinaikkan menjadi ...

- A. 1.050 K
- B. 1.000 K
- C. 950 K
- D. 900 K
- E. 850 K

**Pembahasan CERDAS:**

$$\eta_1 = 30\%$$

$$T_{1\text{awal}} = 750 \text{ K}$$

$$\eta_1 = 50\%$$

Kondisi awal

$$\eta_1 = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$30\% = \left(1 - \frac{T_2}{750}\right) \times 100\%$$

$$0,3 = 1 - \frac{T_2}{750}$$

$$\frac{T_2}{750} = 0,7$$

$$T_2 = 525 \text{ K}$$

Kondisi akhir

$$\eta_2 = \left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$50\% = \left(1 - \frac{525}{T_1}\right) \times 100\%$$

$$0,5 = 1 - \frac{525}{T_1}$$

$$\frac{525}{T_1} = 0,5$$

$$T_1 = 1.050 \text{ K}$$

-----**Jawaban: A**

4. Satu mol gas ideal mengalami proses isothermal pada suhu  $T$  sehingga volumenya menjadi dua kali. Jika  $R$  adalah konstanta gas molar, usaha yang dikerjakan oleh gas selama proses tersebut adalah ....

- A.  $RTV$
- B.  $RT \ln V$
- C.  $2RT$
- D.  $RT \ln 2$
- E.  $RT (\ln 2V)$

**Pembahasan CERDAS:**

Dalam soal dijelaskan gas ideal mengalami proses isothermal. Pada proses isothermal, tidak ada perubahan energi dalam ( $\Delta U = 0$ ). Adapun usaha yang dilakukan dalam proses tersebut adalah:

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W = (1 \text{ mol}) RT \ln \frac{2V}{V}$$

$$W = RT \ln 2$$

-----**Jawaban: D**

5.  $2 \text{ m}^3$  gas helium bersuhu  $27^\circ\text{C}$  dipanaskan secara isobarik sampai suhunya menjadi  $77^\circ\text{C}$ . Jika tekanan gas adalah  $3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , maka usaha yang dilakukan gas helium adalah ....
- A. 100 kJ  
B. 140 kJ  
C. 200 kJ  
D. 260 kJ  
E. 320 kJ

(SPMB 2006)

**Pembahasan CERDAS:**

Berdasarkan soal, besaran-besaran yang diketahui sebagai berikut.

$$V_1 = 2 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}$$

$$T_2 = 77^\circ\text{C} = 350 \text{ K}$$

$$p = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Apabila terjadi proses isobarik, maka besarnya  $V_2$  adalah:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{2}{300} = \frac{V_2}{350}$$

$$V_2 = \frac{7}{3} \text{ m}^3$$

Besar usaha yang dialami gas adalah sebagai berikut.

$$W = p\Delta V$$

$$W = (3 \times 10^5)(V_2 - V_1)$$

$$W = (3 \times 10^5) \left( \frac{7}{3} - 2 \right)$$

$$W = (3 \times 10^5) \left( \frac{1}{3} \right)$$

$$W = 100.000 \text{ J}$$

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

-----**Jawaban: A**

6. Suatu mesin Carnot menerima 2.000 J dari reservoir panas dan melepaskan 1.750 J pada reservoir dingin. Dengan demikian efisiensi mesin tersebut adalah ....
- A. 6,25%  
B. 10%  
C. 12,5%  
D. 25%  
E. 87,5%

**Pembahasan CERDAS:**

$$Q_1 = 2.000 \text{ J}$$

$$Q_2 = 1.750 \text{ J}$$

$$\eta = \left( 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \right) \times 100\%$$

$$\eta = \left( 1 - \frac{1.750}{2.000} \right) \times 100\%$$

$$\eta = \frac{250}{2.000} \times 100\% = 12,5\%$$

-----**Jawaban: C**

7. Gas ideal yang melakukan pengembangan volume secara isobaris tidak melakukan usaha

SEBAB

Usaha yang dilakukan oleh gas ideal ketika mengembang sebanding dengan perubahan tekanan gas.

**Pembahasan CERDAS:**

Gas ideal yang volumenya mengembang (bertambah) akan melakukan usaha yang dinotasikan dalam persamaan  $W = p\Delta V$ . Usaha yang dilakukan gas tidak sebanding dengan perubahan tekanan.

-----**Jawaban: E**

8. Sebuah tabung berisi gas ideal. Menurut teori kinetik gas dan prinsip ekipartisi energi ...
- (1) molekul gas mengalami perubahan dengan dinding tabung
  - (2) energi yang tersimpan dalam gas berbanding lurus dengan suhu mutlaknya
  - (3) energi yang tersimpan dalam gas berbanding lurus dengan jumlah (banyaknya) derajat kebebasannya

- (4) pada saat bertumbukan dengan dinding tabung molekul gas kehilangan energi

**Pembahasan CERDAS:**

$p = mv$ , karena arah kecepatan  $v$  berbalik setelah tumbukan, sehingga momentum molekul gas berubah

**Pernyataan (1) benar**

$E_k = \frac{f}{2}kT$  sehingga  $E_k$  berbanding lurus dengan suhu mutlaknya

**Pernyataan (2) benar**

Berdasarkan persamaan  $E_k = \frac{f}{2}kT$ , dengan  $f$  sebagai derajat kebebasan, maka energi yang tersimpan dalam gas berbanding lurus dengan banyaknya derajat kebebasan.

**Pernyataan (3) benar**

Tumbukan antara molekul dan dinding, serta antarmolekul adalah tumbukan lenting sempurna sehingga tidak ada energi yang hilang

**Pernyataan (4) salah**

Jadi, jawaban yang tepat adalah jawaban (1), (2), dan (3)

-----**Jawaban: A**

9. Mesin Carnot dioperasikan antara 2 reservoir kalor masing-masing suhunya  $T_1$  dan  $T_2$  dengan  $T_2 > T_1$ . Efisiensi mesin tersebut 40% dan besarnya  $T_1 = 27^\circ\text{C}$ . Agar efisiensinya naik menjadi 60%, maka besarnya perubahan  $T_2$  adalah ...

- A. 250 K  
B. 300 K  
C. 350 K  
D. 400 K  
E. 500 K

**Pembahasan CERDAS:**

Berdasarkan soal,  $T_1 = T_{\text{rendah}}$ , sedangkan  $T_2 = T_{\text{tinggi}}$ . Apabila dihubungkan dengan efisiensi mesin Carnot adalah sebagai berikut.

$$\eta = \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) \times 100\%$$

$$40\% = \left(1 - \frac{300}{T_2}\right) \times 100\%$$

$$0,4 = 1 - \frac{300}{T_2}$$

$$\frac{300}{T_2} = 0,6$$

$$T_2 = 500 \text{ K}$$

Jika efisiensinya naik 60%, maka:

$$\eta = \left(1 - \frac{T_1}{T_2}\right) \times 100\%$$

$$60\% = \left(1 - \frac{300}{T_2}\right) \times 100\%$$

$$0,6 = 1 - \frac{300}{T_2}$$

$$\frac{300}{T_2} = 0,4$$

$$T_2 = 750 \text{ K}$$

$$\Delta T_2 = 750 - 250 = 500 \text{ K}$$

-----**Jawaban: E**

10. Partikel-partikel gas ideal memiliki sifat antara lain ....

- (1) Selalu bergerak  
(2) Tidak tarik menarik  
(3) Bertumbukan lenting sempurna  
(4) Tidak mengikuti hukum Newton tentang gerak

**Pembahasan CERDAS:**

Sifat-sifat partikel gas ideal antara lain:

- Selalu bergerak
- Tidak saling menarik
- Bertumbukan lenting sempurna
- Mengikuti aturan hukum Newton tentang gerak

Jadi (1), (2), dan (3) benar.

-----**Jawaban: A**



## - BAB 12 - Optik Geometri

### Rangkuman Materi

#### A. Pemantulan dan Cermin

##### 1. Pemantulan (Refleksi)

Hukum Snellius tentang pemantulan cahaya pada cermin datar :

- Sinar datang, sinar pantul, dan garis normal terletak pada satu bidang datar
- Sudut datang sama dengan sudut pantul

##### 2. Cermin Datar

Pada cermin datar berlaku:

- Bayangan yang terbentuk di belakang cermin datar jaraknya sama dengan benda di depan cermin datar.
- Bayangan bersifat sama besar, maya, dan tegak.
- Bayangan dan benda saling berhadapan sama persis.
- Jika dua cermin mendatar dirangkai membentuk sudut  $\alpha$ , maka jumlah bayangan  $n$  yang dibentuk adalah:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

##### 3. Cermin Lengkung (Spheris)

Cermin lengkung adalah cermin yang memiliki permukaan lengkung. Secara umum cermin lengkung dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

###### a. Cermin Cekung (Concave)

Jari-jari dan fokus bernilai positif

$$R = 2f$$

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

Perbesaran cermin cekung

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{h'}{h}$$

###### b. Cermin Cembung (Conveks)

Jari-jari dan fokus bernilai negatif

$$R = 2f$$

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

Perbesaran cermin cekung

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{h'}{h}$$

Keterangan:

R = jari-jari cermin lengkung

f = jarak fokus / titik api

s = jarak benda ke cermin

s' = jarak bayangan ke cermin

h' = tinggi bayangan

h = tinggi benda

M = perbesaran bayangan yang dibentuk

Posisi benda dan bayangan pada cermin juga berpengaruh terhadap nilainya. Berikut ini diagram pada cermin lengkung

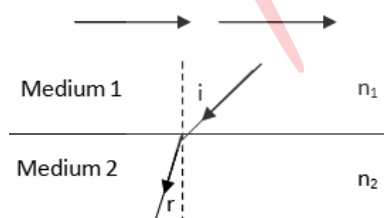
Posisi	
Depan	Belakang
s positif	s negatif
s' positif	s' negatif
→	→

## B. Pembiasan Lensa dan Prisma

### 1. Pembiasan (Refraksi)

Pembiasan merupakan peristiwa pembelokkan garis-garis cahaya karena melewati medium yang berbeda.

Hukum Snellius tentang pembiasan:



maka juga berlaku,  
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Keterangan:

$n_1$  = indeks bias medium 1

$n_2$  = indeks bias medium 2

i = sudut sinar datang

r = sudut sinar bias

$v_1$  = kecepatan cahaya di medium 1

$v_2$  = kecepatan cahaya di medium 2

$\lambda_1$  = panjang gelombang pada medium 1

$\lambda_2$  = panjang gelombang pada medium 2

Sehingga pada pembiasan berlaku:

- Sinar datang dari medium rapat ke renggang akan menjauhi garis normal
- Sinar datang dari medium renggang ke rapat akan mendekati garis normal

### 2. Pembiasan pada Lensa

Pembiasan dapat terjadi pada lensa, di mana berlaku:

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

Jika terdiri dari dua permukaan yang berbeda dan berada dalam medium yang berbeda, maka:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_l}{n_m} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Keterangan:

$n_l$  = indeks bias lensa

$n_m$  = indeks bias medium

Perbesaran bayangan yang dibentuk adalah:

$$M = \left| \frac{s'}{s} \right| = \frac{h'}{h}$$

Diagram sifat benda dan bayangan pada lensa

Posisi	
Depan	Belakang
$s$ positif	$s$ negatif
$s'$ negatif	$s'$ positif

Kekuatan lensa dalam dioptri

$$P = \frac{1}{f} \text{ (jika } f \text{ dalam m)}$$

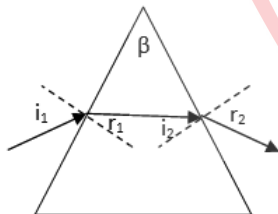
$$P = \frac{100}{f} \text{ (jika } f \text{ dalam cm)}$$

**\*Catatan:**

Fokus **lensa cembung** bernilai **positif**

Fokus **lensa cekung** bernilai **negatif**

### 3. Pembiasan pada Prisma



Pembiasan pada prisma berlaku:

Sudut puncak/pembias

$$\beta = r_1 + i_2$$

Sudut deviasi

$$\delta = i_1 + r_2 - \beta$$

Deviasi minimum berlaku bila

$$i_1 = r_2$$

Sehingga:

$$\frac{\sin\left(\frac{\delta_m + \beta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Untuk sudut pembias yang kecil, di mana  $\beta < 15^\circ$

$$\delta_m = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \beta \text{ atau } \delta_m = 2i_1 - \beta$$

dengan

$\beta$  = sudut pembias

$\delta$  = sudut deviasi

$\delta_m$  = sudut deviasi minimum



---

## C. Alat Optik

---

### 1. Mata

Secara umum cacat mata dibedakan menjadi:

#### a. Miopi (Rabun Jauh)

*Miopi* adalah kondisi mata yang tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya jauh. Penderita miopi titik jauhnya lebih dekat daripada tak terhingga (titik jauh  $< \infty$ ) dan titik dekatnya kurang dari 25 cm.

Pada penderita ini dapat ditolong dengan lensa cekung (negatif). Kekuatan lensa dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = \frac{100}{-PP} \text{ dengan PP = titik terjauh dari mata}$$

#### b. Hipermetropi (Rabun Dekat)

*Hipermetropi* adalah cacat mata di mana mata tidak dapat melihat dengan jelas benda-benda yang letaknya dekat. Titik dekatnya lebih jauh daripada titik dekat mata normal (titik dekat  $> 25$  cm). Pada penderita ini dapat ditolong dengan lensa cembung (positif). Kekuatan lensa dapat dirumuskan sebagai:

$$P = \frac{100}{Sn} - \frac{100}{PR}$$

Keterangan:

Sn = titik dekat mata normal (25 cm)

PR = titik terdekat dari mata

#### c. Presbiopi (Mata Tua)

Pada mata presbiopi (mata tua), titik dekatnya lebih jauh daripada titik dekat mata normal (titik dekat  $> 25$  cm) dan titik jauhnya lebih dekat daripada titik jauh mata normal ( $< \infty$ ). Penderita presbiopi dapat ditolong dengan kaca mata berlensa rangkap (kacamata bifokal).

#### d. Astigmatisme

*Astigmatisma* adalah cacat mata dimana kelengkungan selaput bening atau lensa mata tidak merata sehingga berkas sinar yang mengenai mata tidak dapat terpusat dengan sempurna. Cacat mata astigmatisma tidak dapat membedakan garis-garis tegak dengan garis-garis mendatar secara bersama-sama. Cacat mata ini dapat ditolong dengan kaca mata berlensa silinder.

### 2. Lup (Kaca Pembesar)

Secara umum perbesaran pada lup ada dua macam, yaitu:

Mata tanpa berakomodasi

$$M = \frac{Sn}{f}$$

Mata berakomodasi maksimum

$$M = \frac{Sn}{f} + 1$$

### 3. Mikroskop

Sebuah mikroskop memiliki dua lensa cembung. Dua lensa cembung tersebut berada di dekat mata dan di dekat benda. Lensa cembung di dekat benda dinamakan lensa objektif, sedangkan lensa di dekat mata dinamakan lensa okuler.

Bayangan yang dihasilkan oleh lensa objektif adalah nyata, terbalik, diperbesar. Adapun bayangan akhir yang dibentuk oleh lensa okuler adalah maya, terbalik, dan diperbesar.

**a. Tanpa berakomodasi**

Perbesaran bayangan

$$M = \left| \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \frac{S_n}{f_{ok}} \right|$$

Jarak antara lensa objektif dan lensa okuler

$$d = s'_{ob} + f_{ok}$$

**b. Berakomodasi maksimum**

Perbesaran bayangan

$$M = \left| \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \left( \frac{S_n}{f_{ok}} + 1 \right) \right|$$

Jarak antara lensa objektif dan lensa okuler

$$d = s'_{ob} + s_{ok}$$

Keterangan:

M = perbesaran bayangan total

$s'_{ob}$  = jarak bayangan lensa objektif (cm)

$s_{ob}$  = jarak benda lensa objektif (cm)

$S_n$  = jarak titik dekat mata pengamat (cm)

d = jarak antara lensa objektif dan lensa okuler (cm)

$f_{ok}$  = fokus lensa okuler (cm)

$s_{ok}$  = jarak benda lensa okuler (cm)

**4. Teropong**

Teropong/teleskop digunakan untuk melihat benda yang sangat jauh. Pada dasarnya teropong terbagi menjadi dua macam, yaitu teropong bias dan teropong pantul.

**a. Teropong Bias**

Teropong bias terdiri dari teropong bintang, teropong bumi, teropong prisma, dan teropong panggung.

**1) Teropong bintang**

Teropong bintang digunakan untuk mengamati benda-benda di angkasa.

**a) Tidak Berakomodasi**

Perbesaran bayangan yang dihasilkan

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

Jarak antara lensa objektif dan okuler sebagai berikut.

$$d = f_{ob} + f_{ok}$$

**b) Berakomodasi maksimum**

Perbesaran bayangan yang dihasilkan

$$M = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

Jarak antara lensa objektif dan lensa okuler

$$d = f_{ob} + s_{ok}$$

**2) Teropong bumi**

Teropong bumi digunakan untuk mengamati benda-benda yang berada di permukaan bumi.

**a) Tidak Berakomodasi**

Perbesaran bayangan yang dihasilkan

$$M = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

Jarak antara lensa objektif dan okuler sebagai berikut.

$$d = f_{ob} + 4f_p + f_{ok}$$

b) Berakomodasi maksimum

Perbesaran bayangan yang dihasilkan

$$M = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$$

Jarak antara lensa objektif dan lensa okuler

$$d = f_{ob} + 4f_p + s_{ok}$$

Keterangan:

$f_p$  = jarak fokus lensa pembalik

### 3) Teropong Pantul

Dinamakan teropong pantul karena pada lensa objektif digunakan cermin cekung besar yang digunakan untuk memantulkan cahaya.

## Soal dan Pembahasan

1. Jika cahaya monokromatik merambat dari dalam kaca menuju ruang hampa, maka ...

- (1) kecepatannya berubah menjadi lebih lambat
- (2) frekuensinya tetap
- (3) panjang gelombangnya menjadi lebih pendek
- (4) energi fotonnya tetap

#### Pembahasan CERDAS:

- (1) Kecepatannya tentu berubah lebih cepat karena  $n = \frac{c}{v}$
- (2) frekuensinya tetap
- (3) panjang gelombangnya menjadi lebih panjang karena kaca lebih renggang daripada ruang hampa.
- (4) energi fotonnya tetap karena frekuensinya juga tetap

Jawaban yang sesuai adalah (2) dan (4)

-----**Jawaban: C**

2. Lensa bikonveks terbuat dari bahan kaca dengan indeks bias 1,5. Permukaan lensa memiliki jejari kelengkungan 10 cm dan 20. Jika lensa lensa terletak di udara, maka besar fokus lensa adalah ...

- A. 10 cm
- B. 11,3 cm
- C. 12,3 cm
- D. 13,3 cm
- E. 14 cm

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$n = 1,5$$

$$R_1 = 10 \text{ cm}$$

$$R_2 = 20 \text{ cm}$$

Ditanyakan:  $f$

Jawab:

Jika terdiri dari dua permukaan yang berbeda dan berada dalam medium yang berbeda, maka:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_l}{n_m} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Medium udara, jadi  $n_m = 1$  dan  $n_l = 1,5$ , serta  $R_1 = 10 \text{ cm}$  dan  $R_2 = 20 \text{ cm}$

$$\frac{1}{f} = (1,5 - 1) \left( \frac{1}{10} + \frac{1}{20} \right)$$

$$f = \frac{20}{1,5} = 13,3 \text{ cm}$$

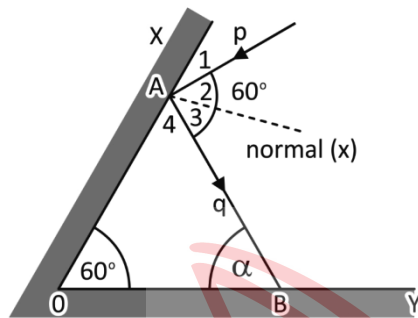
Jadi, fokus lensa saat di udara adalah 13,3 cm.

-----**Jawaban: D**

3. Dua buah cermin datar X dan Y saling berhadapan dan membentuk sudut  $60^\circ$ . Seberkas sinar menuju X dengan sudut datang  $60^\circ$  hingga dipantulkan ke arah Y. Sinar tersebut meninggalkan Y dengan sudut pantul sebesar ...
- A.  $90^\circ$   
 B.  $60^\circ$   
 C.  $45^\circ$   
 D.  $30^\circ$   
 E.  $0^\circ$

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan gambar berikut!



Sinar menuju bidang X dengan sudut datang  $60^\circ$ . Berdasarkan hukum pemantulan sempurna, maka sudut pantulnya bernilai sama dengan sudut datang, yaitu  $60^\circ$ . Oleh karena itu, sudut  $A_4$  pada gambar dapat ditentukan dengan perhitungan berikut.

$$\angle A_3 + \angle A_4 = 90^\circ$$

$$60^\circ + \angle A_4 = 90^\circ$$

$$\angle A_4 = 30^\circ$$

Perhatikan segitiga AOB. Jumlah sudut segitiga AOB adalah  $180^\circ$  sehingga diperoleh nilai  $\alpha$  sebagai berikut.

$$\angle A_4 + 60^\circ + \alpha = 180^\circ$$

$$30^\circ + 60^\circ + \alpha = 180^\circ$$

$$\alpha = 90^\circ$$

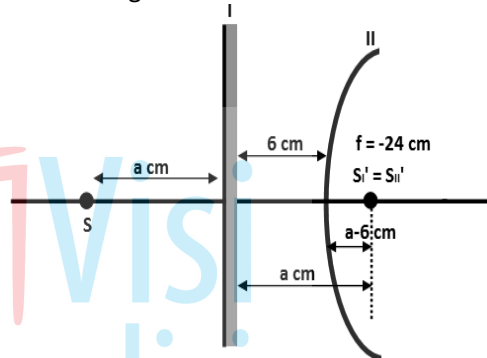
Jika sebuah sinar datang tegak lurus dengan bidang, maka sinar akan dipantulkan kembali sesuai arah datangnya sinar. Oleh karena itu, sudut pantulnya sebesar  $0^\circ$ .

-----**Jawaban: E**

4. Keping kaca tipis yang dapat memantulkan sebagian cahaya terletak pada jarak 6 cm di depan cermin cembung. Sumber cahaya di titik S diletakkan pada jarak  $a$  cm di muka keping sehingga bayangannya dalam kaca berimpit dengan bayangannya dalam cermin cembung. Jika jarak fokus cermin cembung 24 cm, maka  $a$  sama dengan ....
- A. 18 cm  
 B. 12 cm  
 C. 9 cm  
 D. 6 cm  
 E. 4 cm

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan gambar berikut!



