

Bab

IV

Usaha dan Energi



Tujuan Pembelajaran

- Anda dapat menganalisis hubungan antara usaha, perubahan energi dengan hukum kekekalan energi mekanik, serta dapat menerapkan hukum kekekalan energi mekanik untuk menganalisis gerak dalam kehidupan sehari-hari.



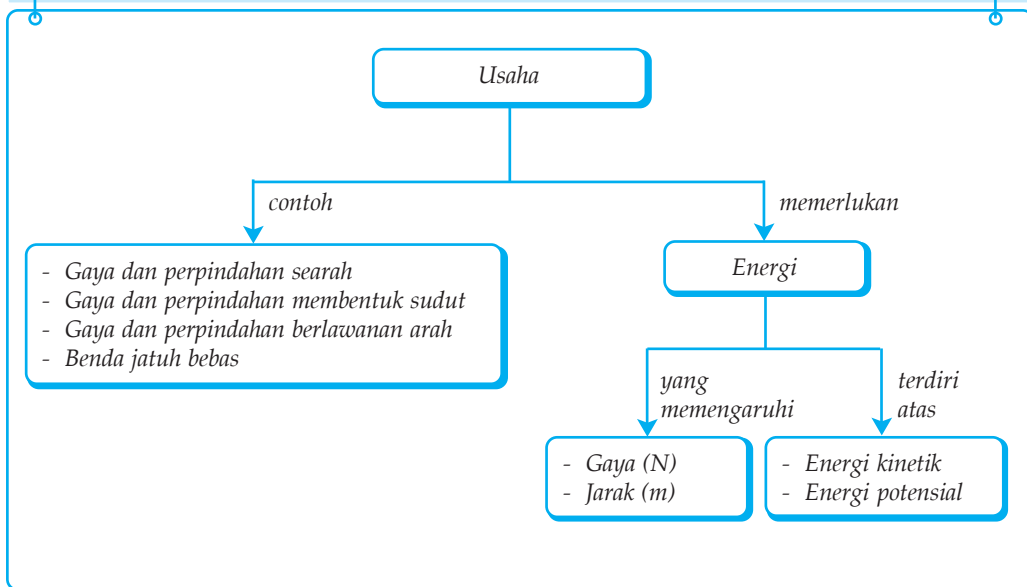
Sumber: Encarta Encyclopedia

Banyak dari kendaraan rekreasi dipekan raya atau taman hiburan yang menggunakan energi kinetik. Misalnya, kereta luncur (*roller coaster*). Kereta ini mula-mula dinaikkan ke atas lereng yang curam, dan kemudian dilepaskan. Kereta ini melaju direlnya tanpa ada mesin yang menjalankannya sepanjang lintasan. Hal ini bisa terjadi karena puncak lereng lebih tinggi dari bagian lintasan rel yang lain. Kereta luncur mendapat simpanan energi potensial yang banyak, yang kemudian berubah menjadi energi kinetik saat gaya gravitasi menarik kereta ini.

Kata Kunci

- | | | |
|----------|------------------------|----------------------------------|
| • Usaha | • Perubahan Energi | • Energi Kinetik |
| • Energi | • Energi Mekanik | • Energi Potensial |
| • Gerak | • Sumber-Sumber Energi | • Hukum Kekekalan Energi Mekanik |

Peta Konsep



Di SMP, Anda telah mempelajari bahwa energi di jagad raya terdapat dalam berbagai bentuk. Misalnya energi mekanik, energi kimia, energi elektromagnetik, energi nuklir, energi bunyi, energi panas, energi listrik, dan energi cahaya. Berasal dari manakah energi di jagad raya? Energi di jagad raya berasal dari matahari. Apabila matahari tidak ada, maka tidak akan ada energi di bumi. Energi mengalami perubahan dari bentuk satu menjadi energi bentuk lain. Misalnya, seseorang mendorong mobil, maka orang tersebut mengubah energi kimia menjadi energi kinetik. Pada kasus ini dapat dinyatakan bahwa proses perubahan energi merupakan usaha.

Konsep usaha dan konsep energi merupakan konsep menarik dalam fisika. Banyak soal fisika dapat diselesaikan lebih mudah dengan konsep ini dibandingkan dengan menggunakan hukum Newton. Pada bab ini Anda akan mempelajari konsep usaha dan energi serta aplikasinya dalam berbagai soal fisika. Selain itu, Anda juga akan mempelajari hubungan konsep energi-energi dengan hukum kekekalan energi mekanik. Pada pembahasan energi Anda akan mempelajari berbagai jenis energi seperti energi kinetik dan energi potensial.

A. Usaha

Di dalam kehidupan sehari-hari, mungkin Anda sering mendengar kata usaha. Pengertian usaha dalam