Berdasarkan gambar tersebut, jarak bayangan yang dihasilkan oleh kaca disebut  $-a$ . Tanda negatif menyatakan bahwa bayangan terletak di dalam kaca. Sementara itu, jarak benda hasil pemantulan kaca ditunjukkan pada jarak  $a+6$  cm sehingga jarak bayangannya terhadap cermin cembung ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut.

$$s'_2 = \frac{s_2 f_2}{s_2 - f_2}$$

$$s'_2 = \frac{(a+6)(-24)}{a+6-(-24)}$$

$$s'_2 = \frac{(a+6)(-24)}{a+30}$$

Pada gambar tampak dalam  $a$ . Jika dihubungkan dengan kaca dengan bayangan yang bersifat maya dan berdasarkan

gambar akan diperoleh nilai  $a$  sebagai berikut.

$$\frac{(a+6)(-24)}{a+30} = -(a-6)$$

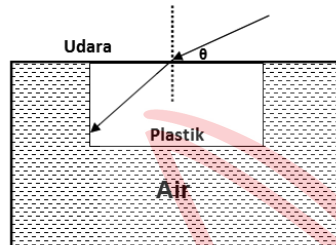
$$24(a+6) = (a+30)(a-6)$$

$$a = \sqrt{324} = 18 \text{ cm}$$

Jadi, jarak  $a$  adalah 18 cm.

-----Jawaban: A

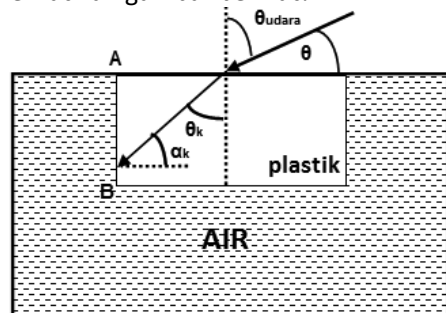
5. Sepotong plastik transparan dengan indeks bias  $n_k$  terapung di permukaan air yang memiliki indeks bias  $n_a$ . Besar sudut  $\theta$  agar sinar datang seperti ditunjukkan pada gambar dan terjadi pemantulan sempurna oleh permukaan bidang batas plastik adalah ....



- A.  $\sin \theta = n_a / n_k$   
 B.  $\sin \theta = n_k / n_a$   
 C.  $\cos \theta = (n_k^2 - n_a^2)^{1/2}$   
 D.  $\cos \theta = n_k / (n_k^2 + n_a^2)^{1/2}$   
 E.  $\tan \theta = n_k / n_a$

**Pembahasan CERDAS:**

Perhatikan gambar berikut!



Untuk bidang batas udara dan plastik berlaku:

$$n_u \sin \theta_u = n_k \sin \theta_k$$

$$1 \sin (90 - \theta) = n_k \sin \theta_k$$

$$\cos \theta = n_k \sin \theta_k$$

$$\sin \theta_k = \frac{\cos \theta}{n_k} \dots \dots \text{persamaan (1)}$$

Pada bidang batas antara plastik dan air akan berlaku:

$$\alpha_k = 90 - \theta_k$$

$$\sin \alpha_k = \sin (90 - \theta_k)$$

$$\sin \alpha_k = \cos \theta_k \dots \dots \text{persamaan (2)}$$

Pemantulan sempurna pada bidang plastik-air dengan sudut datang berupa sudut kritis dan menghasilkan sinar bias  $90^\circ$ .

$$n_k \sin \alpha_k = n_a \sin 90^\circ$$

$$n_k \cos \theta_k = n_a (1)$$

$$\cos \theta_k = \frac{n_a}{n_k} \dots \dots \text{persamaan (3)}$$

$$\sin^2 \theta_k = 1 - \cos^2 \theta_k$$

$$\sin \theta_k = (1 - \cos^2 \theta_k)^{1/2} \dots \dots \text{persamaan (4)}$$

Substitusikan persamaan (1) dan (3) ke persamaan (4)

$$\sin \theta_k = (1 - \cos^2 \theta_k)^{1/2}$$

$$\frac{\cos \theta}{n_k} = \left( 1 - \left( \frac{n_a}{n_k} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$\cos \theta = (n_k^2)^{1/2} \left( 1 - \left( \frac{n_a}{n_k} \right)^2 \right)^{1/2}$$

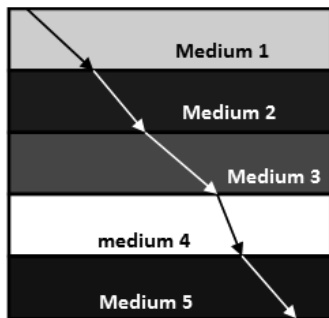
$$\cos \theta = \left[ n_k^2 \left( 1 - \left( \frac{n_a}{n_k} \right)^2 \right) \right]^{1/2}$$

$$\cos \theta = [n_k^2 - n_a^2]^{1/2}$$

-----Jawaban: C

6. Gambar di bawah ini memperlihatkan jalannya seberkas cahaya melalui lima

medium yang berbeda (mulai dari medium 1).



Cahaya bergerak paling lambat di dalam ....

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

**Pembahasan CERDAS:**

Pada pembiasan dua medium berlaku:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

Sehingga  $\sin r \propto v_2$ , di mana semakin kecil sudut bias maka semakin lambat kelajuan cahayanya. Karena pada medium 4 sudut biasnya paling kecil, maka kelajuannya paling lambat.

-----Jawaban: D

7. Sudut kritis tidak akan terjadi jika cahaya datang dari udara ke air.

**SEBAB**

Sudut kritis merupakan sudut sinar datang ketika sudut sinar bias  $90^\circ$ .

**Pembahasan CERDAS:**

Sudut kritis hanya terjadi jika sinar datang dari medium rapat ke medium kurang rapat. Jadi, sudut kritis tidak akan datang jika cahaya datang dari udara ke air.

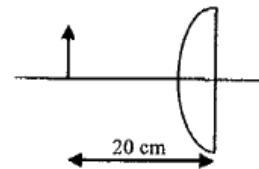
**SEBAB**

Sudut kritis merupakan sudut sinar datang ketika sudut sinar bias  $90^\circ$ .

Pernyataan dan sebab benar, tetapi tidak menunjukkan hubungan sebab akibat.

-----Jawaban: B

8. Terdapat dua lensa plan konvek sejenis. Jika sebuah benda diletakkan 20 cm di kiri salah satu lensa plan konvek tersebut, maka terbentuk bayangan 40 cm di kanan lensa plan konvek tersebut seperti tampak pada gambar berikut.



Kemudian kedua lensa plan konvek disusun bersentuhan sehingga membentuk sebuah lensa bikonvek.

Jika benda berada 20 cm di kiri lensa bikonvek tersebut, maka letak bayangan yang terbentuk adalah ...

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

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$s_1' = 40 \text{ cm}$$

$$s_1 = 20 \text{ cm}$$

$$s_2 = 20 \text{ cm}$$

Ditanyakan:  $s_2'$

Jawab:

Sebelum lensa plan konveks digabungkan

$R_1 = R$  dan  $R_2 = \infty$  (tak hingga)

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{lensa}}}{n_{\text{medium}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

jika

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

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{20} + \frac{1}{40}$$

$$f = \frac{40}{3} \text{ cm}$$

Maka:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_{\text{lensa}}}{n_{\text{medium}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{\infty} \right)$$

$$\frac{3}{40} = \frac{\left(\frac{n_{lensa}}{n_{medium}} - 1\right)}{R}$$

Setelah disusun secara bikonveks maka

$$R_1 = R \text{ dan } R_2 = R$$

$$\frac{1}{f'} = \left(\frac{n_{lensa}}{n_{medium}} - 1\right) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right)$$

$$\frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_2'} = 2 \frac{\left(\frac{n_{lensa}}{n_{medium}} - 1\right)}{R}$$

$$\frac{1}{20} + \frac{1}{s_2'} = 2 \left(\frac{3}{40}\right)$$

$$\frac{1}{s_2'} = \frac{3-1}{20}$$

$s_2' = 10$  cm di kanan lensa karena positif

Jadi, bayangan terletak 10 cm di kanan lensa karena positif

-----**Jawaban: B**

9. Pada mikroskop benda yang hendak diamati harus diletakkan di antara titik fokus dan pusat lensa okuler.

SEBAB

Lensa okuler mikroskop berfungsi sebagai lup.

#### Pembahasan CERDAS:

Pada mikroskop benda yang hendak diamati harus diletakkan di antara titik fokus dan pusat lensa objektif.

SEBAB

Lensa okuler mikroskop berfungsi sebagai lup.

Pernyataan salah, alasan benar.

-----**Jawaban: D**

10. Sebuah lensa cembung dobel (*double conveks*) tipis mempunyai jari-jari kelengkungan sebesar 40 cm dan dibuat dari kaca dengan  $n = 1,65$ . Panjang fokus lensa tersebut adalah ...

- A. 20 cm  
B. 35 cm  
C. 31 cm  
D. 21 cm  
E. 25 cm

#### Pembahasan CERDAS:

Gunakan persamaan lensa tipis

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_l}{n_m} - 1\right) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R}\right)$$

$$\frac{1}{f} = \left(\frac{1,65}{1} - 1\right) \left(\frac{1}{40} + \frac{1}{40}\right)$$

$$f = \frac{20}{0,65}$$

$$f = 30,7 \approx 31 \text{ cm}$$

-----**Jawaban: C**



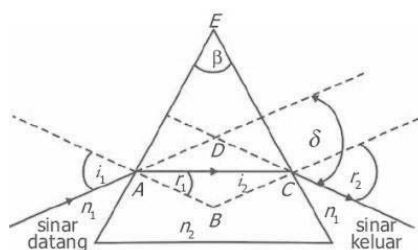
## - BAB 13 - Optik Fisis

### Rangkuman Materi

Teori tentang cahaya antara lain:

- Teori Emisi oleh Sir Isaac Newton** → cahaya merupakan partikel-partikel yang sangat kecil dan ringan yang dipancarkan oleh sumber cahaya ke segala arah dengan kecepatan tinggi.
- Teori Gelombang oleh Christian Huygens** → Cahaya pada dasarnya seperti bunyi. Adapun hal yang membedakannya adalah frekuensi dan panjang gelombangnya.
- Percobaan Thomas Young dan Agustin Fresnel** → Cahaya dapat dilenturkan dan dapat mengalami interferensi.
- Percobaan Jean Beon Foucault** → Cepat rambat cahaya dalam zat cair lebih kecil dibandingkan dengan cepat rambat cahaya di udara.
- Percobaan James Clerk Maxwell** → Cepat rambat gelombang elektromagnet bernilai sama dengan cepat rambat cahaya sebesar  $3 \times 10^8$  m/s sehingga Maxwell berkesimpulan bahwa cahaya merupakan gelombang elektromagnetik.
- Percobaan Heinrich Rudolf Hertz** → Gelombang cahaya adalah gelombang transversal yang ditandai bahwa cahaya dapat mengalami gejala polarisasi.
- Percobaan Pieter Zeeman** → Cahaya dipengaruhi oleh medan magnet yang kuat.
- Percobaan Johannes Stark** → Cahaya dipengaruhi oleh medan listrik yang kuat.
- Percobaan Max Karl Ernest Ludwig Planck** → Cahaya adalah paket-paket kecil yang disebut sebagai kuantum, sehingga teori ini disebut sebagai teori kuantum cahaya. Sementara itu, paket-paket energi cahaya disebut foton.
- Teori Albert Einstein** → Berdasarkan gejala efek fotolistrik, Einstein menerangkan bahwa cahaya bersifat partikel dan gelombang elektromagnet sehingga cahaya dapat dikatakan memiliki sifat dualisme.

Berdasarkan beberapa teori di atas yang menyatakan cahaya sebagai gelombang, cahaya merupakan gelombang yang dapat mengalami **pemantulan (refleksi)**, **pembiasan (refraksi)**, **pemaduan atau penjumlahan (interferensi)**, **pelenturan (difraksi)**, **penguraian (dispersi)**, dan **pengutuban (polarisasi)**. Cahaya yang melewati prisma akan mengalami proses deviasi. Deviasi pada prisma dapat Anda lihat pada gambar berikut.

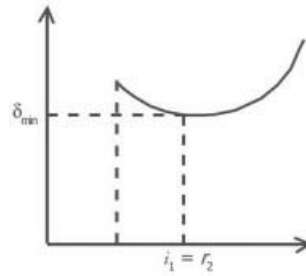


Sudut deviasi diartikan sebagai sudut antara perpanjangan sinar datang mula-mula pada bidang I dengan sudut bias akhir pada bidang II. Sudut deviasi ( $\delta$ ) dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\delta = i_1 + r_2 - \beta \quad \beta = r_1 + i_2$$



Dengan  $\beta$  disebut sudut pembias. Jika sudut deviasi  $\delta$  diukur untuk berbagai sudut datang, maka akan diperoleh grafik seperti gambar berikut.



Deviasi mencapai minimum ketika sinar melalui prisma secara simetris. Dengan demikian syarat terjadinya deviasi minimum adalah

$$i_1 = r_2 \text{ atau } r_1 = i_2$$

Hubungan sudut deviasi minimum prisma  $\delta_m$  dengan sudut pembias prisma  $\beta$  dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\sin\left(\frac{\delta_m + \beta}{2}\right) = \frac{n_2}{n_1} \sin \frac{\beta}{2} \quad \delta_m = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right) \beta \text{ untuk } \beta < 15^\circ$$

Keterangan:

$n_2$  = indeks bias bahan prisma

$n_1$  = indeks bias medium

#### A. Dispersi Cahaya

Peristiwa penguraian cahaya polikromatis atas komponen-komponen warnanya disebut **dispersi cahaya**. Komponen warna yang dihasilkan dinamakan spektrum. Sudut dispersi  $\varphi$  didefinisikan sebagai selisih antara sudut deviasi ungu dan sudut deviasi merah.

$$\varphi = \delta_u - \delta_m$$

Sementara itu, untuk sudut pembias  $\beta$  kecil dan sudut datang  $i$  kecil, yaitu  $\beta < 15^\circ$  dan  $i < 15^\circ$ . Sudut dispersi dapat dinyatakan dalam persamaan.

$$\varphi = (n_u - n_m)\beta$$

#### B. Interferensi Cahaya

Interferensi cahaya adalah perpaduan antara dua buah gelombang cahaya atau lebih. Interferensi terjadi jika sumber cahaya yang digunakan koheren. Maksud dari cahaya koheren adalah sumber cahaya tersebut memiliki frekuensi yang tetap, amplitudo tetap, dan beda fasenya juga tetap.

##### 1. Interferensi cahaya pada celah ganda Young

Pola maksimum atau pola terang terjadi jika beda lintasan optik merupakan kelipatan bulat panjang gelombang.

$$d \sin \theta = n\lambda$$

Sementara itu, pola minimum atau pola gelap terjadi jika beda lintasan optik merupakan kelipatan setengah panjang gelombang. Apabila dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$d \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

Keterangan:

$d$  = jarak celah (m)  
 $\theta$  = sudut deviasi  
 $n$  = orde interferensi ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )  
 $\lambda$  = panjang gelombang yang digunakan (m)

Apabila interferensi terjadi antara jarak terang ke- $n$  menuju terang pusat, maka dapat dituliskan dalam persamaan:

$$d \frac{y}{L} = n\lambda$$

Adapun interferensi yang terjadi antara jarak gelap ke- $n$  menuju terang pusat dituliskan dengan persamaan:

$$d \frac{y}{L} = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

Keterangan:

$y$  = jarak terang/ gelap ke- $n$  menuju terang pusat (meter)

$L$  = jarak layar dari celah (meter)

## 2. Interferensi pada selaput tipis

Pada umumnya interferensi maksimum (konstruktif) pada lapisan tipis:

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$$

Adapun interferensi minimum (destruktif) terjadi jika:

$$2nd = m\lambda$$

Keterangan:

$n$  = indeks bias

$d$  = tebal lapisan tipis (m)

$m$  = bilangan bulat

$\lambda$  = panjang gelombang cahaya yang digunakan (m)

---

## C. Difraksi Cahaya

---

Difraksi atau pelenturan cahaya adalah peristiwa pembelokan arah rambat cahaya oleh kisi atau celah yang sempit.

### 1. Difraksi Cahaya pada Celah Tunggal

Secara umum difraksi celah tunggal untuk **garis gelap ke- $n$**  terjadi jika

$$\sin \theta = n \frac{\lambda}{d}$$

Apabila sudut deviasi  $\theta$  kecil,  $\sin \theta = \tan \theta = \frac{y}{L}$  sehingga persamaan di atas menjadi

$$\frac{dy}{L} = n\lambda$$

Keterangan:

$d$  = lebar celah (m)

$\theta$  = sudut difraksi

$n$  = orde difraksi ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

$\lambda$  = panjang gelombang yang digunakan (m)

$y$  = jarak antara garis **gelap dengan terang pusat** (m)  
 $L$  = jarak celah dengan layar (m)

Apabila cahaya monokromatik dilewatkan pada celah tunggal, maka akan terlihat pola garis gelap dan terang secara bergantian letaknya. Apabila difraksi yang terjadi akibat adanya lubang kecil yang berbentuk bulat akan menimbulkan pola berupa lingkaran terang dan gelap secara bergantian. Adapun lingkaran gelap pertama dengan sudut  $\theta$  dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\sin \theta = \frac{1,22\lambda}{D}$$

Keterangan:

$D$  = diameter lubang (m)

$\theta$  = sudut resolusi

## 2. Kisi Difraksi

Sejumlah besar celah paralel yang berjarak sama disebut kisi difraksi. Jika seberkas cahaya dilewatkan pada kisi, maka akan diperoleh pola difraksi yang lebih tajam dibandingkan dengan pola interferensi yang dihasilkan oleh celah ganda Young dan difraksi cahaya celah tunggal. Apabila terjadi pola difraksi maksimum (garis terang) akan berlaku persamaan:

$$d \sin \theta = n\lambda \text{ dengan } d = \frac{1}{N} \text{ cm}$$

Keterangan:

$N$  = banyaknya celah tiap satuan panjang

$d$  = jarak antara celah kisi (m)

$\theta$  = sudut deviasi

$n$  = orde difraksi ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ )

$\lambda$  = panjang gelombang yang digunakan (m)

---

## D. Polarisasi Cahaya

---

Polarisasi adalah peristiwa terserapnya sebagian arah getar cahaya. Polarisasi cahaya hanya bisa dialami gelombang transversal. Polarisasi cahaya dapat terjadi akibat adanya pemantulan, pembiasan, absorpsi selektif, dan hamburan.

### 1. Polarisasi karena pembiasan

Jika sinar pantul tegak lurus sinar bias, maka sinar pantul terpolarisasi:

$$\tan i_p = \frac{n_2}{n_1} \text{ (Hukum Brewster)}$$

Keterangan:

$i_p$  = sudut polarisasi = sudut datang yang menghasilkan sinar pantul terpolarisasi

$n_1$  = indeks bias medium asal sinar

$n_2$  = indeks bias medium yang dituju sinar

### 2. Polarisasi karena absorpsi selektif

Polarisasi dengan penyerapan selektif diperoleh dengan memasang dua buah polaroid, yaitu analisator dan polarisator. Polariser berfungsi untuk menghasilkan menghasilkan cahaya terpolarisasi linier dari cahaya tak terpolarisasi. Cahaya tak terpolarisasi dimisalkan seperti dua anak panah kepala ganda yang saling tegak lurus, datang pada polaroid pertama (polarisator). Polarisator memiliki sumbu polarisasi vertikal sehingga semua getaran diserap

dan semua komponen getaran vertikal dilewatkan. Jadi, cahaya yang diteruskan polarisator adalah cahaya terpolarisasi vertikal.

Polaroid kedua disebut sebagai analisator. Analisator berfungsi mengubah arah polarisasi dan mengatur besarnya intensitas cahaya yang diteruskan ke pengamat. Analisator memutar arah polarisasi dengan sudut  $\theta$  berlawanan arah jarum jam. Jika kuat medan listrik cahaya terpolarisasi vertikal sebelum analisator adalah  $E$ , maka kuat medan listrik cahaya terpolarisasi yang keluar dari analisator adalah  $E \cos \theta$ .

Jika intensitas cahaya mula-mula ( $I_0$ ), maka intensitas cahaya terpolarisasi vertikal yang diteruskan oleh polarisator haruslah memiliki intensitas  $I_1$  dan dituliskan dalam persamaan

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

Cahaya dengan intensitas  $I_1$  yang datang menuju analisator dan cahaya yang keluar dari analisator yang memiliki intensitas  $I_2$ , menurut hukum Mallus dapat dihubungkan dengan persamaan berikut.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \theta$$

Dengan  $\theta$  sebagai sudut antara sumbu analisator dengan sumbu polarisator.

### 3. Polarisasi dengan pembiasan ganda

Polarisasi dengan pembiasan ganda terjadi pada kristal yang memiliki dua indeks bias. Jika sinar datang tak terpolarisasi jatuh tegak lurus bidang kristal, maka sinar akan keluar dari bidang kristal. Sinar tersebut akan terbagi menjadi dua, yaitu sinar bias dan sinar istimewa.

### 4. Polarisasi dengan hamburan

Hamburan adalah penyerapan dan pemancaran kembali oleh partikel-partikel (gas). Sebagai contoh: sinar matahari yang dihamburkan cahayanya melalui atmosfer bumi sehingga tampak oleh pengamat di bumi sebagai cahaya yang terpolarisasi sebagian.

## Soal dan Pembahasan

### 1. Peristiwa dispersi terjadi saat ...

- A. Cahaya polikromatik mengalami pembiasan oleh prisma
- B. Cahaya mengalami pemantulan ketika memasuki air
- C. Cahaya polikromatik mengalami polarisasi
- D. Cahaya polikromatik mengalami pembelokan oleh kisi
- E. Cahaya bikromatik mengalami interferensi konstruktif

#### Pembahasan CERDAS:

Ketika cahaya polikromatik jatuh pada sisi pembias prisma, maka akan terjadi

penguraian cahaya polikromatik menjadi warna-warna komponennya. Hal tersebut dinamakan peristiwa difraksi.

-----Jawaban: A

2. Pada percobaan Young digunakan celah ganda yang terpisah pada jarak 0,063 mm, sedangkan pola gelap terangnya diamati pada layar yang berjarak 4 m di belakang celah. Jika pada percobaan tersebut digunakan cahaya laser dengan panjang gelombang 630 nm, maka jarak antara pola gelap pertama di sebelah kanan dan kiri adalah ....

A. 2 cm

- B. 4 cm
- C. 8 cm
- D. 10 cm
- E. 12 cm

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$d = 0,063 \text{ mm} = 6,3 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$L = 4 \text{ m}$$

$$\lambda = 630 \text{ nm} = 6,3 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$n = 1$$

Jarak antara gelap pertama di sebelah kanan dan gelap pertama di sebelah kiri dapat dihitung sebagai berikut.

$$\frac{dy}{L} = n\lambda$$

$$\frac{(6,3 \times 10^{-5})y}{4} = 1(6,3 \times 10^{-7})$$

$$y = 4 \times 10^{-2} \text{ m} = 4 \text{ cm}$$

-----**Jawaban: B**

3. Suatu berkas cahaya tak terpolarisasi merambat pada arah sumbu x menuju ke sebuah polarisator yang mampu memisahkan berkas datang menjadi dua berkas, yaitu berkas A terpolarisasi hanya searah sumbu z dan berkas B yang terpolarisasi pada arah sumbu y. Berkas cahaya kemudian dilewatkan lagi ke polarisator kedua dengan orientasi yang sama dengan polarisator pertama. Persentase perubahan intensitas berkas B setelah lewat polarisator kedua adalah ...
- A. 0%
  - B. 25%
  - C. 50%
  - D. 75%
  - E. 100%

**Pembahasan CERDAS:**

Cahaya alami dengan berkas B dan berkas A memiliki  $I = I_0$ . Polarisor awal menyerap berkas A sehingga  $I_1 = \frac{1}{2}I_0$ . Sementara itu, polarisor kedua memiliki sumbu transmisi sama dengan polarisor awal. Oleh karena itu, dapat diartikan  $\theta = 0^\circ$  sehingga  $I_2 = I_1$ . Jika  $I_2 = I_1 = \frac{1}{2}I_0$ , maka intensitas berkas B

setelah lewat berkas kedua tidak berubah sehingga besarnya 0%.

-----**Jawaban: A**

4. Produksi pelangi oleh proses yang terjadi antara cahaya matahari dan tetes-tetes air hujan disebabkan oleh peristiwa-peristiwa berikut, yaitu ....
- A. pantulan dan pembiasan
  - B. pantulan, pembiasan, dan difraksi
  - C. difraksi dan pembiasan
  - D. pantulan dan interferensi
  - E. hanya pantulan

**Pembahasan CERDAS:**

Pelangi terjadi ketika seseorang membelakangi matahari dan di depan seseorang tersebut terdapat tetes air hujan. Cahaya matahari akan dibiaskan dalam tetes air. Karena indeks bias setiap warna berbeda, maka cahaya matahari dibiaskan menjadi beberapa kelompok warna. Sementara itu, sinar yang dibiaskan mengalami pemantulan oleh permukaan belakang tetes air. Sinar pantul masing-masing warna yang datang ke permukaan depan tetes air dibiaskan menjauhi garis normal udara. Akhirnya, warna yang keluar dari permukaan air akan mudah dilihat oleh seseorang. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa pelangi terjadi karena tiga peristiwa, yaitu pembiasan yang menghasilkan dispersi, pantulan, dan pembiasan.

-----**Jawaban: A**

5. Cahaya matahari yang melalui prisma akan mengalami interferensi.

**SEBAB**

Indeks bias setiap warna cahaya dalam suatu medium tidak sama

**Pembahasan CERDAS:**

Cahaya matahari yang melalui prisma tidak dapat mengalami proses interferensi. Hal tersebut disebabkan cahaya matahari berasal dari satu berkas cahaya. Sementara itu, interferensi diartikan se-

bagai gabungan dari dua berkas cahaya dengan syarat koheren. Dalam medium yang sama, panjang gelombang tiap warna cahaya berbeda. Indeks bias cahaya dipengaruhi panjang gelombang cahaya. Oleh karena itu, indeks bias setiap warna dalam suatu medium berbeda pula.

-----**Jawaban: D**

6. Untuk menentukan panjang gelombang sinar monokromatis digunakan percobaan Young yang data-datanya sebagai berikut: jarak antar kedua celahnya 0,3 mm, jarak celah ke layar 50 cm, dan jarak garis gelap kedua dan gelap ketiga pada layar 1 mm. Panjang gelombang sinar monokromatis tersebut adalah ...
- 400 nm
  - 480 nm
  - 500 nm
  - 580 nm
  - 600 nm

**Pembahasan CERDAS:**

Berdasarkan soal diketahui beberapa besaran berikut.

$$d = 0,3 \text{ mm} = 0,3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$L = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$n = 1$$

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

Panjang gelombang sinar monokromatis tersebut adalah

$$\frac{dy}{L} = n\lambda$$

$$\frac{(0,3 \times 10^{-3})(1 \times 10^{-3})}{0,5} = 1\lambda$$

$$\lambda = 6 \times 10^{-7} \text{ m} = 600 \text{ nm}$$

-----**Jawaban: E**

7. Pada percobaan Young jika jarak antara dua celahnya dijadikan dua kali semula, maka jarak antara dua garis gelap berurutan menjadi ....
- 4 kali semula
  - 2 kali semula
  - $\frac{1}{4}$  kali semula

D.  $\frac{1}{2}$  kali semula

E. tetap tidak berubah

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$d_2 = 2d_1$$

Ditanyakan:  $y_2$

Jawab:

Hubungan antara  $d$  dan  $y$  dituliskan melalui persamaan berikut.

$$\frac{dy}{L} = n\lambda$$

$$\frac{d}{L} = \frac{n\lambda}{y}$$

Berdasarkan persamaan di atas antara  $d$  dan  $y$  berbanding terbalik. Oleh karena itu, jarak antara dua garis gelap berurutan menjadi:

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{d_1}{d_2}$$

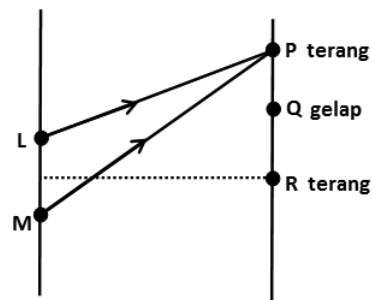
$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{d_1}{2d_1}$$

$$y_2 = \frac{1}{2} y_1$$

Jadi, jarak antara dua garis berurutan menjadi  $\frac{1}{2}$  kali semula.

-----**Jawaban: D**

8. Perhatikan gambar berikut!



Gambar di atas menunjukkan hasil percobaan Young dengan sinar monokromatik. Garis terang pada P jika  $PM - PL$  sama dengan ...

- $\frac{1}{2} \lambda$
- $\lambda$
- $\frac{3}{2} \lambda$

- D.  $2\lambda$   
E.  $5/2 \lambda$

**Pembahasan CERDAS:**

Berdasarkan gambar di atas, beda panjang cahaya dari celah L dan celah M adalah  $\Delta s$ . Persamaannya adalah:

$$\Delta s = PM - PL = n\lambda$$

dengan  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Berdasarkan gambar, R merupakan terang ke nol dan P adalah terang pertama. Oleh karena itu,  $n$  memiliki nilai 1. Hal tersebut menyebabkan persamaannya menjadi  $\Delta s = \lambda$ .

-----**Jawaban: D**

9. Dalam percobaan interferensi dua celah digunakan sinar kuning monokromatik, maka pada layar akan terlihat ...
- Garis kuning dan gelap berselang-seling dengan garis yang tengah di kuning
  - Garis kuning dan gelap berselang-seling dengan garis yang tengah gelap
  - Garis berwarna seperti pelangi dengan garis yang di tengah kuning
  - Garis berwarna seperti pelangi dengan garis yang di tengah gelap
  - Garis terang dan garis gelap berselang-seling dengan garis yang di tengah putih

**Pembahasan CERDAS:**

Sinar kuning tergolong sinar monokromatik, yaitu sinar yang tidak memiliki komponen warna lain selain warna kuning. Hasil-hasil yang diamati dalam percobaan interferensi dua celah antara lain:

- ✓ Di pusat terjadi garis kuning (terang)
- ✓ Garis gelap dan garis terang berselang-seling.
- ✓ Garis gelap menyatakan interferensi minimum dan garis terang menyatakan interferensi maksimum.

-----**Jawaban: A**

10. Dua buah celah yang berjarak 1 cm dilalui oleh gelombang koheren yang memiliki panjang gelombang 0,1 mm. Kedua gelombang yang keluar dari celah berinterferensi dan menghasilkan gelombang berdiri. Jika di suatu titik tertentu terjadi simpul, maka beda jarak kedua gelombang terhadap simpul tersebut adalah ...

- 0 mm
- 0,10 mm
- 0,15 mm
- 0,20 mm
- 0,30 mm

**Pembahasan CERDAS:**

Dalam soal dijelaskan bahwa terjadi simpul. Simpul yang dimaksud adalah terjadinya interferensi minimum. Beda jarak kedua gelombang terhadap simpul memenuhi persamaan:

$$\Delta s = d \sin \theta = \left( n - \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

$$n = 1 \rightarrow \Delta s = \left( n - \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$\Delta s = \left( 1 - \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$\Delta s = \frac{1}{2} \lambda$$

$$\Delta s = \frac{1}{2} (0,1 \text{ mm}) = 0,05 \text{ mm}$$

$$n = 2 \rightarrow \Delta s = \left( n - \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$\Delta s = \left( 2 - \frac{1}{2} \right) \lambda$$

$$\Delta s = \frac{3}{2} \lambda$$

$$\Delta s = \frac{3}{2} (0,1 \text{ mm}) = 0,15 \text{ mm}$$

-----**Jawaban: C**



## - BAB 14 - Listrik Statis

### Rangkuman Materi

#### A. Hukum Coulomb

Jika ada dua muatan yang saling berdekatan, maka akan timbul gaya tarikan atau tolakan. Gaya tarikan terjadi jika muatan berlainan jenis, sedangkan gaya tolakan terjadi pada muatan yang sejenis seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.

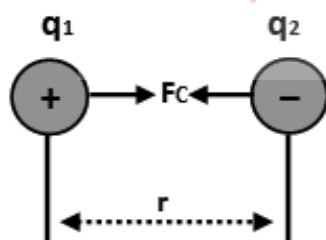
Muatan berlainan jenis



Muatan sejenis



Gaya tarikan atau tolakan ini dinamakan dengan gaya Coulomb.



Sehingga persamaan gaya Coulomb dapat dituliskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

$F_C$  = gaya Coulomb (N)

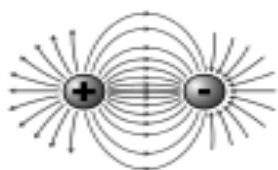
$k$  = konstanta =  $9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

$q_1$  = besar muatan 1 (C)

$q_2$  = besar muatan 2 (C)

$r$  = jarak kedua muatan (m)

#### B. Medan Listrik



Medan listrik adalah daerah di sekitar muatan yang masih terpengaruh dalam medan listrik. Medan ini yang mengakibatkan adanya gaya Coulomb pada muatan yang didekatkan.



Berdasarkan gambar di atas, ditunjukkan arah garis-garis medan listrik jika muatan positif (+) keluar menuju muatan negatif (-) masuk. Sehingga jika dihubungkan dalam persamaan gaya menjadi:

$$E = \frac{F_c}{q} \text{ atau } E = \frac{kQ}{r^2}$$

Keterangan:

E = medan listrik disekitar muatan (N/C)

k = konstanta =  $9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

Q = besar muatan (C)

r = jarak dari sebuah titik ke muatan sumber medan listrik (m)

**Catatan:**

Gaya Coulomb dan medan listrik termasuk dalam besaran vektor, maka tanda +/- tidak dipergunakan dalam perhitungan.

---

### C. Energi Potensial Listrik

---

Energi potensial listrik dapat didefinisikan sebagai usaha untuk membawa tiap satu muatan dari jarak tak terhingga menuju ke suatu titik berjarak  $r$  dari muatan lain. Secara matematis dapat dirumuskan.

$$E_p = k \frac{Qq}{r}$$

Keterangan:

$E_p$  = energi potensial muatan uji (Joule)

k = konstanta =  $9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

Q = besar muatan sumber (C)

q = besar muatan uji (C)

r = jarak antara muatan sumber dan muatan uji (m)

Usaha untuk memindahkan muatan

$$W = \Delta E_p$$

$$W = kq \left( \frac{Q_1}{r_1} - \frac{Q_2}{r_2} \right)$$

Kekekalan energi pada muatan yang bergerak dalam medan

$$\Delta E_K = \Delta E_p$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V$$

di mana

$$\Delta V = E \cdot d$$

dengan

E = kuat medan antar pelat (N/C)

d = jarak antar pelat (m)

---

### D. Potensial Listrik

---

Energi potensial tiap satuan muatan disebut dengan potensial listrik, sehingga dapat dirumuskan dengan persamaan.

$$V = \frac{E_p}{q} \text{ atau } V = k \frac{Q}{r}$$

Jika muatan lebih dari satu dan memiliki beragam jarak, maka:

$$V = \sum k \frac{Q}{r} = k \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \dots + \frac{q_n}{r_n} \right)$$

di mana

$V$  = potensial listrik (V)

$k$  = konstanta =  $9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$

$Q$  = besar muatan sumber (C)

$r$  = jarak antara muatan sumber dan muatan uji (m)

#### # Catatan:

Karena merupakan besaran skalar, maka untuk energi potensial dan potensial listrik tanda +/- dipergunakan dalam perhitungan.

### E. Kuat Medan Listrik dan Potensial Listrik pada Bola Konduktor

Bola Konduktor berongga

Kuat Medan di dalam bola ( $r < R$ )

$$E = 0$$

Potensial Listrik di dalam bola ( $r < R$ )

$$V = k \frac{Q}{R}$$

Kuat Medan di luar bola ( $r > R$ )

$$E = k \frac{Q}{r^2}$$

Potensial Listrik di dalam bola ( $r > R$ )

$$V = k \frac{Q}{r}$$

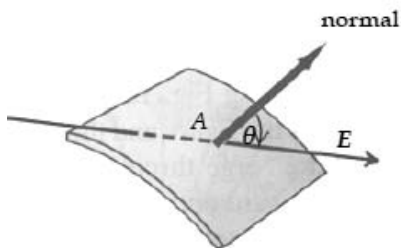
dengan

$r$  = jarak titik ke muatan sumber

$R$  = jari-jari bola konduktor

### F. Fluks Listrik

Hukum Gauss menyatakan bahwa jumlah seluruh garis medan listrik yang menembus suatu permukaan tertutup sebanding dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup.



Secara matematis fluks listrik dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\Phi = \frac{q}{\epsilon_0} \text{ atau } \Phi = E A \cos \theta$$

Keterangan:

$\Phi$  = fluks listrik (Weber)

$q$  = muatan yang dilingkupi muatan (C)

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik di ruang hampa

( $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ )

$E$  = medan listrik (N/C)

$A$  = luasan yang dilingkupi muatan ( $\text{m}^2$ )

$\theta$  = sudut antara medan listrik  $E$  dan garis normal luasan tertutup  $A$

## G. Kapasitor

Dalam rangkaian listrik, kapasitor berfungsi sebagai komponen elektronik yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan disebut dengan kapasitas kapasitor. Secara matematis kapasitas kapasitor dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$C = \frac{q}{V}$$

Keterangan:

C = kapasitas kapasitor (Farad)

q = muatan yang tersimpan (Coulomb)

V = beda potensial (Volt)

Kapasitor pada umumnya terdiri dari dua keping sejajar yang diletakkan berdekatan, tetapi tidak saling bersentuhan. Kapasitas kapasitor keping sejajar tanpa bahan penyekat dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Jika ada bahan penyekat/dielektrik, maka menjadi;

$$C = k\epsilon_0 \frac{A}{d}$$

Keterangan:

$C_0$  = kapasitas kapasitor tanpa bahan dielektrik (F)

A = luasan penampang plat ( $m^2$ )

d = jarak antar plat sejajar (m)

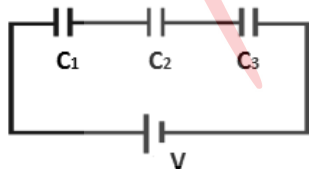
C = kapasitas kapasitor dengan bahan dielektrik (F)

k = konstanta dielektrik bahan

### Rangkaian Kapasitor

Seperti rangkaian komponen listrik lain, kapasitor juga dapat dirangkai secara seri maupun paralel. Adapun aturan dalam perhitungan rangkaian sebagai berikut:

#### 1. Rangkaian Seri



Berlaku:

**Kapasitas pengganti**

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

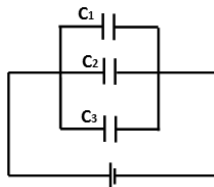
Muatan tiap kapasitor sama. Hal ini diakibatkan karena muatan mengalir melewati satu penghubung/kabel yang sama.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{total}$$

**Beda Potensial antar kapasitor**

$$V_1 : V_2 : V_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}$$

#### 2. Rangkaian Paralel



Berlaku:

**Kapasitas pengganti**

$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

Beda potensial tiap kapasitor sama. Hal ini diakibatkan karena kapasitor memiliki ujung-ujung yang sama, sehingga:

$$V_1 = V_2 = V_3$$

### Muatan antar kapasitor

$$Q_1:Q_2:Q_3 = C_1:C_2:C_3$$

### Energi yang tersimpan pada kapasitor

Energi yang tersimpan pada kapasitor dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$W = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Keterangan:

W = energi yang tersimpan dalam kapasitor (Joule)

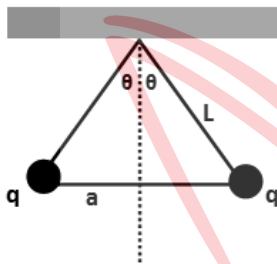
Q = muatan kapasitor (Coulomb)

V = beda potensial (Volt)

C = kapasitas kapasitor (Farad)

## Soal dan Pembahasan

1. Dua bola identik bermuatan yang memiliki massa  $3,0 \times 10^{-2}$  kg digantung seperti pada gambar berikut.



Panjang L setiap tali adalah 0,15 m. Massa tali dan hambatan udara diabaikan. Jika  $\tan \theta = 0,0875$ ,  $\sin \theta = 0,0872$  dan  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , maka besar muatan pada setiap bola adalah ...

- A.  $4,4 \times 10^{-6} \text{ C}$
- B.  $4,4 \times 10^{-7} \text{ C}$
- C.  $4,4 \times 10^{-8} \text{ C}$
- D.  $8,8 \times 10^{-7} \text{ C}$
- E.  $8,8 \times 10^{-8} \text{ C}$

### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$m = 3,0 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$L = 0,15 \text{ m}$$

$$\tan \theta = 0,0875$$

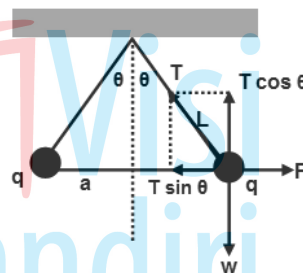
$$\sin \theta = 0,0872$$

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

Ditanyakan: q

Jawab:

Perhatikan gambar berikut!



$$\text{Jika } r = 2 L \sin \theta$$

$$r = 2 (0,15)(0,0872) = 0,02616 \text{ m}$$

$$\sum F_x = 0 \text{ sehingga } F = T \sin \theta$$

$$\sum F_y = 0 \text{ sehingga } W = T \cos \theta$$

$$\tan \theta = \frac{F}{W}$$

$$\tan \theta = \frac{k \frac{qq}{r^2}}{mg}$$

$$0,0875 = \frac{9 \cdot 10^9 q^2}{3 \cdot 10^{-2} (10) (0,02616)^2}$$

$$q^2 = 1,996 \cdot 10^{-15}$$

Jadi, nilai masing-masing muatan tersebut adalah  $q = 4,4 \times 10^{-8} \text{ C}$

-----Jawaban: C

2. Sebuah bola logam pejal yang mula-mula netral diberi muatan +Q. Pernyataan yang benar terkait dengan peristiwa tersebut adalah....

- A. Energi listrik bola tidak berubah
- B. Timbul arus listrik di permukaan bola
- C. Muatan listrik tersebar merata di seluruh bagian bola
- D. Potensial listrik di dalam bola harus sama dengan nol
- E. Medan listrik di dalam bola harus sama dengan nol

**Pembahasan CERDAS:**

Muatan pada bola pejal akan tersebar merata ke seluruh bagian bola tersebut.

-----**Jawaban: C**

3. Tiga buah kapasitor dengan kapasitansi masing-masing 1 mF, 2 mF, dan 3 mF dirangkai secara seri dan diberi tegangan 1 volt pada ujung-ujungnya. Pernyataan berikut ini yang benar adalah ....
- (1) masing-masing kapasitor memiliki muatan yang sama banyak
  - (2) kapasitor yang besarnya 1 mF menyimpan energi listrik terbesar
  - (3) pada kapasitor 3 mF bekerja tegangan terkecil
  - (4) ketiga kapasitor bersama-sama membentuk sebuah kapasitor ekuivalen dengan muatan tersimpan sebesar  $\frac{6}{11} \text{ C}$ .

**Pembahasan CERDAS:**

- (1) Jika dirangkai seri maka muatan pada ketiga kapasitor sama banyak
- (2) energi kapasitor terbesar terdapat pada muatan 1 mF karena  $W = \frac{1}{2} \frac{Q}{C}$ . Sehingga jika muatan sama, maka energi terbesar terdapat pada kapasitor 1 mF.
- (3) pada kapasitor 3 mF bekerja tegangan terkecil karena  $V = \frac{Q}{C}$
- (4) ketiga kapasitor bersama-sama membentuk sebuah kapasitor seri

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{6}{6} + \frac{3}{6} + \frac{2}{6}$$

$$C_s = \frac{6}{11} \text{ mF}$$

Jadi, pernyataan yang benar adalah (1), (2), dan (3).

-----**Jawaban: A**

4. Empat buah muatan masing-masing  $q_1 = -2 \mu\text{C}$ ,  $q_2 = 1 \mu\text{C}$ ,  $q_3 = -1 \mu\text{C}$ , dan  $q_4 = 1 \mu\text{C}$  terletak di sudut-sudut suatu bujur sangkar bersisi 0,2 m. Jika diketahui  $\epsilon_0$  adalah permitivitas vakum, maka potensial listrik di titik tengah bujur sangkar tersebut adalah ...

- A.  $\frac{5\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0} \mu\text{V}$
- B.  $-\frac{5\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0} \mu\text{V}$
- C.  $\frac{25\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0} \mu\text{V}$
- D.  $-\frac{\sqrt{10}}{4\pi\epsilon_0} \mu\text{V}$
- E.  $0 \mu\text{V}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$q_1 = -2 \mu\text{C}$$

$$q_2 = 1 \mu\text{C}$$

$$q_3 = -1 \mu\text{C}$$

$$q_4 = 1 \mu\text{C}$$

$$s = 0,2 \text{ m}$$

Ditanyakan:  $V \rightarrow$  pusat busur sangkar

Jawab:

Diagonal dari bujur sangkar adalah

$$d = \sqrt{0,2^2 + 0,2^2} = 0,2\sqrt{2} \text{ m}$$

Sehingga jarak masing-masing muatan ke pusat bujur sangkar:

$$r = \frac{1}{2}d = 0,1\sqrt{2} \text{ m}$$

Potensial listrik di pusat bujur sangkar adalah

$$V = \frac{k}{r}(q_1 + q_2 + q_3 + q_4)$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0(0,1\sqrt{2})}(-2 + 1 + (-1) + 1)$$

$$V = -\frac{10}{4\pi\epsilon_0\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = -\frac{5\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0} \mu\text{V}$$

Jadi, pada pusat bujur sangkar memiliki potensial listrik sebesar  $V = -\frac{5\sqrt{2}}{4\pi\epsilon_0} \mu\text{V}$ .

-----**Jawaban: B**

5. Kapasitor  $C_1 = 1\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 2\mu\text{F}$ , dan  $C_3 = 3\mu\text{F}$  dihubungkan paralel dan diberi tegangan  $V$  volt. Pernyataan berikut yang benar adalah ...

- (1) pada masing-masing kapasitor akan bekerja tegangan yang sama
- (2) kapasitor  $C_3$  menyimpan energi listrik paling banyak
- (3) kapasitor  $C_1$  mempunyai muatan paling kecil
- (4) ketiga kapasitor mempunyai harga kapasitansi ekuivalen  $6\mu\text{F}$

**Pembahasan CERDAS:**

- (1) pada rangkaian paralel beda potensial ketiga kapasitor sama besar, yaitu  $V$
- (2) kapasitor dengan energi listrik terbesar adalah kapasitor  $C_3$  karena energi

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

- (3) kapasitas dengan muatan terkecil adalah  $C_1$  karena  $Q = CV$
- (4) kapasitas pengganti

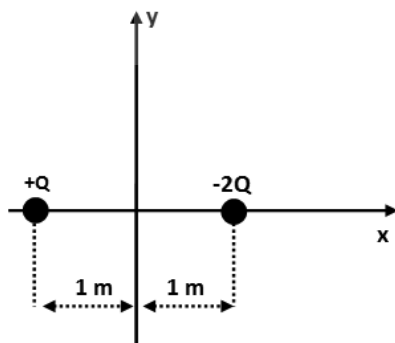
$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

$$\text{Sehingga } C_p = 1 + 2 + 3 = 6\mu\text{F}$$

Jawaban (1), (2), (3) dan (4) benar semua

**Jawaban: E**

6. Perhatikan gambar berikut!



Muatan  $+Q$  coulomb ditempatkan di  $x = -1$  m dan muatan  $-2Q$  coulomb di  $x = +1$  m. Muatan uji  $+q$  coulomb yang diletakkan di sumbu  $x$  akan mengalami gaya total nol bila ia diletakkan di  $x = \dots$

- A.  $-(3+\sqrt{8})$  m
- B.  $-\frac{1}{3}$  m
- C. 0 m

- D.  $\frac{1}{3}$  m
- E.  $3\sqrt{8}$  m

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$q_1 = +Q$$

$$r_1 \rightarrow x = -1$$

$$q_2 = -2Q$$

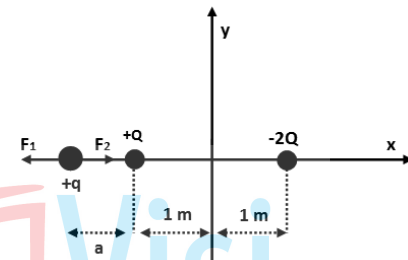
$$r_2 \rightarrow x = 1$$

$$q_{uji} \rightarrow F = 0$$

Ditanyakan:  $r_{uji}$

Jawab:

Perhatikan gambar berikut!



Muatan  $+q$  dikenai gaya  $F_1$  oleh muatan  $+Q$  dan  $F_2$  oleh muatan  $-2Q$  yang arahnya berlawanan, sehingga:

$$\sum F = 0$$

$$F_1 = F_2$$

$$k \frac{qQ}{a^2} = k \frac{q2Q}{(2+a)^2}$$

$$\frac{1}{a^2} = \frac{2}{(2+a)^2}$$

$$\frac{1}{a} = \frac{\sqrt{2}}{2+a}$$

$$2+a = \sqrt{2}a$$

$$a = \frac{2}{\sqrt{2}-1} \cdot \frac{\sqrt{2}+1}{\sqrt{2}+1}$$

$$a = \frac{2\sqrt{2}+2}{2-1}$$

Jadi, jarak dari muatan  $+Q$  adalah:

$$2\sqrt{2} + 2, \text{ sehingga:}$$

$$x = -(a + 1) = -(3 + \sqrt{8})\text{m}$$

**Jawaban: A**

7. Sebuah bola konduktor dengan jari-jari  $R$  memiliki rongga berbentuk bola yang

berjari-jari  $a$  dihitung dari pusat bola konduktor, dengan  $a > R/2$ . Di pusat bola konduktor diletakkan sebuah muatan titik  $+Q$ . Jika  $k = 1$  dengan  $\epsilon_0$  adalah permitivitas listrik dalam udara, maka besar kuat medan listrik di sebuah titik yang berjarak  $R/2$  dari pusat bola konduktor adalah ....

- A. 0
- B.  $kQ/R^2$
- C.  $4kQ/R^2$
- D.  $8kQ/R^2$
- E.  $kQ/(R + a)^2$

**Pembahasan CERDAS:**

Kuat medan listrik di dalam bola konduktor sama dengan nol. Karena  $a > R/2$ , maka jarak  $R/2$  berada di dalam rongga bola. Oleh karena itu, medan di titik yang berjarak  $R/2$  sama dengan nol.

-----**Jawaban: A**

8. Gaya Coulomb dan gaya gravitasi merupakan gaya konservatif.

**SEBAB**

Gaya coulomb dan gaya gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak.

**Pembahasan CERDAS:**

Gaya Coulomb dan gaya gravitasi merupakan gaya konservatif, yaitu gaya yang besarnya tidak bergantung pada lintasan. Pernyataan benar, alasan salah.

-----**Jawaban: C**

9. Jumlah muatan dari dua buah muatan  $q_1$  dan  $q_2$  adalah  $6\mu\text{C}$ . Jika kedua muatan tersebut dipisahkan sejauh 3m, maka masing-masing muatan akan merasakan gaya listrik sebesar 8 mN. Besar  $q_1$  dan  $q_2$  berturut-turut adalah ....

- A.  $3\mu\text{C}$  dan  $3\mu\text{C}$
- B.  $5\mu\text{C}$  dan  $1\mu\text{C}$
- C.  $8\mu\text{C}$  dan  $-2\mu\text{C}$
- D.  $4\mu\text{C}$  dan  $2\mu\text{C}$
- E.  $-4\mu\text{C}$  dan  $10\mu\text{C}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$q_1 + q_2 = 6\mu\text{C}, F = 8 \text{ mN}$$

Ditanyakan:  $q_1$  dan  $q_2$

Jawab:

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

$$8 \times 10^{-3} \text{ N} = \frac{(9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2)(q)(6 \times 10^{-6} \text{ C} - q)}{(3 \text{ m})^2}$$

$$8 \times 10^{-3} = 6 \times 10^3 q - 1 \times 10^9 q^2$$

$$10 \times 10^8 q^2 - 60 \times 10^2 q + 80 \times 10^{-4} = 0$$

$$(1 \times 10^4 q - 4 \times 10^{-2})(10 \times 10^4 q - 20 \times 10^{-2}) = 0$$

$$1 \times 10^{-2} q = 4 \times 10^{-2}$$

$$q = \frac{-4 \times 10^{-2}}{1 \times 10^4} = -4 \times 10^{-6} = -4\mu\text{C}$$

$$10 \times 10^4 q - 20 \times 10^{-2} = 0$$

$$10 \times 10^4 q = 20 \times 10^{-2}$$

$$q = \frac{20 \times 10^{-2}}{10 \times 10^4} = 2 \times 10^{-6} = 2\mu\text{C}$$

Jadi, besarnya muatan  $4\mu\text{C}$  dan  $2\mu\text{C}$

-----**Jawaban: D**

10. Partikel A (muatan  $Q_A$ ) dan partikel B (muatan  $Q_B$ ) keduanya diletakkan pada sumbu x, dengan partikel A di  $x = a$  dan partikel B di  $x = -2a$ . Partikel C (muatan  $Q_C$ ) yang diletakkan di  $x = 0$  tidak mengalami gaya listrik bila  $Q_B$  sebesar...

- A.  $4 Q_A$
- B.  $2Q_A$
- C.  $Q_A$
- D.  $-2Q_A$
- E.  $-4Q_A$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$q_1 = Q_A$$

$$q_3 = Q_C$$

$$R_1 = a$$

$$R_1 = 2a$$

Ditanyakan:  $Q_B$

Jawab:

$$F_A = F_B$$

$$\frac{kq_1q_3}{R_1^2} = \frac{kq_2q_3}{R_2^2}$$

$$\frac{kQ_AQ_C}{a^2} = \frac{kQ_BQ_C}{(2a)^2}$$

$$\frac{Q_A}{a^2} = \frac{Q_B}{4a^2}$$

$$Q_B = 4Q_A$$

Jadi, besar nilai  $Q_B$  adalah 4  $Q_A$ .

-----**Jawaban: A**







## - BAB 15 - Listrik Dinamis

### Rangkuman Materi

#### A. Kuat Arus, Hambatan, dan Hukum Ohm

Kuat arus listrik didefinisikan sebagai banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui penampang suatu penghantar per satuan waktu. Secara matematis kuat arus dituliskan dalam persamaan berikut.

$$I = \frac{Q}{t}$$

Keterangan:

$I$  = kuat arus (ampere)

$Q$  = muatan (coulomb)  $t$  = waktu (sekon)

Hukum Ohm menyatakan bahwa kuat arus yang mengalir melalui suatu penghantar sebanding dengan beda potensial antara ujung-ujung penghantar, asalkan suhu penghantar tersebut tidak berubah. Secara umum, hukum Ohm dinyatakan dengan persamaan

$$R = \frac{V}{I}$$

Keterangan:

$R$  = hambatan (ohm)

$V$  = tegangan (volt)  $I$  = kuat arus (ampere)

Sementara itu, besar hambatan suatu kawat penghantar bergantung pada:

1. Jenis kawatnya sebagai hambatan jenisnya ( $\rho$ )
2. Panjang kawatnya ( $l$ )
3. Luas penampang kawatnya ( $A$ )

Apabila ketiga besaran tersebut dihubungkan, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Keterangan:

$R$  = hambatan (ohm)

$\rho$  = hambatan jenis (ohm meter)

$l$  = panjang kawat (meter)

$A$  = luas penampang kawat ( $m^2$ )

Hambatan suatu kawat jenis konduktor akan berubah jika terjadi perubahan suhu sesuai persamaan:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T)$$

Keterangan:

$\rho$  = hambatan jenis pada suhu  $T$  °C (ohm meter)

$\rho_0$  = hambatan jenis pada suhu mula-mula (ohm meter)

$\alpha$  = koefisien suhu ( $^{\circ}C^{-1}$ )

$\Delta T$  = perubahan suhu ( $^{\circ}C$ )

Hambatan jenis kawat akan mengalami perubahan ketika suhunya berubah. Oleh karena itu, nilai hambatannya pun ikut berubah. Persamaan matematisnya sebagai berikut.

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

Keterangan:

$R$  = hambatan pada suhu  $T$  °C (ohm meter)

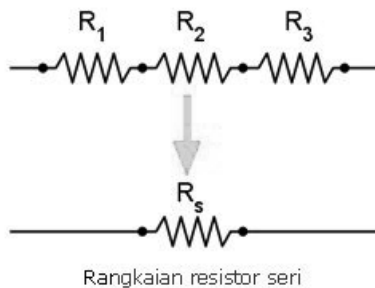
$R_0$  = hambatan pada suhu mula-mula (ohm meter)

## B. Rangkaian Hambatan

Hambatan dapat disusun secara seri, paralel, dan campuran antara seri dan paralel.

### 1. Hambatan Seri

Contoh bentuk rangkaian seri pada hambatan sebagai berikut.



Pada rangkaian seri berlaku sebagai berikut.

- Hambatan pengganti rangkaian seri sama dengan jumlah tiap-tiap hambatan.

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

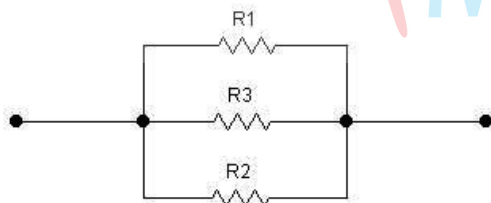
- Kuat arus yang melalui tiap-tiap hambatan sama serta bernilai sama dengan nilai kat arus yang melewati hambatan pengganti.

$$I_s = I_1 = I_2 = I_3 = I_n$$

- Tegangan pada hambatan pengganti seri bernilai sama dengan jumlah tegangan tiap-tiap hambatan.  $V_s = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$

### 2. Hambatan Paralel

Contoh bentuk rangkaian paralel pada hambatan sebagai berikut.



Pada rangkaian paralel berlaku sebagai berikut.

- Hambatan pengganti rangkaian paralel dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

- Kuat arus yang mengalir melalui hambatan pengganti yang disusun secara paralel sama dengan jumlah kuat arus yang terjadi pada tiap hambatannya.

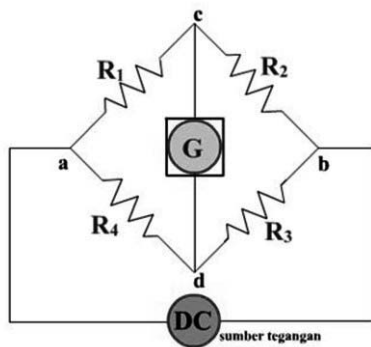
$$I_s = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$$

- Tegangan pada tiap hambatannya sama dengan tegangan pada hambatan pengganti paralel.

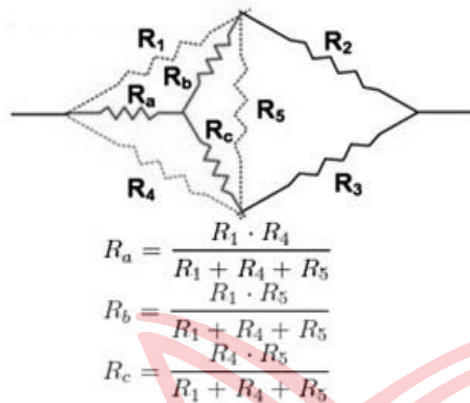
$$V_s = V_1 = V_2 = V_3$$

### 3. Hambatan Campuran

Dalam menentukan besar hambatan, tegangan, serta arus pada hambatan campuran disesuaikan dengan jenis hambatan yang terjadi.



Selain hambatan tersebut, hambatan dapat disusun dengan menggunakan rangkaian jembatan wheatstone. Susunan jembatan Wheatstone adalah susunan penghambat sedemikian hingga tidak dapat dijumlahkan secara langsung baik secara paralel maupun seri. Susunan jembatan Wheatstone dapat dilihat pada gambar berikut.



Jika  $R_1 R_3 = R_2 R_4$ , maka di G tidak ada arus yang mengalir sehingga untuk menentukan besarnya hambatan total dapat dilakukan dengan merangkai  $R_1$  dan  $R_2$  secara seri yang menghasilkan  $R_{s1}$  dan merangkai  $R_3$  dan  $R_4$  dengan seri dan menghasilkan  $R_{s2}$ . Antara  $R_{s1}$  dan  $R_{s2}$  dirangkai secara paralel untuk mengetahui hambatan totalnya.

Apabila  $R_1 R_3 \neq R_2 R_4$ , maka digunakan transformasi delta star ( $\Delta Y$ ) seperti berikut.

### C. Hukum Kirchhoff

Terdapat dua hukum Kirchhoff, yaitu:

#### 1. Hukum I Kirchhoff

Hukum I Kirchhoff menjelaskan bahwa pada rangkaian listrik bercabang, jumlah kuat arus yang masuk pada suatu titik cabang sama dengan jumlah kuat arus yang keluar dari titik cabang. Apabila dituliskan dalam suatu rumusan sebagai berikut.

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

#### 2. Hukum II Kirchhoff

Hukum II Kirchhoff menyatakan bahwa jumlah aljabar perubahan tegangan yang mengelilingi suatu rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol. Pernyataan tersebut jika dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\Sigma V = 0$$

Gaya gerak listrik  $\mathcal{E}$  dalam sumber tegangan menyebabkan arus listrik mengalir sepanjang loop dan arus listrik yang mendapatkan hambatan menyebabkan penurunan tegangan. Oleh karena itu, hasil penjumlahan dari jumlah ggl dalam suatu sumber tegangan dan penurunan tegangan sepanjang rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol. Hal tersebut jika dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$\Sigma \mathcal{E} + \Sigma iR = 0$$

Keterangan:

$\mathcal{E}$  = ggl listrik (volt)

$i$  = arus listrik (ampere)

$R$  = hambatan listrik (ohm)

### Perjanjian Hukum II Khirchoff

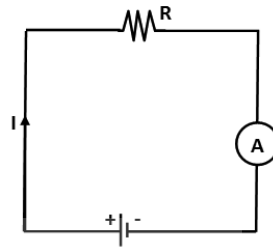
Untuk menggunakan persamaan hukum II Khirchoff, Anda harus memperhatikan perjanjian tanda untuk ggl sumber tegangan dan kuat arus  $I$  sebagai berikut.

1. Kuat arus bertanda positif jika searah dengan arah loop yang kita tentukan dan negatif jika berlawanan dengan arah loop yang kita tentukan.
2. Jika kutub positif sumber tegangan dijumpai terlebih dahulu oleh arah loop, maka ggl akan bertanda positif. Sementara itu, jika kutub negatif sumber tegangan dijumpai terlebih dahulu oleh arah loop, maka ggl akan bertanda negatif.

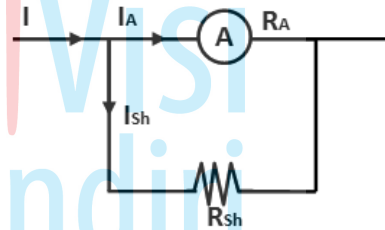
### D. Alat Ukur Listrik

#### 1. Amperemeter

Amperemeter adalah alat untuk mengukur kuat arus listrik. Amperemeter dipasang secara seri oleh resistor sehingga dapat digunakan untuk mengukur kuat arus yang melalui resistor dalam suatu rangkaian sederhana. Perhatikan gambar berikut!



Idealnya, amperemeter memiliki hambatan yang sangat kecil sehingga kuat arus yang terukur oleh amperemeter sama dengan kuat arus yang melewati hambatan. Sementara itu, batas ukur amperemeter dapat diperbesar dengan menambahkan suatu hambatan paralel yang sering disebut sebagai hambatan Shunt. Hambatan Shunt dipasang seperti gambar berikut.



Hubungan antara hambatan Shunt dengan hambatan dalam amperemeter dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_{sh} = \frac{1}{n-1} R_A$$

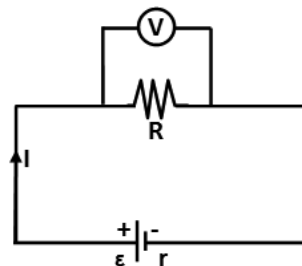
Keterangan:

$R_A$  = hambatan dalam amperemeter (ohm),  $R_{sh}$  = hambatan Shunt (ohm)

$n$  = faktor pengali

#### 2. Voltmeter

Voltmeter adalah alat untuk mengukur beda potensial listrik atau tegangan listrik. Voltmeter dipasang paralel pada resistor dan digunakan untuk mengukur beda potensial pada resistor dalam suatu rangkaian. Bentuk skema pemasangannya seperti berikut.

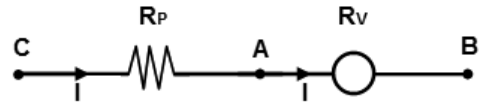


Voltmeter yang baik memiliki hambatan sangat besar. Batas ukur voltmeter dapat diperbesar dengan menambahkan suatu hambatan seri yang sering disebut hambatan depan. Hubungan antara hambatan depan dan hambatan dalam voltmeter sebagai berikut.

$$R_p = (n-1)R_v$$

Keterangan:

$R_p$  = hambatan depan (ohm),  $R_v$  = hambatan dalam voltmeter (ohm),  $N$  = faktor pengali

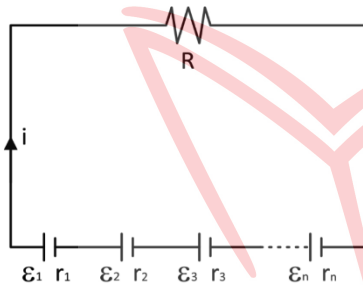


### E. Susunan Elemen

Dalam suatu rangkaian listrik sering dijumpai sumber tegangan yang disusun secara seri, disusun secara paralel, atau gabungan antara seri dan paralel.

#### Susunan Seri Elemen

Perhatikan gambar berikut.!



Gambar tersebut menjelaskan  $n$  buah elemen masing-masing memiliki GGL yang tersusun seri. Hambatan dalam masing-masing elemen adalah  $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ . Kedua ujung susunan tersebut dihubungkan dengan rangkaian luar yang mempunyai hambatan beban  $R$ . Jika terdapat  $n$  buah elemen yang disusun seri GGL total sama dengan jumlah GGL masing-masing elemen.

$$\varepsilon_s = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots + \varepsilon_n$$

Hambatan dalam total sama dengan jumlah hambatan dalam masing-masing elemen.

$$r_s = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

Kuat arus listrik yang mengalir pada masing-masing elemen adalah sama besar. Kuat arus tersebut juga memiliki nilai yang sama dengan kuat arus listrik yang mengalir pada hambatan  $R$ .

$$i_1 = i_2 = i_3 = \dots = i_n = i$$

Apabila masing-masing elemen mempunyai GGL yang sama dan hambatan dalamnya juga sama, maka GGL totalnya:

$$\varepsilon_s = \varepsilon + \varepsilon + \varepsilon + \dots + \varepsilon = n\varepsilon$$

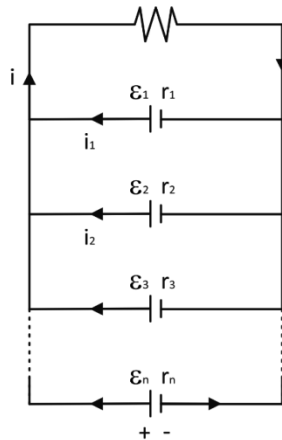
Sementara itu, hambatan dalam totalnya:

$$r_s = r + r + r + \dots + r = nr$$

Kuat arus listrik yang mengalir pada hambatan beban  $R$  dapat ditulis:

$$I = \frac{\varepsilon_s}{R + r_s} = \frac{n\varepsilon}{R + nr}$$

### Susunan Paralel Elemen



Kedua ujung dari rangkaian tersebut dihubungkan dengan rangkaian luar yang memiliki hambatan beban  $R$ . Untuk  $n$  buah elemen identik yang disusun secara paralel, GGL total sama dengan GGL salah satu elemen.

$$\varepsilon_p = \varepsilon$$

Dengan  $\varepsilon_p$  adalah GGL total untuk susunan paralel. Sementara itu, hambatan dalam salah satu elemen dibagi dengan banyaknya elemen.

$$r_p = \frac{r}{n}$$

Kuat arus listrik yang mengalir pada hambatan beban  $R$  dapat ditulis sebagai berikut.

$$I = \frac{\varepsilon_p}{R + r_p} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{n}}$$

Kuat arus yang mengalir pada masing-masing cabang dalam kelompok paralel adalah sama besar. Nilainya sama dengan kuat arus listrik yang mengalir pada hambatan beban dibagi banyaknya elemen.

$$I_m = \frac{I}{n}$$

Dengan  $I_m$  adalah kuat arus pada cabang  $m$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ )

## F. Daya dan Energi Listrik

Energi listrik diperoleh dari sumber tegangan yang terpasang. Energi yang dikeluarkan digunakan untuk memindahkan muatan dari satu ujung ke ujung yang lainnya. Energi disimbolkan  $W$ . Adapun persamaan dari energi adalah sebagai berikut.

$$W = VIt \text{ atau } W = \frac{V^2}{R}t \text{ atau } W = I^2Rt$$

Keterangan:

$W$  = energi listrik (joule),  $i$  = kuat arus listrik (ampere),  $R$  = hambatan listrik (ohm),  $t$  = waktu  
Sementara itu, daya listrik didefinisikan sebagai energi per satuan waktu.

$$P = \frac{W}{t} \text{ atau } P = Vi, \quad P = \frac{V^2}{R} \text{ atau } P = I^2R$$

Keterangan:  $P$  = daya listrik (watt),  $W$  = energi listrik (joule),  $V$  = beda potensial (volt),  $I$  = kuat arus listrik (ampere),  $t$  = waktu (sekon)

Pada suatu peralatan listrik, semisal lampu dituliskan 40 W, 220 V pada salah satu bagian lampu. Adapun maksud dari tulisan tersebut adalah lampu menyerap daya listrik 40 W apabila dipasang pada tegangan 220 V. Sementara itu, apabila lampu dipasang pada tegangan kurang dari 220 volt, maka lampu akan menyala lebih redup dibandingkan keadaan normalnya. Hal tersebut apabila dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$P = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 P_1$$

Keterangan:

$P$  = daya listrik yang diserap (watt)

$V_2$  = tegangan akhir yang digunakan oleh peralatan listrik (volt)

$V_1$  = tegangan awal yang digunakan oleh peralatan listrik (volt)

$P_1$  = daya listrik awal yang digunakan peralatan listrik (watt)

## Soal dan Pembahasan

1. Agar sebuah bola lampu listrik 25 volt, 100 watt dapat bekerja dengan layak ketika dihubungkan dengan sumber DC 125 volt, maka diperlukan tambahan hambatan listrik ...
- 25 ohm secara seri
  - 25 ohm secara paralel
  - 20 ohm secara paralel
  - 20 ohm secara seri
  - 20 ohm secara seri dan 25 ohm secara paralel

### Pembahasan CERDAS:

Lampu dapat menyala dengan normal diperlukan hambatan listrik  $R$  yang dipasang secara seri pada lampu.

$$V_R = V_S - V_L = 125 - 25 = 100 \text{ volt}$$

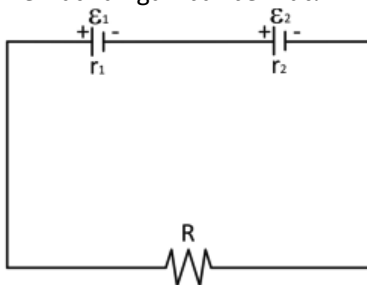
$$I_R = I_L = \frac{P_L}{V_L} = \frac{100}{25} = 4 \text{ A}$$

Besarnya hambatan listrik yang diperlukan adalah:

$$R = \frac{V_R}{I_R} = \frac{100 \text{ volt}}{4 \text{ A}} = 25 \Omega$$

-----Jawaban: A

2. Perhatikan gambar berikut!



Sebuah rangkaian listrik seperti pada gambar di atas diketahui  $\varepsilon_1 = 6 \text{ volt}$ ,  $\varepsilon_2 = 12 \text{ volt}$ ,  $r_1 = 0,2 \text{ ohm}$ ,  $r_2 = 0,5 \text{ ohm}$ , dan  $R = 5,3 \text{ ohm}$ . Hal itu berarti bahwa arus listrik yang timbul ....

- (1) searah dengan arah putaran jarum jam
- (2) besarnya 1 ampere
- (3) sumber pertama memperoleh energi
- (4) sumber kedua mengeluarkan energi

### Pembahasan CERDAS:

Semisal arah arus seperti gambar dan arah loop searah jarum jam, sehingga menurut aturan hukum Khirchhoff II akan berlaku seperti berikut.

$$\Sigma \varepsilon + \Sigma IR = 0$$

$$(6 - 12) \text{ volt} + I(0,2 + 0,5 + 5,3) = 0$$

$$-6 \text{ volt} + 6I = 0$$

$$6I = 6$$

$$I = 1 \text{ ampere}$$

**(Pernyataan 1 dan 2 benar)**

Arus masuk ke sumber pertama sehingga dapat dikatakan sumber pertama menerima energi. Sementara itu, arus keluar dari sumber kedua sehingga dapat dikatakan sumber kedua mengeluarkan energi.

-----Jawaban: E

3. Dua buah baterai dengan ggl dan hambatan dalam berbeda dihubungkan seri satu sama lain. Selanjutnya, keduanya dihubungkan secara seri pula dengan suatu hambatan luar sehingga besar arus listrik dalam rangkaian tersebut adalah 4 am-

pere. Jika polaritas salah satu baterai dibalik, maka besar arus listrik dalam rangkaian berkurang 2 ampere. Dengan demikian, besar perbandingan ggl kedua baterai tadi adalah ...

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

#### Pembahasan CERDAS:

Apabila polaritas searah, maka akan berlaku persamaan berikut.

$$E_1 + E_2 = iR_{total}$$

$$E_1 + E_2 = 4(R + r_1 + r_2) \dots (1)$$

Apabila salah satu polaritas dibalik, maka menghasilkan persamaan berikut.

$$E_1 - E_2 = iR_{total}$$

$$E_1 - E_2 = 2(R + r_1 + r_2) \dots (2)$$

Berdasarkan persamaan (1) dan persamaan (2), terdapat bagian yang dieliminasi.

$$E_1 + E_2 = 4(R + r_1 + r_2) \quad \text{[dikali 1]}$$

$$E_1 - E_2 = 2(R + r_1 + r_2) \quad \text{[dikali 2]}$$

Adapun hasilnya sebagai berikut.

$$E_1 + E_2 = 4(R + r_1 + r_2)$$

$$2E_1 - 2E_2 = 4(R + r_1 + r_2)$$

Apabila persamaan (1) dikurangi persamaan (2) diperoleh hasil berikut.

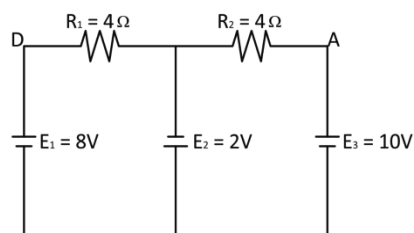
$$3E_2 - E_1 = 0$$

$$E_1 = 3E_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = 3,0$$

-----Jawaban: C

4. Perhatikan gambar berikut!

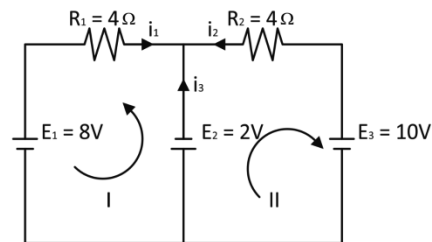


Diketahui rangkaian listrik seperti terlihat pada gambar di atas. Beda potensial antara titik A dan D adalah ...

- A. 18 V
- B. 16 V
- C. 4 V
- D. 2 V
- E. 0 V

#### Pembahasan CERDAS:

Perhatikan gambar berikut.



Berdasarkan gambar di atas berlaku:

$$i_1 + i_2 = i_3$$

Pada loop I berlaku:

$$\Sigma \mathcal{E} + \Sigma iR = 0$$

$$(8 + 2) + (-i_3)(0) + (-i_1)(4) = 0$$

$$4i_1 = 10$$

$$i_1 = 2,5 \text{ ampere}$$

$$V_{R1} = i_1 R_1 = (2,5)(4) = 10 \text{ volt}$$

Pada loop II berlaku

$$\Sigma \mathcal{E} + \Sigma iR = 0$$

$$(10 + 2) + (-i_3)(0) + (-i_2)(4) = 0$$

$$12 - 4i_2 = 0$$

$$4i_2 = 12$$

$$i_2 = 3 \text{ Ampere}$$

$$V_{R2} = i_2 R_2 = (3)(4) = 12 \text{ volt}$$

$$V_{ad} = V_{R2} - V_{R1} = (12 - 10) \text{ volt} = 2 \text{ volt}$$

-----Jawaban: D

5. Dua buah beban listrik dengan hambatan sama, yaitu R ohm dihubungkan dengan saluran PLN dengan tegangan V volt; berturut-turut dirangkai paralel sehingga menghasilkan daya  $P_1$ , kemudian dirangkai seri sehingga menghasilkan daya  $P_2$ . Perbandingan daya  $P_1$  dan  $P_2$  adalah ....

- A. 1 : 1
- B. 1 : 2
- C. 2 : 1
- D. 1 : 4
- E. 4 : 1



**Pembahasan CERDAS:**

Dua buah hambatan  $R$  jika disusun secara paralel besarnya daya yang dihasilkan sebagai berikut.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \Leftrightarrow R_p = \frac{R}{2}$$

$$P_1 = \frac{V^2}{R_p} = \frac{V^2}{\frac{R}{2}} = 2 \frac{V^2}{R}$$

Sementara itu, dua buah hambatan yang disusun secara seri akan menghasilkan daya sebagai berikut.

$$R_s = R + R = 2R$$

$$P_2 = \frac{V^2}{R_s} = \frac{V^2}{2R}$$

Perbandingan daya  $P_1$  dan  $P_2$  adalah

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{2 \frac{V^2}{R}}{\frac{V^2}{2R}} = \frac{4}{1}$$

-----Jawaban: E

6. Panel surya  $5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$  digunakan pada sebuah kalkulator yang bekerja pada tegangan 3 volt dan arus 0,2 mA. Jika panel surya mengubah 25% energi cahaya menjadi energi listrik, maka intensitas cahaya minimal yang harus diterima panel surya adalah ...

- A.  $2,5 \text{ W/m}^2$   
 B.  $4,8 \text{ W/m}^2$   
 C.  $5,6 \text{ W/m}^2$   
 D.  $7,5 \text{ W/m}^2$   
 E.  $12,5 \text{ W/m}^2$

**Pembahasan CERDAS:**

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$25\% = \frac{VI}{P} \times 100\%$$

$$0,25 = \frac{(3)(2 \times 10^{-4})}{P}$$

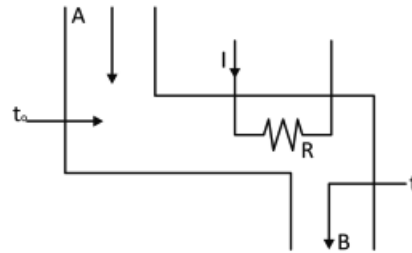
$$P = 24 \times 10^{-4} \text{ watt}$$

Intensitas cahaya yang dihasilkan sebagai berikut.

$$I = \frac{P}{A} = \frac{24 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-4}} = 4,8 \text{ W/m}^2$$

-----Jawaban: B

7. Perhatikan gambar berikut!



Air mengalir masuk melalui A pada suhu  $t_0 = 15^\circ\text{C}$ . Kuantitas aliran tersebut adalah 50 gram/s. Jika  $R = 10 \text{ ohm}$ , arus listrik (tetap) yang melaluinya adalah 10 ampere, dan  $1 \text{ kalori} = 4,2 \text{ joule}$ , maka suhu  $t$  air yang meninggalkan B adalah ....

- A.  $15,7^\circ\text{C}$   
 B.  $19,8^\circ\text{C}$   
 C.  $21,3^\circ\text{C}$   
 D.  $23,3^\circ\text{C}$   
 E.  $25,7^\circ\text{C}$

**Pembahasan CERDAS:**

Berdasarkan soal, air yang dialiri arus listrik akan menghasilkan perubahan energi listrik menjadi energi panas. Jika dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$W = Q$$

$$I^2 R t = m C \Delta T$$

$$(10)^2 (10) t = m (4.200) \Delta T$$

$$(1.000) = \frac{m}{t} (4.200) \Delta T$$

$$(1.000) = (50 \times 10^{-3}) (4.200) \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{(1.000)}{(50 \times 10^{-3}) (4.200)} ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = \frac{1}{210 \times 10^{-3}} = 4,8^\circ\text{C}$$

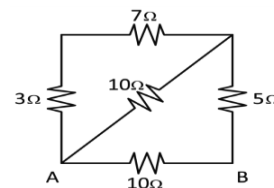
$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$4,8^\circ\text{C} = T_2 - 15^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 19,8^\circ\text{C}$$

-----Jawaban: B

8. Lima buah resistor dihubungkan seperti pada gambar berikut.



Hambatan efektif antara titik A dan titik B sebesar  $10 \Omega$ .

**SEBAB**

Jika antara A dan B dipasang tegangan  $10 \text{ V}$ , maka arus total yang mengalir pada rangkaian adalah  $1 \text{ A}$ .

**Pembahasan CERDAS:**

Nilai hambatan tersebut adalah

$$R_s = 7 + 3 = 10 \Omega$$

Hasil dari hambatan seri tersebut disusun paralel dengan hambatan  $10 \Omega$  sehingga memperoleh hasil berikut.

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} \leftrightarrow R_p = 5 \Omega$$

Adapun hasil dari rangkaian paralel tersebut dapat disusun menjadi rangkaian seri dengan hambatan  $5 \Omega$ . Hasilnya sebagai berikut.

$$R_s = 5 \Omega + 5 \Omega = 10 \Omega$$

Hambatan total AB:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} \leftrightarrow R_{total} = 5 \Omega$$

**(Pernyataan Salah)**

Arus yang mengalir pada hambatan tersebut jika diberikan tegangan  $10 \text{ V}$  adalah:  $I = \frac{V}{R} = \frac{10}{5} = 2 \text{ A}$

**(Alasan Salah)**

-----**Jawaban: E**

9. Arah arus listrik dalam suatu kawat penghantar sama dengan arah gerak elektron dalam penghantar tersebut.

**SEBAB**

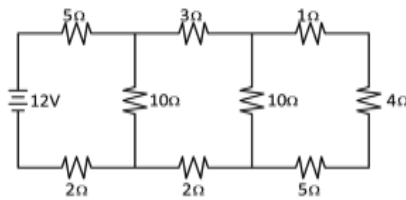
Arus listrik dalam suatu kawat penghantar mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah.

**Pembahasan CERDAS:**

Arah arus listrik pada kawat penghantar selalu berlawanan dengan arah gerak elektron. Arus listrik mengalir dari beda potensial tinggi menuju beda potensial rendah.

-----**Jawaban: D**

10. Perhatikan gambar berikut!



Besar arus listrik yang melewati hambatan  $4 \Omega$  pada rangkaian listrik DC pada gambar di bawah adalah ....

- A.  $1,25 \text{ A}$   
B.  $1,00 \text{ A}$   
C.  $0,75 \text{ A}$   
D.  $0,50 \text{ A}$   
E.  $0,25 \text{ A}$

**Pembahasan CERDAS:**

Berdasarkan gambar tersebut, hambatan  $1 \Omega$ ,  $4 \Omega$ , dan  $5 \Omega$  disusun secara seri.

$$R_{s1} = (1 + 4 + 5)\Omega = 10 \Omega$$

Hasil rangkaian seri kemudian disusun paralel dengan hambatan  $10 \Omega$ .

$$\frac{1}{R_{p1}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} \leftrightarrow R_{p1} = 5 \Omega$$

Hasil  $R_{p1} = 5 \Omega$  disusun seri dengan hambatan  $3 \Omega$  dan  $2 \Omega$  dan diperoleh:

$$R_{s2} = (5 + 3 + 2)\Omega = 10 \Omega$$

Hasil dari  $R_{s2}$  dirangkai paralel dengan hambatan  $10 \Omega$ .

$$\frac{1}{R_{p2}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{2}{10} \leftrightarrow R_{p2} = 5 \Omega$$

Hasil dari  $R_{p2} = 5 \Omega$  disusun secara seri dengan hambatan  $5 \Omega$  dan  $2 \Omega$ :

$$R_{total} = 5\Omega + 5\Omega + 2\Omega = 12 \Omega$$

Besarnya arus total yang dihasilkan yaitu

$$I_{total} = \frac{V_{total}}{R_{total}} = \frac{12 \text{ volt}}{12 \Omega} = 1 \text{ ampere}$$

Arus total yang dihasilkan melewati percabangan antara  $R_{s2}$  dan  $10 \Omega$  sehingga diperoleh arus pada  $10 \Omega$  sebesar  $0,5 \text{ A}$ . Selanjutnya, arus melewati hambatan  $R_{s1}$  dan  $10 \Omega$  yang nilainya sama, sehingga besarnya arus yang mengalir adalah  $0,25 \text{ A}$ .

-----**Jawaban: E**



## - BAB 16- Medan Magnet dan Induksi Elektromagnetik

### Rangkuman Materi

- **Hans Christian Oersted** → arus listrik yang mengalir pada kawat penghantar dapat menghasilkan medan magnet. Perhatikan gambar berikut ini.
- **Hukum Biot-Savart** menjelaskan bahwa besarnya medan magnet pada kawat yang dialiri oleh arus listrik dituliskan dalam persamaan berikut.

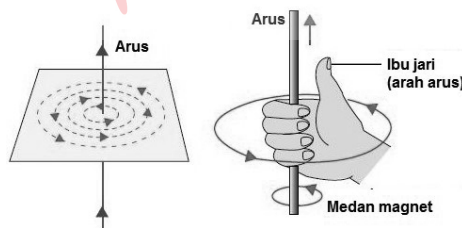
$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Berdasarkan persamaan di atas, besarnya medan magnet dapat dirumuskan.

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\mathbf{s} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Keterangan:  $\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa =  $4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$ ,  $I$  = kuat arus listrik (A),  $r$  = jarak titik ke kawat,  $s$  = jarak yang dilalui medan magnet (T)

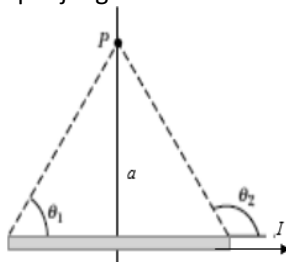
**Aturan dalam melukiskan medan magnet**



Arah arus ( $I$ ) searah ibu jari, sedangkan arah medan magnet ( $B$ ) searah keempat jari melingkar.

**Medan magnet pada kawat Lurus**

1. Kawat lurus panjang tertentu



Besarnya medan pada titik P adalah:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

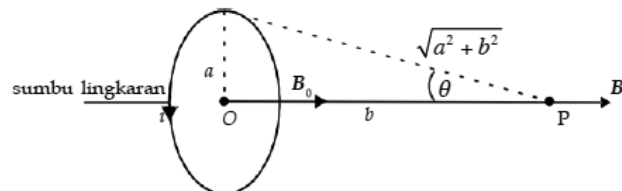
2. Kawat lurus panjang tak hingga dengan  $\theta_1 = 0^\circ$  dan  $\theta_2 = 180^\circ$ , maka besarnya medan magnet adalah:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Keterangan:

$a$  = jarak antara kawat dengan titik medan magnet

### Medan Magnet pada Kawat Melingkar



1. Pusat lingkaran pada titik O

Jika kawat melingkar dengan sudut  $\theta$ , maka besar induksi magnetnya adalah:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \theta$$

Jika lingkaran penuh memiliki sudut  $\theta = 360^\circ = 2\pi$ , besarnya induksi magnet menjadi

$$B = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

Sehingga sudut yang digunakan adalah:

Sudut	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	dst
$\theta$	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$	...

Jika terdiri dari  $N$  lingkaran, maka:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2a} N, \text{ dengan } N \text{ menyatakan banyak lilitan.}$$

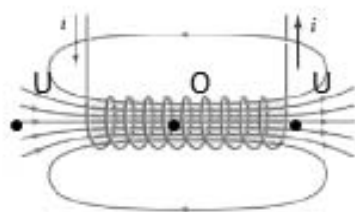
2. Jika titik terletak pada sumbu pada pusat lingkaran di titik P

Anggap jika  $r = \sqrt{a^2 + b^2}$ , sehingga besarnya medan listrik di titik P adalah:

$$B = \frac{\mu_0 I a^2}{2r^3}$$

### Aplikasi pada medan magnet Solenoida dan Toroida

1. Solenoida



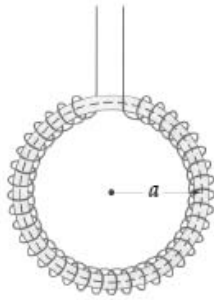
Di pusat solenoida  
titik O

$$B_O = \frac{\mu_0 I N}{L}$$

Pada ujung-ujung solenoid di titik U

$$B_U = \frac{1}{2} B_O = \frac{\mu_0 I N}{2L}$$

## 2. Toroida



Besarnya medan magnet di pusat

$$B = \frac{\mu_0 i N}{2\pi a}$$

Dengan:

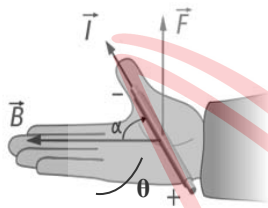
N = jumlah lilitan

### A. Gaya Lorentz

Gaya Lorentz atau sering disebut dengan gaya magnet merupakan gaya yang ditimbulkan di sekitar medan magnet. Gaya Lorentz antara lain dapat terjadi pada:

#### 1. Gaya Lorentz pada kawat berarus di dalam medan magnet

Aturan tangan kanan digunakan untuk menentukan arah gaya



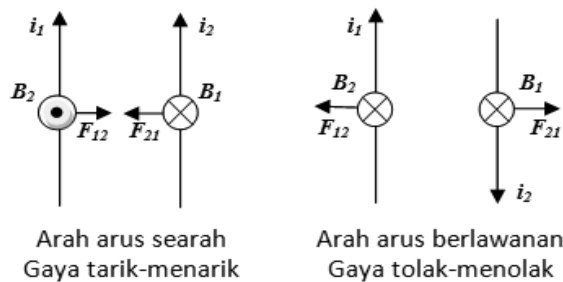
Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan.

$$F_L = BIl \sin \theta$$

Keterangan:

$F_L$  = gaya Lorentz (N),  $B$  = besarnya medan magnet (T),  $I$  = kuat arus yang dialirkan (A),  $l$  = panjang kawat penghantar (m),  $\theta$  = sudut antara arus  $i$  dan medan magnet  $B$

#### 2. Gaya Lorentz antar kawat berarus



Arah arus searah  
Gaya tarik-menarik

Arah arus berlawanan  
Gaya tolak-menolak

Keterangan :

⊗ = arah masuk bidang

⊙ = arah keluar bidang

Secara matematis besar gaya Lorentz pada kawat sejajar dapat dituliskan sebagai berikut.

$$F_{12} = F_{21} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} l$$

Keterangan:

$F_{12} = F_{21}$  = gaya Lorentz pada kawat kedua kawat (N)

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa ( $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Wb/Am)

$I_1$  = arus pada kawat pertama (A)

$I_2$  = arus pada kawat kedua (A)

$B_1$  = medan magnet yang diakibatkan oleh kawat pertama (A)

$B_2$  = medan magnet yang diakibatkan oleh kawat kedua (A)

$l$  = panjang kawat (m)

$a$  = jarak kedua kawat (m)

### 3. Gaya Lorentz pada muatan yang bergerak dalam medan magnet

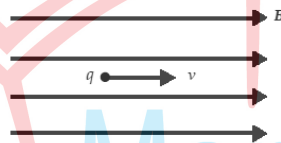
Secara matematis besarnya gaya magnet pada muatan bergerak dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.  $F = B q v \sin \theta$

Keterangan:

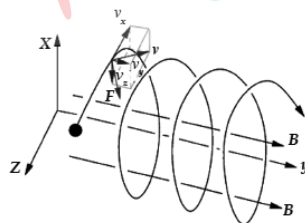
$F$  = gaya Lorentz (N),  $B$  = medan magnet (T),  $q$  = besarnya muatan listrik (C),  $v$  = kecepatan muatan (m/s),  $\theta$  = sudut antara medan magnet  $B$  dan kecepatan muatan  $v$

Adanya sudut antara medan magnet dan kecepatan muatan listrik mengakibatkan muatan memiliki lintasan yang berbeda pada saat berada di dalam medan magnet.

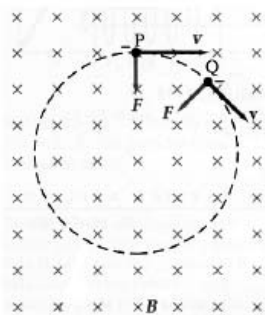
a. Arah kecepatan muatan positif sejajar dengan medan magnet ( $\theta = 0^\circ$ ), maka  $F = 0$



b. Arah medan magnet dan kecepatan muatan positif membentuk sudut  $\theta$  ( $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ), maka lintasan berbentuk spiral



c. Arah gerak muatan positif tegak lurus dengan medan magnet ( $\theta = 90^\circ$ ), maka  $F_{Lorentz} = F_{sentripetal}$  sehingga lintasan berbentuk lingkaran



Jari-jari lintasan ( $R$ ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

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

Keterangan:

$R$  = jari-jari lintasan (m),  $m$  = massa muatan listrik (kg)

**Catatan:**

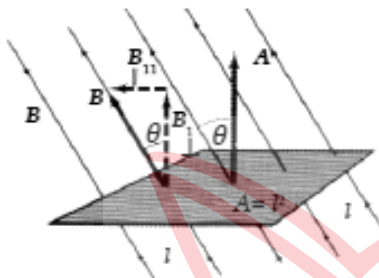
Aturan tangan kanan pada muatan dipakai khusus untuk muatan positif. Jika bermuatan negatif (elektron), maka gunakan tangan kiri dengan ibu jari sebagai arah  $v$ , untuk  $F$  dan  $B$  masih tetap.

---

## B. Fluks Magnet

---

**Faraday** menemukan bahwa besaran yang berpengaruh terhadap munculnya arus induksi adalah fluks magnet. Fluks magnet adalah jumlah garis-garis gaya medan magnet yang menembus tegak lurus bidang dengan luasan tertentu.



Persamaan fluks magnet dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Phi = BA \cos \theta$$

Keterangan:

$\Phi$  = fluks magnet (Wb)

$B$  = besarnya medan magnet (T)

$A$  = luasan permukaan yang dilalui medan magnet ( $m^2$ )

$\theta$  = sudut antara medan magnet  $B$  dengan garis normal bidang permukaan

---

## C. Induksi Magnetik

---

### 1. GGL Induksi

Hukum Lenz menyatakan bahwa arus induksi selalu menimbulkan medan magnet induksi yang berlawanan dengan perubahan medan magnet asalnya.

Hukum Faraday yang berbunyi, “ggl induksi yang timbul pada ujung-ujung suatu penghantar atau kumparan sebanding dengan laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi oleh loop penghantar atau kumparan tersebut”. Apabila dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \text{ atau } \varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Sementara itu, besarnya GGL induksi yang dihasilkan oleh generator dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\varepsilon = NBA\omega \sin \alpha$$

Adapun GGL induksi pada ujung-ujung sebuah penghantar yang digerakkan memotong tegak lurus suatu medan magnet di rumuskan sebagai berikut.

$$\varepsilon = Blv \sin \alpha$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = ggl induksi (volt)

$N$  = jumlah lilitan

$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$  = laju perubahan fluks magnetik (Wb/s)  
 $B$  = besar induksi magnetik (Tesla)  
 $A$  = luas penampang kumparan ( $m^2$ )  
 $\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)  
 $v$  = kecepatan penghantar yang digerakkan (m/s)  
 $\alpha$  = sudut terhadap medan magnet

## 2. Transformator

Transformator yang lebih dikenal dengan nama trafo merupakan alat yang digunakan untuk mengubah nilai tegangan bolak-balik yang diperlukan dalam suatu rangkaian listrik. Pada transformator berlaku persamaan sebagai berikut.

### Trafo Ideal

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

### Trafo Tidak Ideal

$$\frac{\eta V_p}{V_s} = \frac{\eta N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

### Efisiensi Trafo

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\%$$

Keterangan:

$V_p$  = Tegangan primer (volt)

$V_s$  = Tegangan sekunder (volt)

$N_p$  = Lilitan primer

$N_s$  = Lilitan sekunder

$I_p$  = Arus pada kumparan primer (ampere)

$I_s$  = Arus pada kumparan sekunder (ampere)

$\eta$  = Efisiensi transformator

$P_s$  = Daya kumparan sekunder/keluaran

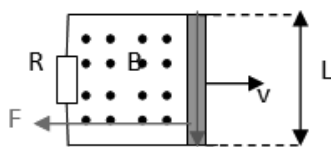
$P_p$  = Daya kumparan primer/masukan

Berdasarkan perubahan tegangan yang dihasilkan, trafo dibedakan menjadi dua:

- Trafo step up**, trafo yang berfungsi menaikkan/memperbesar tegangan bolak balik suatu sumber ( $V_p < V_s$ ,  $N_p < N_s$ , dan  $I_p > I_s$ ).
- Trafo step down**, trafo yang berfungsi menurunkan/memperkecil tegangan bolak balik suatu sumber ( $V_p > V_s$ ,  $N_p > N_s$ , dan  $I_p < I_s$ ).

## 3. Aplikasi induksi Elektromagnetik

- Kawat yang ditarik dalam medan magnet homogen



Besarnya GGL Induksi:

$$\varepsilon = BvL$$

Kuat Arus

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

Keterangan:  $\varepsilon$  = ggl induksi yang dihasilkan (volt),  $B$  = medan magnet (T),  $v$  = kecepatan gerak kawat (m/s),  $L$  = panjang kawat (m),  $R$  = hambatan (ohm)

- Kawat yang diputar dalam medan magnet homogen

	<p>Besarnya ggl induksi</p> $\varepsilon = \frac{BvL}{2}$ <p>karena <math>v = \omega L</math>, maka:</p> $\varepsilon = \frac{B\omega L^2}{2}$
--	--



#### D. Tegangan Bolak-Balik

Arus listrik bolak-balik dibangkitkan oleh generator AC.

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

Akar dari nilai rata-rata kuadrat arus disebut arus efektif.

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Keterangan:

$I_m$  = arus maksimum,  $I_{ef}$  = arus efektif

Hubungan antara tegangan efektif dan tegangan maksimum adalah:

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Keterangan:

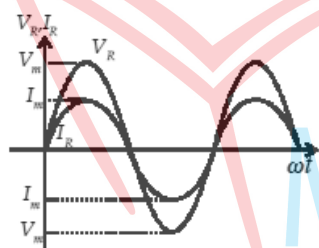
$V_m$  = tegangan maksimum (volt),  $V_{ef}$  = tegangan efektif (volt)

Arus rata-rata adalah arus bolak-balik yang menghasilkan muatan yang sama dengan muatan arus searah dalam waktu yang sama.

$$\bar{I} = \frac{2I_m}{\pi}$$

Jika resistor dihubungkan dengan arus AC, maka tegangannya memenuhi hubungan:

$$V_R = V_m \sin \omega t \text{ dan } I_R = I_m \sin \omega t$$



Grafik

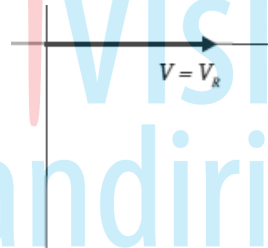
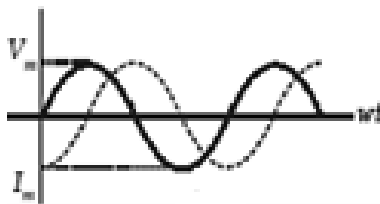


Diagram Fasor

Jika induktor dihubungkan dengan arus AC, maka tegangannya memenuhi hubungan

$$V_L = V_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ dan } I_L = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$



Grafik

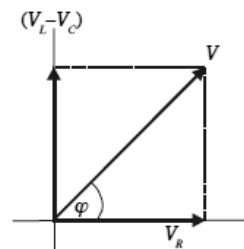
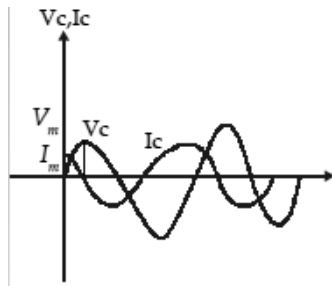


Diagram Fasor

Jika kapasitor dihubungkan dengan arus AC maka tegangannya memenuhi hubungan:

$$V_C = V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right), \quad I_C = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$



Grafik

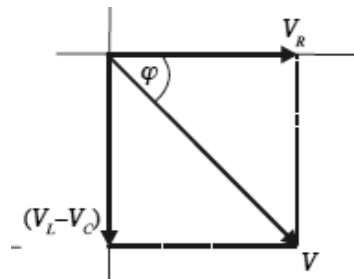


Diagram Fasor

Jika resistor, induktor, dan kapasitor dihubungkan dengan arus AC, maka tegangannya memenuhi hubungan:

$$V = V_m \sin(\omega t + \varphi) \text{ dan } I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

Impedansi rangkaian RLC

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}, \quad \text{di mana } X_L = \omega L \text{ dan } X_C = \frac{1}{\omega C}$$

Tipe Rangkaian RLC

$X_L > X_C$  bersifat rangkaian induktif,  $X_L < X_C$  bersifat rangkaian kapasitif,  $X_L = X_C$  bersifat rangkaian resistif terjadi resonansi

Resonansi rangkaian RLC

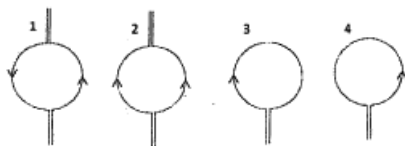
$$X_L = X_C \rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Daya pada rangkaian RLC

$$P = VI \cos \varphi$$

## Soal dan Pembahasan

1. Perhatikan susunan kawat yang dialiri arus seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Jika arus yang dialirkan sama kuat, maka pasangan kawat yang mempunyai medan magnet di titik pusat lingkaran yang sa-

ma besar, tetapi berlawanan arah adalah ...

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

### Pembahasan CERDAS:

Gunakan aturan tangan kanan untuk menentukan arah medan. Besarnya medan

magnet dapat ditentukan dengan persamaan:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} \theta$$

Perhatikan gambar 1 dan 3. Jika gambar 1 merupakan 2 kawat yang masing-masing berbentuk setengah lingkaran, maka arah medan magnetnya searah, yakni keluar. Sementara itu, pada kawat 3 merupakan lingkaran utuh dengan arah medan masuk ke dalam bidang. Besarnya medan magnet pada gambar 1 sama dengan gambar 3, tetapi arahnya berlawanan.

-----Jawaban: B

2. Spektrometer massa digunakan untuk memisahkan dua jenis ion bermuatan sama ( $q_1 = q_2$ ), tetapi dengan massa berbeda ( $m_1 \neq m_2$ ). Setelah dipercepat dengan beda potensial  $V$ , ion-ion tersebut bergerak memasuki daerah bermedan magnet seragam  $B$  secara tegak lurus sehingga mereka mengikuti lintasan gerak berbentuk lingkaran dengan jari-jari  $R$ . Anggaplah bahwa saat memasuki daerah bermedan magnet  $B$ , kecepatan kedua massa adalah  $v_1$  dan  $v_2$ , serta jari-jari lintasan keduanya adalah  $R_1$  dan  $R_2$ . Jika  $m_2 = 4m_1$  dan  $v_1 = 2v_2$ , maka berlaku ....

- A.  $R_1 = 0,25 R_2$   
 B.  $R_1 = 0,5 R_2$   
 C.  $R_1 = R_2$   
 D.  $R_1 = 2 R_2$   
 E.  $R_1 = 4 R_2$

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

Keadaan 1

$$q_1 = q_2$$

$$m_1 \neq m_2$$

$$V_1 = V$$

Keadaan 2

$$m_2 = 4m_1$$

$$v_1 = 2v_2$$

Ditanyakan:  $R_1$  dan  $R_2$

Jawab:

Jari-jari lintasan ditentukan oleh persamaan berikut

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

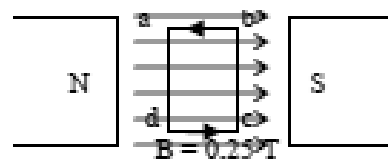
Jika kedua muatan memiliki jumlah muatan ( $q$ ) sama dan melalui medan magnet ( $B$ ) yang sama, maka:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{m_1 v_1}{m_2 v_2} = \frac{m_1 4v_2}{4m_1 v_2} = 1$$

Sehingga nilai  $R_1 = R_2$

-----Jawaban: C

3. Perhatikan gambar berikut!



Kumparan berbentuk segi empat dengan panjang 12 cm dan lebar 10 cm terdiri dari 40 lilitan dan dialiri arus 2 A. Kumparan berada dalam medan magnet 0,25 T. Besar torsi yang dialami kumparan tersebut adalah ..

- A. 0,06 Nm  
 B. 0,10 Nm  
 C. 0,24 Nm  
 D. 0,36 Nm  
 E. 0,48 Nm

#### Pembahasan CERDAS:

Diketahui:

$$p = 12 \text{ cm}$$

$$\ell$$

$$N = 40$$

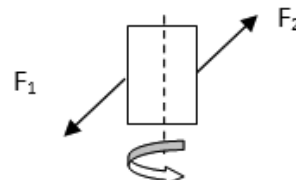
$$i = 2 \text{ A}$$

$$B = 0,25 \text{ T}$$

Ditanyakan:  $\tau$

Jawab:

Perhatikan gambar berikut!



Besarnya torsi diperoleh dari persamaan

$$\tau = F_1 r + F_2 r$$

di mana

$$F_1 = F_2 = BiL$$

$$r = 1/2 \text{ lebar}$$

$L$  = panjang kawat

Sehingga:

$$\tau = BiLr + BiLr$$

$$\tau = 2BiLr$$

$$\tau = 2(0,25)(2)(0,12)(0,05) = 0,06 \text{ Nm}$$

Jadi, torsi yang dialami kumparan adalah 0,06 Nm.

-----Jawaban: A

4. Timbulnya GGL induksi pada sebuah simpal (loop) bergantung pada:

- (1) Laju perubahan fluks magnetik yang dilingkupi simpal
- (2) Luas penampang simpal
- (3) Laju perubahan luas penampang simpal
- (4) Besar medan magnetik yang dilingkupi oleh simpal

Pernyataan yang benar adalah ....

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

#### Pembahasan CERDAS:

Penyebab GGL karena perubahan fluks magnetik bisa kita turunkan menjadi tiga konsep.

$$\checkmark \text{ perubahan } B \rightarrow \varepsilon = -N \frac{dB}{dt} A$$

$$\checkmark \text{ perubahan } A \rightarrow \varepsilon = -NB \frac{dA}{dt}$$

$$\checkmark \text{ perubahan } \theta \rightarrow$$

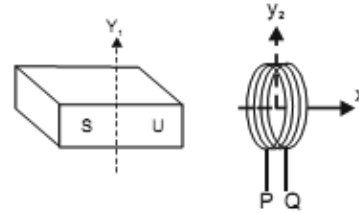
$$\varepsilon = -NBA \frac{d \cos \theta}{dt} = -NBA \frac{d \cos(\omega t)}{dt}$$

$$= NBA \omega \sin(\omega t)$$

Jadi, pernyataan (1), (2), (3), dan (4) benar.

-----Jawaban: E

5. Sebuah batang magnet dan sebuah kumparan disusun dalam satu sumbu (sumbu x) seperti gambar di bawah ini.



Jika kumparan tetap, sedangkan batang magnet diputar dengan sumbu putar y, maka yang akan terjadi adalah ...

- (1) Tidak terjadi perubahan fluks magnet pada kumparan.
- (2) Timbul arus bolak-balik pada kumparan.
- (3) Timbul arus searah pada kumparan.
- (4) Kuat medan magnet yang dihasilkan batang tetap.

#### Pembahasan CERDAS:

Saat magnet diputar, maka terjadi perubahan fluks magnetik sehingga timbul arus induksi dan GGL induksi yang berupa tegangan bolak-balik.

-----Jawaban: C

6. Kumparan rotor generator AC memiliki 100 lilitan dengan penampang lintang luasnya  $0,05 \text{ m}^2$  dan hambatan  $100 \Omega$ . Jika rotor diputar dalam medan magnet 2 tesla dengan frekuensi 50 Hz, maka arus maksimum yang diinduksikan adalah ....

- A. 0,314 A
- B. 2,140 A
- C. 6,280 A
- D. 31,400 A
- E. 62,800 A

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$N = 100$$

$$A = 0,05 \text{ m}^2$$

$$R = 100 \, \Omega$$

$$B = 2 \text{ T}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Ditanyakan:  $I$ 

Jawab:

Arus maksimum terjadi saat ggl induksinya juga maksimum.

$$I = \frac{\varepsilon_{\text{maks}}}{R}$$

Jika  $\varepsilon_{\text{maks}} = NBA\omega$ , maka:

$$I_{\text{maks}} = \frac{NBA\omega}{R}$$

$$I_{\text{maks}} = \frac{NBA2\pi f}{R}$$

$$I_{\text{maks}} = \frac{(100)(2)(0,05)(2 \times 3,14)(50)}{100}$$

$$I_{\text{maks}} = 31,400 \text{ A}$$

Jadi, arus maksimum yang diinduksikan sebesar 31,4 A.

-----**Jawaban: D**

7. Untuk menguji sebuah trafo, seorang siswa melakukan pengukuran tegangan dan arus dari kumparan primer maupun kumparan sekunder. Hasil pengukuran dituangkan dalam tabel di bawah ini.

$V_p$ (V)	$I_p$ (mA)	$N_p$ (lilitan)	$V_s$ (V)	$I_s$ (mA)	$N_s$ (lilitan)
240	2,0	X	Y	50	50

Berdasarkan data tabel di atas, nilai X dan Y adalah ....

- A.  $X = 2$ ;  $Y = 6.000$   
 B.  $X = 50$ ;  $Y = 9,6$   
 C.  $X = 480$ ;  $Y = 1,0$   
 D.  $X = 1250$ ;  $Y = 9,6$   
 E.  $X = 1250$ ;  $Y = 240$

**Pembahasan CERDAS:**

Jika dianggap ideal, maka:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Sehingga

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

$$\frac{X}{50} = \frac{50}{2} \Leftrightarrow X = 1250$$

Sedangkan

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

$$\frac{240}{Y} = \frac{1250}{50} \Leftrightarrow Y = 9,6$$

Jadi, nilai X dan Y secara berurutan adalah 1.250 lilitan dan 9,6 V.

-----**Jawaban: D**

8. Sebuah radio biasanya di tuning agar dapat menerima siaran suatu stasiun radio dengan mengubah nilai kapasitor dalam sebuah rangkaian LC. Untuk menerima siaran dari stasiun yang memancarkan siaran dalam frekuensi 600 kHz, kapasitor radio tersebut detuning pada nilai  $C_1$ . Untuk menerima siaran dari stasiun yang memancarkan siaran dalam frekuensi 1.200 kHz, maka kapasitor harus dituning pada kapasitas....

- A.  $4 C_1$   
 B.  $2 C_1$   
 C.  $C_1/2$   
 D.  $C_1/4$   
 E.  $\frac{C_1}{\sqrt{2}}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$f_1 = 600 \text{ kHz}$$

$$f_2 = 1200 \text{ kHz}$$

$$C = C_1$$

Ditanyakan:  $C_2$ 

Jawab:

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

$$600.000 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}}$$

$$36 \times 10^{10} \text{ Hz} = \frac{1}{4\pi^2 LC_1}$$

$$L = \frac{1}{(36 \times 10^{10} \text{ Hz})(4\pi^2 C_1)}$$

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

$$1.200.000 \text{ Hz} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_2}}$$

$$144 \times 10^{10} \text{ Hz} = \frac{1}{4\pi^2 LC_2}$$

$$144 \times 10^{10} \text{ Hz} = \frac{1}{4\pi^2 C_2 \left( \frac{1}{(36 \times 10^{10} \text{ Hz})(4\pi^2 C_1)} \right)}$$

$$144 \times 10^{10} \text{ Hz} = \frac{(36 \times 10^{10} \text{ Hz})(4\pi^2 C_1)}{4\pi^2 C_2}$$

$$4C_2 = C_1$$

$$C_2 = \frac{1}{4} C_1$$

Jadi, kapasitor harus dituning pada kapasitas  $\frac{C_1}{4}$ .

-----**Jawaban: D**

9. Pada suatu generator listrik, suatu kumparan diputar dengan frekuensi tertentu di dalam medan magnet untuk menghasilkan gaya gerak listrik.

**SEBAB**

Kumparan yang diputar dengan frekuensi tertentu dalam medan magnet menyebabkan perubahan fluks magnetik per satuan waktu.

-----**Jawaban: A**

10. Sebuah kumparan dengan jumlah lilitan 200 berada dalam medan magnet dan mengalami perubahan fluks magnet dari  $6 \times 10^{-4} \text{ Wb}$  menjadi  $1 \times 10^{-4} \text{ Wb}$  dalam waktu 0,02 s. Besar GGL induksi yang timbul antara ujung-ujung kumparan, besarnya adalah....

- A. 3 V  
B. 5 V  
C. 6 V  
D. 8 V  
E. 12 V

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$\phi_1 = 6 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\phi_2 = 1 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Delta\phi = 5 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Delta t = 0,02 \text{ s}$$

$$N = 200$$

Ditanyakan:  $\mathcal{E}$

Jawab:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \\ &= -(200) \frac{5 \times 10^{-4} \text{ Wb}}{0,02 \text{ s}} \\ &= 5 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi, GGL yang dihasilkan sebesar 5 V.

-----**Jawaban: B**



## - BAB 17 - Fisika Modern

### Rangkuman Materi

#### A. Relativitas Khusus

##### 1. Relativitas Newton

Relativitas Newton digunakan untuk benda dengan kecepatan rendah.

##### 2. Teori relativitas kecepatan Einstein:

$$v_{21} = \frac{v_2 + v_1}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

##### 3. Postulat Einstein

- Postulat pertama → Hukum-hukum fisika memiliki bentuk yang sama pada semua kerangka inersia.
- Postulat kedua → Kecepatan cahaya di ruang hampa adalah selalu sama untuk semua pengamatan dan tidak bergantung kepada kecepatan sumber ( $c = 3 \times 10^8$  m/s)

##### 4. Dilatasi Waktu

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

##### 5. Kontraksi Panjang

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

##### 6. Massa dan Energi Relativitas

Massa Relativitas

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Energi Relativitas

$$E = m \cdot c^2$$

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Energi Kinetik

$$E_K = E - E_0$$

$$E_K = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 c^2$$

#### B. Fisika Atom

##### 1. Teori Atom Demokritus

Atom berasal dari kata *atomos* (Yunani), artinya tidak dapat dibagi-bagi lagi.

## 2. Teori Atom Dalton

John Dalton seorang ahli kimia mendukung pemikiran Demokritus dengan melakukan eksperimen kimia yang menghasilkan beberapa ciri-ciri atom, antara lain:

- Tersusun dari partikel-partikel yang sangat kecil yang tidak dapat dibagi lagi yang disebut atom.
- Setiap unsur tersusun dari atom-atom yang sama dan tidak dapat berubah menjadi atom unsur lain.
- Dua atom atau lebih yang berasal dari unsur-unsur yang berlainan dapat membentuk suatu molekul. Molekul adalah bagian dari senyawa yang terkecil.
- Pada reaksi kimia atom-atom berpisah, kemudian bergabung lagi dengan susunan yang berbeda dari semula, tetapi massa keseluruhan tetap.

Kelemahan dari teori atom Dalton adalah tidak menjelaskan tentang adanya muatan listrik dalam atom.

## 3. Teori Atom Thomson

J. J. Thomson (1856 – 1940), mengubah pandangan tentang atom dengan ditemukan muatan negatif pada atom yang disebut dengan elektron. Menurut penemuan Thomson antara lain:

- Atom berbentuk bola pejal dan memiliki muatan (positif dan negatif) yang tersebar merata di seluruh bagian atom.
- Atom bukanlah partikel yang tidak dapat dibagi lagi.
- Atom adalah masif karena partikel-partikel pembentuk atom tersebar merata.
- Jumlah muatan positif sama dengan jumlah muatan negatif sehingga atom bersifat netral.
- Massa elektron jauh lebih kecil dari massa atom.

Kelemahan teori atom Thompson adalah massa atom tersebar merata, selain itu belum ditemukannya besar massa muatan elektron.

## 4. Teori Atom Rutherford

Ernest Rutherford (1871 – 1937) berhasil memecahkan kelemahan teori atom Thompson, dengan melakukan eksperimen dengan menggunakan berkas partikel alfa yang ditembakkan ke lempeng tipis emas. Berdasarkan pengamatannya, sebagian besar partikel alfa dapat dengan mudah menembus lempeng, namun ada sebagian partikel alfa yang dihamburkan kembali.

Menurut Rutherford, partikel alfa dihamburkan kembali oleh inti atom yang merupakan muatan positif sejenis dengan muatan yang ditembakkan oleh partikel alfa. Selain itu, ada beberapa pendapat yang dikemukakan oleh Rutherford, antara lain:

- Inti atom bermuatan positif mengandung hampir seluruh massa atom.
- Elektron bermuatan negatif selalu mengelilingi inti.
- Jumlah muatan inti = jumlah muatan elektron yang mengelilinginya.
- Gaya sentripetal elektron selama mengelilingi inti dibentuk gaya tarik elektrostatis (gaya Coulomb) oleh inti atom dan elektron.

Kelemahan dari teori atom Rutherford adalah tidak dapat menjelaskan kestabilan inti atom dan tidak dapat menjelaskan spektrum garis atom hidrogen. Selain itu, elektron yang mengelilingi inti akan terus memancarkan energi berupa gelombang elektromagnet sehingga lintasannya berbentuk spiral dan suatu saat akan jatuh ke dalam inti.

## 5. Teori Atom Bohr

Niels Bohr (1885 – 1962) menyempurnakan kelemahan teori atom menurut Rutherford dengan mengajukan postulat – postulat sebagai berikut.

- Elektron mengelilingi inti atom hanya dalam lintasan lingkaran tertentu.



- b. Elektron memiliki energi tertentu pada setiap orbit dan bergerak dalam orbit tanpa memradiasikan energi. Orbit ini disebut orbit stasioner.
- c. Energi radiasi terjadi hanya ketika elektron berpindah dari orbit stasioner satu ke orbit stasioner lainnya yang lebih rendah. Energi radiasi yang dipancarkan berupa foton tunggal berenergi.

$$E = hf = E_t - E_r$$

dengan

$E_t$  adalah energi orbit yang lebih tinggi dan

$E_r$  adalah energi orbit yang lebih rendah.

Energi dasar pada atom hidrogen  $E_1$  bernilai -13,6 eV, sedangkan untuk atom berelektron  $n$  dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$E_n = \frac{-13,6}{n^2} \text{ eV}$$

- d. Momentum sudut memenuhi keadaan kuantum

$$L = m v r_n = n \frac{h}{2\pi}$$

Keterangan:

$L$  = momentum sudut (Ns),

$m$  = massa elektron =  $9,1 \times 10^{-31}$  kg

$r_n$  = jari – jari orbit ke- $n$

$h$  = konstanta Planck =  $6,63 \times 10^{-34}$  Js

$n$  = bilangan kuantum = 1, 2, 3, ....

Bilangan kuantum berkaitan dengan kulit atom K, L, M, N, ....

Jari – jari atom hidrogen menurut Bohr bernilai  $r_1 = 0,53 \text{ \AA}$

Untuk jari – jari atom berelektron  $n$  dapat dirumuskan berikut.

$$r_n = n^2 r_1$$

Keterangan:

$r_n$  = jari – jari atom berelektron  $n$

$n$  = bilangan kuantum / kulit atom

Kelemahan teori atom Bohr sebagai berikut.

- Lintasan elektron tidak sesederhana seperti yang dinyatakan Bohr.
- Teori atom Bohr belum dapat menjelaskan kejadian dalam ikatan kimia, pengaruh medan magnet terhadap atom (Efek Zeeman), dan tidak bisa menjelaskan spektrum atom berelektron banyak.

**Deret atom Hidrogen** sebagai berikut.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_r^2} - \frac{1}{n_t^2} \right)$$

Deret Balmer:  $n_r = 1$  dan  $n_t = 2, 3, 4, \dots$  dst

Deret Lyman:  $n_r = 2$  dan  $n_t = 3, 4, 5, \dots$  dst

Deret Paschen:  $n_r = 3$  dan  $n_t = 4, 5, 6, \dots$  dst

Deret Brackett:  $n_r = 4$  dan  $n_t = 5, 6, 7, \dots$  dst

Deret Pfund :  $n_r = 5$  dan  $n_t = 6, 7, 8, \dots$  dst

Keterangan:

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$R$  = konstanta Rydberg =  $1,0074 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

## C. Fisika Inti dan Radioaktivitas

### 1. Inti Atom

Dalam sistem periodik unsur, atom dapat dituliskan sebagai berikut.



Keterangan:

A = nomor massa atom yang menunjukkan jumlah proton dan neutron pada inti

Z = nomor atom yang menunjukkan jumlah proton

X = nama unsur atom

Sehingga secara matematis jumlah neutron dapat dituliskan sebagai berikut.

$$N = A - Z$$

Keterangan:

N = jumlah neutron

A = jumlah proton dan neutron

Z = jumlah proton

Tabel beberapa contoh lambang unsur dan partikel

Nama Partikel	Lambang
Elektron (partikel beta)	${}^0_{-1}e$ atau ${}^0_{-1}\beta$
Positron	${}^0_{+1}e$ atau ${}^0_{+1}\beta$
Proton	${}^1_1p$ atau ${}^1_1H$
Neutron	${}^1_0n$
Partikel $\alpha$ (inti helium)	${}^4_2\alpha$ atau ${}^4_2He$

### 2. Defek Massa

Inti atom tersusun oleh proton dan neutron, akan tetapi jumlah massa proton dan massa neutron (massa nukleon) ternyata memiliki massa inti selalu lebih kecil daripada massa nukleon. Selisih antara massa nukleon dan massa inti disebut defek massa.

Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\Delta m = (Z m_p + N m_n) - m_{\text{inti}}$$

Keterangan:

$\Delta m$  = defek massa

$m_p$  = massa proton

$m_n$  = massa neutron

$m_{\text{inti}}$  = massa inti atom

Defek massa inti atom dapat disetarakan dengan satuan energi dalam eV (elektron volt), yakni:

1 sma = 931 MeV (mega elektron volt).

Tabel beberapa partikel dan massanya dalam sma maupun kg.

Nama Partikel	Massa (sma)	Massa (kg)
Proton	1,007825	$1,6726 \times 10^{-27}$

Neutron	1,008665	$1,6749 \times 10^{-27}$
Elektron	-	$9,11 \times 10^{-31}$

$$1 \text{ sma} = 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

### 3. Energi Ikat Inti Atom

Massa defek yang berubah menjadi energi yang mengikat inti disebut energi ikat inti.

Jika  $\Delta m$  dalam kg

$$E_{\text{ikat}} = \Delta m c^2 \text{ Joule}$$

Namun jika  $\Delta m$  dalam sma

$$E_{\text{ikat}} = \Delta m 931 \text{ MeV}$$

Keterangan:

$E_{\text{ikat}}$  = energi ikat inti atom

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

Energi ikat rata-rata tiap nukleon/inti atom dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E_{\text{nukleon}} = \frac{E_{\text{ikat}}}{A}$$

Keterangan:

$E_{\text{nukleon}}$  = energi ikat rata-rata tiap nukleon/inti atom

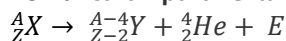
$A$  = jumlah nukleon (proton dan elektron)

### 4. Radioaktivitas Inti

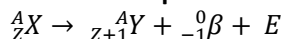
#### a. Pemancaran Partikel Radioaktif

Peristiwa pemancaran sinar radioaktif secara spontan disebut radioaktivitas. Pemancaran partikel-partikel tersebut diakibatkan karena ketidakstabilan inti atom. Adapun beberapa contoh pemancaran partikel-partikel radioaktif sebagai berikut.

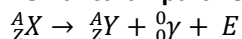
**Pemancaran partikel  $\alpha$**



**Pemancaran partikel  $\beta$**



**Pemancaran partikel  $\gamma$**



Keterangan:  $X$  = inti atom awal,  $Y$  = inti atom hasil,  $E$  = energi yang dihasilkan

#### b. Peluruhan Inti Atom

Inti atom yang memancarkan radioaktif secara terus-menerus dapat mengakibatkan jumlah inti atom berkurang/mengalami peluruhan.

Secara matematis jumlah inti yang mengalami peluruhan radioaktif dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$N_t = N_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

Keterangan:

$N_t$  = jumlah inti pada keadaan akhir

$N_0$  = jumlah inti pada keadaan mula-mula

$t$  = waktu peluruhan

T = waktu paroh

Konstanta peluruhan ( $\lambda$ ) dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = \frac{0,693}{T}$$

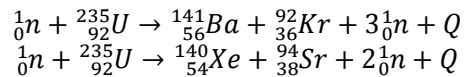
## 5. Reaksi Inti Atom Buatan

Selain melalui pemancaran radioaktif, reaksi inti atom dapat terjadi secara buatan. Adapun reaksi yang dilakukan secara buatan antara lain:

### Reaksi Fisi

Reaksi fisi adalah reaksi pembelahan inti berat menjadi inti-inti yang lebih ringan.

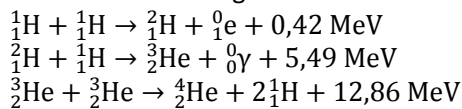
Contoh: reaksi Nuklir



### Reaksi Fusi

Reaksi fusi adalah reaksi penggabungan inti-inti yang ringan menjadi inti yang lebih berat.

Contoh: reaksi energi Matahari



## 6. Energi Reaksi Inti Atom

Energi yang dihasilkan oleh reaksi fusi maupun fisi dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut.

$$E = \left| \sum m_{\text{akhir}} - \sum m_{\text{awal}} \right| 931 \text{ MeV}$$

Keterangan:

$\Sigma m_{\text{akhir}}$  = jumlah massa inti setelah reaksi

$\Sigma m_{\text{awal}}$  = jumlah massa inti sebelum reaksi

## 7. Jenis Ikatan Inti Atom

### a. Isotop

Isotop merupakan unsur yang memiliki nomor atom sama akan tetapi nomor massa berbeda.

Contoh :  ${}^{14}_7\text{N}$  dan  ${}^{15}_7\text{N}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$  dan  ${}^{15}_6\text{C}$

### b. Isoton

Isoton merupakan unsur yang memiliki jumlah neutron sama

Contoh :  ${}^{31}_{15}\text{P}$  dan  ${}^{32}_{16}\text{S}$ ,  ${}^{40}_{20}\text{Ca}$  dan  ${}^{39}_{19}\text{K}$

### c. Isobar

Isobar merupakan unsur yang memiliki nomor massa sama akan tetapi nomor atom berbeda.

Contoh :  ${}^{14}_6\text{C}$  dan  ${}^{14}_7\text{N}$ ,  ${}^{24}_{12}\text{Mg}$  dan  ${}^{24}_{11}\text{Na}$

## Soal dan Pembahasan

1. Momentum sudut orbital yang dimiliki oleh elektron pada kulit N dalam suatu atom adalah...

- A. 0  
B.  $\frac{2h}{\pi}$   
C.  $\frac{4h}{\pi}$   
D.  $\frac{h}{2\pi}$   
E.  $\frac{h}{4\pi}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:  $n=4$

Ditanyakan: L

Jawab:

$$L = \frac{nh}{2\pi} = \frac{4h}{2\pi} = \frac{2h}{\pi}$$

Jadi, momentum sudut orbital pada kulit

N adalah  $\frac{2h}{\pi}$ .

-----**Jawaban: B**

2. Waktu paruh unsur Radium adalah 1.600 tahun. Jika dalam seongkah batu mengandung 0,2 gram Radium, maka jumlah radium dalam batu tersebut 12.800 tahun yang lalu adalah....

- A. 31,2 gram  
B. 41,2 gram  
C. 51,2 gram  
D. 61,2 gram  
E. 71,2 gram

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$T = 1.600$  tahun

$N_0 = 0,2$  gram

$t = 12.800$  tahun

Ditanyakan: N

Jawab:

$$\frac{N}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$$

$$\frac{0,2}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{12800/1600}$$

$$N_0 = 51,2 \text{ gram}$$

Jadi, inti radium dalam batu tersisa 51,2 gram.

-----**Jawaban: C**

3. Perbandingan dilatasi waktu untuk sistem yang bergerak pada kecepatan 0,8 c dengan sistem yang bergerak dengan kecepatan 0,6 c adalah...

- A. 3 : 4  
B. 4 : 3  
C. 9 : 2  
D. 9 : 16  
E. 16 : 9

**Pembahasan CERDAS:**

Perbandingan waktu relativitas:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c_1^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c_2^2}}} = \frac{\sqrt{1 - \frac{0,8c^2}{c_1^2}}}{\sqrt{1 - \frac{0,6c^2}{c_2^2}}} = \frac{3}{4}$$

-----**Jawaban: A**

4. Energi total benda bermassa m akan sama dengan lima kali energi rehatnya jika benda tersebut mempunyai momentum linear sebesar...

- A.  $2\sqrt{3}mc$   
B.  $4\sqrt{2}mc$   
C.  $6mc$   
D.  $2\sqrt{6}mc$   
E.  $2mc$

**Pembahasan CERDAS:**

Energi Total

$$E = 5E_0$$

$$\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = 5mc^2$$

$$V = \frac{2}{5}\sqrt{6}C$$

Momentum linear

$$P = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\frac{m_0^2 \sqrt{6} c}{5}}{\sqrt{1 - \frac{(\frac{2\sqrt{6}c}{5})^2}{c^2}}} = 2\sqrt{6}m_0c$$

-----Jawaban: D

5. Suatu peluru inti menghasilkan zarah-zarah dengan massa  $m_1$  dan  $m_2$  yang bergerak saling menjauhi satu sama lain. Jika  $E$  adalah energi kinetik total kedua massa, maka energi kinetik zarah 1 bernilai .... (anggaplah bahwa inti induksinya stasioner sebelum meluruh)

- A.  $\frac{m_1}{m_2} E$   
 B.  $\frac{E}{m_1 + m_2}$   
 C.  $\frac{m_2}{m_1} E$   
 D.  $\frac{m_2}{m_1 + m_2} E$   
 E.  $\frac{m_2}{m_1 + m_2} E$

**Pembahasan CERDAS:**

Konsep hukum Kekekalan momentum linier akan menghasilkan persamaan:

$$mv = -m_1v_1 + m_2v_2$$

$$0 = -m_1v_1 + m_2v_2$$

$$m_1v_1 = m_2v_2$$

$$v_2 = \frac{m_1v_1}{m_2} \dots\dots \text{Persamaan 1}$$

Energi kinetik pada zarah pertama:

$$Ek_1 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

Energi kinetik pada zarah kedua:

$$Ek_2 = \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

Energi kinetik total:

$$E = Ek_1 + Ek_2$$

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

$$2E = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 \dots \text{Persamaan 2}$$

Persamaan (1) disubstitusikan ke persamaan (2):

$$2E = m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2$$

$$2E = m_1 v_1^2 + m_2 \left( \frac{m_1 v_1}{m_2} \right)^2$$

$$2E = m_1 v_1^2 + \frac{m_1^2 v_1^2}{m_2}$$

$$m_1 m_2 v_1^2 + m_1^2 v_1^2 = 2m_2 E$$

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

$$Ek_1 = \frac{m_2}{m_2 + m_1} E$$

-----Jawaban: D

6. Jika  $K$  adalah energi kinetik relativistik dari sebuah partikel dan  $v$  adalah kecepatannya, maka massa diam partikel tersebut diberikan oleh ....

- A.  $\frac{K}{c^2} (\sqrt{1 - (v^2/c^2)} + 1)$   
 B.  $\frac{K}{c^2} (\sqrt{1 - (v^2/c^2)} + 1 - (v^2/c^2))$   
 C.  $\frac{K}{c^2} (\sqrt{1 - (v^2/c^2)})$   
 D.  $\frac{K}{c^2} (\sqrt{1 - (v^2/c^2)} + v^2/c^2)$   
 E.  $\frac{K}{c^2} (\sqrt{1 - (v^2/c^2)} - 1 + (v^2/c^2))$

**Pembahasan CERDAS:**

$$K = m_0 c \left( \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right)$$

$$m_0 = \frac{K}{c^2} (\sqrt{1 - (v^2/c^2)} + 1 - (v^2/c^2))$$

-----Jawaban: B

7. Pengamat A diam terhadap permukaan bumi, sedangkan pengamat B bergerak bersama sejumlah muon yang tercipta pada suatu ketinggian tertentu. Waktu hidup partikel muon menurut kedua pengamat adalah sama.

**SEBAB**

Jumlah partikel tidak dipengaruhi oleh kerangka pengamat.

**Pembahasan CERDAS:**

Pengamat A diam terhadap permukaan bumi, sedangkan pengamat B bergerak bersama sejumlah muon yang tercipta pada suatu ketinggian tertentu. Waktu hidup partikel muon menurut kedua pengamat berbeda. Hal ini dijelaskan dengan konsep dilatasi waktu

**SEBAB**

Jumlah partikel dipengaruhi oleh kerangka pengamat. Hal ini dijelaskan pada konsep massa diam dan massa bergerak

-----**Jawaban: E**

8. Dalam eksperimen Rutherford, sejumlah partikel alfa yang pada mulanya ditembakkan ke lempeng tipis emas ternyata dapat diamati bahwa sebagian kecil di antaranya dihamburkan pada sudut besar. Hamburan ini terjadi karena ....
- Partikel alfa menumbuk partikel berat bermuatan negatif yang tersebar pada seluruh lempeng emas.
  - Partikel alfa ditolak oleh partikel berat bermuatan positif yang tersebar pada seluruh lempeng emas.
  - Partikel alfa menumbuk partikel berat bermuatan negatif yang berkonsentrasi pada daerah kecil lempeng emas
  - Partikel alfa ditolak oleh partikel berat bermuatan positif berkonsentrasi pada daerah kecil lempeng emas.
  - Partikel alfa bertumbukan dengan partikel alfa yang lain.

**Pembahasan CERDAS:**

Partikel alfa menumbuk partikel berat bermuatan negatif yang tersebar pada seluruh lempeng emas

-----**Jawaban: A**

9. Pada suatu unsur radioaktif, jumlah yang meluruh tinggal 25% dari jumlah semula dalam waktu 20 menit. Jika mula-mula ada 1 kg unsur radioaktif tersebut, maka setelah 0,5 jam massa radioaktif yang belum meluruh tinggal ....

- 50 g
- 62,5 g
- 125 g
- 250 g
- 500 g

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$N_1 = 25\%$$

$$N_0 = 1 \text{ kg}$$

$$t_1 = 20 \text{ menit}$$

$$t_2 = 30 \text{ menit}$$

Ditanyakan:  $N_2$

Jawab:

Menentukan waktu paruh

$$\frac{N_1}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{t_1/T}$$

$$25\% = \left(\frac{1}{2}\right)^{20/T}$$

$$T = 10 \text{ menit}$$

Sehingga saat  $t = 30$  menit, massa awal

$$N_0 = 1.000 \text{ gram}$$

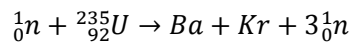
$$N_2 = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t_2/T}$$

$$N_2 = 1000 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{30}{10}} N_2 = 125 \text{ gram}$$

Jadi, unsur tersisa adalah 125 gram.

-----**Jawaban: C**

10. Suatu proses fisi mengikuti persamaan:

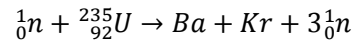


Jika pada proses fisi ini dibebaskan energi 200 MeV, massa neutron = 1,009 sma, massa inti = 235,04 sma, dan 1 sma = 931 MeV, maka massa inti (Ba + Kr) adalah ....

- A. 231,80 sma
- B. 232,80 sma
- C. 233,89 sma
- D. 234,03 sma
- E. 234,89 sma

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:



E = 200 MeV

massa neutron = 1,009 sma

massa inti = 235,04 sma

1 sma = 931 MeV

Ditanyakan:  $m_{\text{Ba+Kr}}$

Jawab:

Defek Massa

$$\Delta m = m_{\text{akhir}} - m_{\text{awal}}$$

$$\Delta m = (m_n + m_U) - (m_{\text{Ba+Kr}} + 3m_n)$$

$$\Delta m = (1,009 + 235,04) - (x - 3 \cdot 1,009)$$

Sedangkan

$$E = \Delta m \cdot 931 \text{ MeV}$$

$$200 = (233,80 - x)931$$

$$x = 232,80 \text{ sma}$$

Jadi, massa  $m_{\text{Ba+Kr}}$  adalah 232,80 sma.

-----**Jawaban: B**







## - BAB 18 - Dualisme Partikel

### Rangkuman Materi

#### A. Radiasi Benda Hitam

Radiasi energi dari sebuah benda bergantung pada jenis, ukuran, dan suhu benda. **J. Stefan dan Boltzmann** menemukan bahwa laju energi radiasi dari benda sebanding dengan luas permukaan benda dan pangkat empat dari temperatur mutlaknya. Laju energi radiasi yang dipancarkan dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = e\sigma AT^4$$

Sehingga intensitas radiasinya adalah:

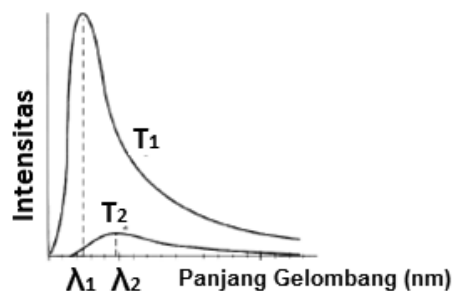
$$I = \frac{P}{A} = e\sigma T^4$$

Keterangan:

$P$  = laju energi (daya) radiasi (watt),  $e$  = emisivitas benda,  $\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzmann ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ),  $A$  = luas penampang benda ( $\text{m}^2$ ),  $T$  = suhu mutlak benda (K),  $I$  = intensitas radiasi benda ( $\text{W/m}^2$ )

#### B. Hukum Pergeseran Wien

**Wilhelm Wien** menemukan hubungan antara panjang gelombang radiasi yang dipancarkan benda hitam dan suhu benda.



Pada grafik terlihat bahwa suhu  $T_1 > T_2$ , sedangkan untuk panjang gelombang  $\lambda_1 < \lambda_2$ . Oleh karena itu, secara matematis dapat dirumuskan:

$$\lambda_m T = 2,9 \times 10^{-3} \text{ mK}$$

Keterangan:

$\lambda_m$  = panjang gelombang terpancar maksimum (m),  $T$  = suhu mutlak benda hitam (K)

### C. Hipotesa Kuantum Planck

**Max Planck** memperlihatkan bahwa energi radiasi tidaklah kontinu, melainkan terdiri atas paket-paket energi diskrit yang disebut kuantum. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$E = n hf$$

Keterangan:

$E$  = energi radiasi (J)

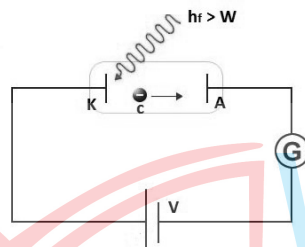
$n$  = jumlah partikel cahaya / foton

$h$  = tetapan Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J s)

$f$  = frekuensi cahaya (Hz)

### D. Efek Fotolistrik dan Teori Einstein

Efek fotolistrik merupakan peristiwa terlepasnya elektron dari permukaan logam karena energi cahaya seperti yang ditunjukkan elektron akan terlepas dari plat katoda dan bergerak menuju ke anoda bila diberi seberkas cahaya dengan energi  $E = hf$  yang lebih besar dari  $W_0$ .



Energi minimal yang dibutuhkan elektron untuk terlepas disebut fungsi kerja logam/energi ambang  $W_0$ .

Sesuai hukum kekekalan energi, maka pada saat fotoelektron terhenti, secara matematis berlaku persamaan.

$$EK_{\text{maks}} = eV_0$$

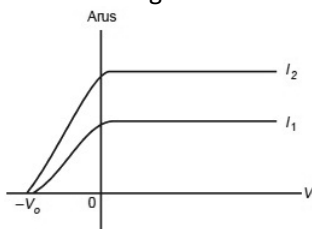
di mana

$EK_{\text{maks}}$  = energi kinetik maksimum fotoelektron

$e$  = muatan elektron =  $-1,6 \times 10^{-19}$  C

$V_0$  = potensial henti (V)

Grafik hubungan intensitas dan tegangan:



Semakin besar intensitas cahaya, maka akan semakin banyak elektron yang terlepas dari pelat dan sebaliknya. Menurut **Einstein**, fenomena yang terjadi pada efek fotolistrik ini tidak dapat dijelaskan menggunakan teori gelombang. Ketika cahaya dijatuhkan pada logam, foton-foton yang berinteraksi dengan elektron akan memberikan seluruh energinya pada elektron untuk bergerak.

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$EK_{\text{maks}} = E - W_0$$

Sehingga

$$EK_{\text{maks}} = hf - hf_0$$

$$EK_{\text{maks}} = \frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda_0}$$

Keterangan:

$EK_{\text{maks}}$  = energi kinetik maksimum (J)

$E$  = energi foton (J)

$W_0$  = energi ambang/fungsi kerja logam (J)

$h$  = konstanta Planck =  $6,63 \times 10^{-34}$  J.s

$f$  = frekuensi cahaya (Hz)

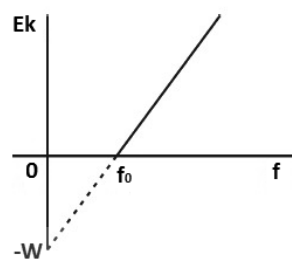
$c$  = kecepatan cahaya =  $3 \times 10^8$  m/s

$\lambda$  = panjang gelombang cahaya (m)

$f_0$  = frekuensi ambang (Hz)

$\lambda_0$  = panjang gelombang maksimum (m)

Grafik hubungan energi kinetik dengan frekuensi foton



Semakin besar frekuensi cahaya semakin besar energi kinetiknya dan sebaliknya.

## E. Sinar X

Keberhasilan teori foton yang dikemukakan Einstein dalam menjelaskan efek fotolistrik ternyata dapat digunakan juga untuk menjelaskan bagaimana proses terjadinya sinar x yang jauh sebelumnya telah ditemukan oleh **W Rontgen**.

X-rays dapat dijelaskan sebagai elektron energetik yang menumbuk permukaan logam, dan dari permukaan logam dipancarkan sinar-x atau foton-foton. Energi kinetik elektron diubah seluruhnya menjadi energi foton. Secara umum dapat dirumuskan menjadi:

$$E_K = hf = \frac{hc}{\lambda} \text{ atau } eV = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Keterangan:

$V$  = potensial pemercepat foton (volt)

Peristiwa yang terjadi saat sinar-x dihasilkan antara lain:

### 1. Efek pengereman

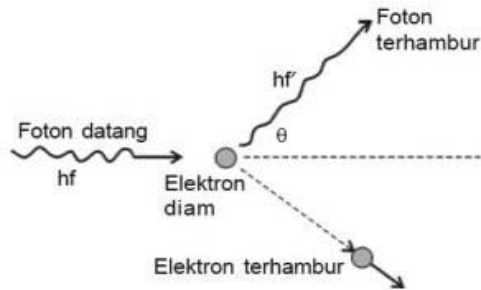
Saat elektron yang ditembakkan ke logam saling bertumbukkan dan mengakibatkan energi kinetik diubah menjadi energi pancaran sinar x.

### 2. Eksitasi transisi Atom logam

Saat bertumbukkan dengan atom, pada logam energi dari elektron dipindahkan ke atom untuk melakukan transisi. Hal ini yang mengakibatkan adanya pancaran sinar x.

## F. Efek Compton

**H. Compton** berhasil menjelaskan hamburan sinar X (foton) yang menumbuk elektron sehingga foton mengalami pembelokkan dengan sudut  $\theta$ .



Secara matematis dapat dituliskan.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0c} (1 - \cos \theta)$$

Keterangan:

$\Delta\lambda$  = pergeseran panjang gelombang (m)

$\lambda$  = panjang gelombang foton datang (m)

$\lambda'$  = panjang gelombang foton hambur (m)

$m_0$  = massa diam elektron =  $9,1 \times 10^{-31}$  kg

$\theta$  = sudut hamburan

$\frac{h}{m_0c}$  = panjang gelombang Compton (m)

## G. Gelombang De Broglie

Konsep dualisme gelombang juga dijelaskan **L. De Broglie**, yang menyatakan bahwa jika cahaya dapat bersifat sebagai gelombang dan partikel, partikel pun mungkin dapat bersifat sebagai gelombang. Menurut de Broglie, selain untuk foton setiap partikel juga memenuhi persamaan berikut.

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

Keterangan:

$\lambda$  = panjang gelombang partikel (m)

$p$  = momentum partikel (kg m/s)

$m$  = massa partikel (kg)

$v$  = kecepatan partikel (m/s)

## Soal dan Pembahasan

1. Pernyataan berikut yang benar mengenai gejala kuantisasi pada radiasi elektromagnetik adalah ....
- A. Radiasi elektromagnetik berperilaku hanya sebagai gelombang.
  - B. Energi foton berbanding lurus dengan frekuensi.
  - C. Momentum foton memiliki besar yang dinyatakan sebagai energi dikali kecepatan cahaya.
  - D. Panjang gelombang foton berbanding terbalik dengan konstanta Planck.

- E. Energi foton merupakan perkalian antara momentum dan panjang gelombang.

(SBMPTN 2013)

### Pembahasan CERDAS:

Energi foton merupakan energi dari tiap-tiap partikel cahaya yang terkuantisasi

$$E = hf$$

Sehingga besarnya energi foton sebanding dengan frekuensi gelombang yang dipancarkan.

-----**Jawaban: B**

2. Cahaya dengan frekuensi tertentu di-jatuhkan pada permukaan suatu logam sehingga fotoelektron dengan energi kinetik maksimum sebesar  $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$  terlepas darinya. Jika diketahui konstanta Planck adalah  $6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$  dan fungsi kerja logam tersebut adalah  $3,7 \times 10^{-19} \text{ J}$ , maka frekuensi cahaya yang jatuh pada logam tersebut adalah sekitar ....

- A.  $0,8 \times 10^{14} \text{ Hz}$   
 B.  $2,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$   
 C.  $4,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$   
 D.  $6,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$   
 E.  $8,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$E_k = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_0 = 3,7 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Ditanyakan:  $f$

Jawab:

$$E_k = hf - hf_0 \rightarrow E_k = hf - W_0$$

$$hf = E_k + W_0$$

$$f = \frac{(E_k + W_0)}{h}$$

$$f = \frac{(1,6 \times 10^{-19} + 3,7 \times 10^{-19})}{6,63 \times 10^{-34}}$$

$$f = \frac{5,3 \times 10^{-19}}{6,63 \times 10^{-34}} = 0,799 \times 10^{15}$$

$$f \approx 0,8 \times 10^{15} = 8 \times 10^{14}$$

Jadi, frekuensi cahaya yang digunakan adalah  $8,0 \times 10^{14} \text{ Hz}$ .

-----Jawaban: E

3. Sebuah elektron bergerak dari keadaan diam melewati beda potensial 100 V. Panjang gelombang de Broglie elektron tersebut adalah ....

- A. 0,123 nm  
 B. 1,23 nm  
 C. 12,3 nm  
 D. 123 nm  
 E. 1230 nm

**Pembahasan CERDAS:**

$$V = 100 \text{ V}$$

Panjang gelombang de Broglie memenuhi persamaan:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e eV}}$$

di mana

$$h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$$

$$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

sehingga:

$$\lambda = \frac{6,6 \times 10^{-34}}{\sqrt{2(9,1 \times 10^{-31})(1,6 \times 10^{-19})100}}$$

$$\lambda = 0,123 \text{ nm}$$

Jadi, panjang gelombang elektron adalah 0,123 nm.

-----Jawaban: A

4. Jika tembaga ditembaki elektron ber-energi tinggi orde puluhan keV, maka spektrum sinar-X yang terbentuk dapat mempunyai puncak tajam pada beberapa panjang gelombang tertentu yang menunjukkan karakteristik dari bahan tersebut.

**SEBAB**

Elektron berenergi puluhan keV jika ditembakkan pada suatu bahan dapat mengalami perlambatan yang besar sehingga akan muncul gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang dalam orde panjang gelombang sinar-X

**Pembahasan CERDAS:**

Sinar X dalam fisika digunakan untuk menentukan karakteristik susunan dari zat padatan. Pada saat pengukuran ada titik di mana spektrum menunjukkan puncak di mana hal ini dikenal dengan karakteristik bahan. Hal ini dapat terjadi karena sinar X yang ditembakkan pada padatan akan mengalami perlambatan yang besar dan mengakibatkan munculnya gelombang elektromagnetik pada zat padatan tersebut.

Pernyataan benar, jawaban benar, dan keduanya saling berhubungan.

-----Jawaban: A

5. Permukaan suatu lempeng logam tertentu disinari dengan cahaya monokromatik. Percobaan ini diulang dengan panjang gelombang yang berbeda. Ternyata tidak ada elektron keluar jika lempeng disinari dengan panjang gelombang di atas 500 nm. Dengan menggunakan gelombang tertentu  $\lambda$ , ternyata dibutuhkan tegangan 3,1 volt untuk menghentikan arus fotolistrik yang terpancar dari lempeng. Panjang gelombang tersebut adalah ...
- 223 nm
  - 273 nm
  - 332 nm
  - 381 nm
  - 442 nm

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$\lambda_{maks} = 500 \text{ nm}$$

$$V = 3,1 \text{ V}$$

Ditanyakan:

Jawab:

Besarnya energi kinetik fotoelektron:

$$E_K = E - W_0$$

$$eV = E - \frac{hc}{\lambda_{maks}}$$

$$eV + \frac{hc}{\lambda_{maks}} = E$$

$$1,6 \times 10^{-19} (3,1) + \frac{6,63 \times 10^{-34} (3 \times 10^8)}{5 \times 10^{-7}} = E$$

$$E = 4,96 \times 10^{-19} + 3,96 \times 10^{-19}$$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,63 \times 10^{-34} (3 \times 10^8)}{8,938 \times 10^{-19}}$$

$$\lambda = 222,3 \times 10^{-9} \text{ m}$$

Jadi, panjang gelombang yang diperlukan sebesar 223 nm.

-----**Jawaban: A**

6. Jika kecepatan partikel A lebih besar dibandingkan kecepatan partikel B, panjang gelombang de Broglie partikel A pasti lebih kecil daripada panjang gelombang de Broglie partikel B

**SEBAB**

Panjang gelombang de Broglie suatu partikel berbanding terbalik dengan momentum partikel.

**Pembahasan CERDAS:**

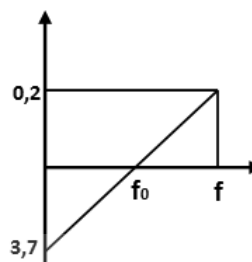
Panjang gelombang de Broglie

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$$

Pernyataan salah karena tidak pasti lebih besar. Alasan Benar karena momentum berbanding terbalik dengan panjang gelombang de Broglie

-----**Jawaban: D**

7. Grafik di dibawah ini menunjukkan hubungan antara energi kinetik maksimum elektron ( $E_k$ ) terhadap frekuensi foton ( $f$ ) pada efek fotolistrik.



Jika konstanta Planck  $6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$  dan  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ joule}$ , maka besar frekuensi foton adalah ....

- $48 \times 10^{14} \text{ Hz}$
- $21 \times 10^{14} \text{ Hz}$
- $14 \times 10^{14} \text{ Hz}$
- $9,5 \times 10^{14} \text{ Hz}$
- $8,9 \times 10^{14} \text{ Hz}$

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:

$$h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

$$E_K = 0,2 \text{ eV} = 0,32 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$W_0 = 3,7 \text{ eV} = 5,92 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Ditanyakan:  $f$

Jawab:

Energi kinetik efek fotolistrik

$$E_K = hf - W_0$$

$$f = \frac{E_K + W_0}{h}$$

$$f = \frac{0,32 \times 10^{-19} + 5,92 \times 10^{-19}}{6,6 \times 10^{-34}}$$

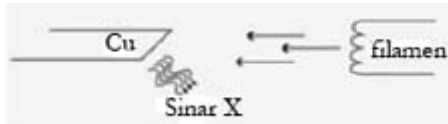
$$f = 9,5 \times 10^{14} \text{ Hz.}$$

Jadi, frekuensi foton tersebut adalah:

$$9,5 \times 10^{14} \text{ Hz.}$$

-----**Jawaban: D**

8. Elektron-elektron dari suatu filament dipercepat dengan beda potensial  $V$  sehingga menumbuk batang tembaga. Spektrum kontinu dari sinar X yang dihasilkan mempunyai frekuensi maksimum  $1,2 \times 10^{19}$  Hz.



Beda potensial antara batang Cu dan filament adalah...

- A. 40 kV
- B. 45 kV
- C. 50 kV
- D. 55 kV
- E. 60 kV

**Pembahasan CERDAS:**

Diketahui:  $f = 1,2 \times 10^{19}$  Hz

Ditanyakan:  $V$

Jawab:

$$eV = hf$$

$$(1,6 \times 10^{-19} \text{C})V$$

$$= (6,6 \times 10^{-34} \text{Js})(1,2 \times 10^{19} \text{Hz})$$

$$V = \frac{(6,6 \times 10^{-34} \text{Js})(1,2 \times 10^{19} \text{Hz})}{1,6 \times 10^{-19} \text{C}}$$

$$V = 4,9725 \times 10^4 \text{V} \approx 50 \text{kV}$$

Jadi, beda potensial yang digunakan adalah 50 kV.

-----**Jawaban: C**

9. Sebuah elektron energi totalnya  $n$  kali energi diamnya. Jika masa diam elektron adalah  $m_0$ , konstanta Planck adalah  $h$ , dan kelajuan cahaya di ruang hampa adalah  $c$ , maka panjang gelombang de Broglie elektron tersebut adalah...

- A.  $\frac{h\sqrt{n^2 - 1}}{m_0c}$
- B.  $\frac{h\sqrt{n^2 + 1}}{m_0c}$
- C.  $\frac{h}{nm_0c}$
- D.  $\frac{h}{\sqrt{n^2 - 1}m_0c}$
- E.  $\frac{h}{\sqrt{n^2 + 1}m_0c}$

**Pembahasan CERDAS:**

Panjang gelombang de Broglie adalah:

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Massa relativistik adalah

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma m_0$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Energi total benda yang bergerak adalah

$E = mc^2$ . Energi diam benda yang tidak

bergerak adalah  $E_0 = m_0c^2$ .

Sehingga:  $E = mc^2 = \gamma m_0c^2 = \gamma E_0$

Pada soal diketahui energi total elektron  $n$  kali energi diamnya, sehingga:

$$E = nE_0 \rightarrow \gamma E_0 = nE_0 \rightarrow \gamma = n$$

$$\gamma = n$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = n$$

$$\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} = n^2$$

$$\frac{c^2}{c^2 - v^2} = n^2$$

$$\frac{c^2}{n^2} = c^2 - v^2$$

$$v^2 = c^2 - \frac{c^2}{n^2}$$

$$= \frac{(n^2 - 1)c^2}{n^2}$$

$$v = \sqrt{\frac{(n^2 - 1)c^2}{n^2}} = \frac{\sqrt{(n^2 - 1)}}{n} c$$

Sehingga panjang gelombangnya:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\gamma m_0 \sqrt{(n^2 - 1)} c}$$

$$= \frac{h}{nm_0 \sqrt{(n^2 - 1)} c}$$

$$= \frac{h}{m_0 \sqrt{(n^2 - 1)} c}$$

Jadi, panjang gelombang de Broglie parti-

kel sebesar  $\frac{h}{m_0 \sqrt{(n^2 - 1)} c}$ .

-----**Jawaban: D**

10. Jika sebuah elektron bergerak dengan energi kinetik sebesar  $2/3$  energi diamnya, maka panjang gelombang de Broglie elektron tersebut adalah .... ( $h = 6,625 \times 10^{-34}$  Js, massa diam elektron  $9,1 \times 10^{-31}$  kg, dan  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19}$  J)

- A.  $1,82 \times 10^{-12}$  m  
B.  $1,361 \times 10^{-12}$  m  
C.  $1,261 \times 10^{-12}$  m  
D.  $0,721 \times 10^{-12}$  m  
E.  $0,626 \times 10^{-12}$  m

#### Pembahasan CERDAS:

Energi total elektron:

$$E = E_k +$$

$$= \frac{2}{3} E_0 + E_0$$

$$= \frac{5}{3} E_0$$

$$\text{Nilai } n = \frac{5}{3}$$

Lihat penurunan persamaan pada soal no. 21.

$$\lambda = \frac{h}{m_0 \sqrt{(n^2 - 1)} c}$$

$$= \frac{6,625 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}) \sqrt{\frac{5^2}{3} - 1} (3 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

$$= \frac{6,625 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}) \sqrt{\frac{25}{9} - 1} (3 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

$$= \frac{6,625 \times 10^{-34} \text{ Js}}{(9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}) \left(\frac{4}{3}\right) (3 \times 10^8 \text{ m/s})}$$

$$= 1,82 \times 10^{-12} \text{ m}$$

Jadi, panjang gelombang de Broglie elektron sebesar  $1,82 \times 10^{-12}$  m.

-----**Jawaban: A**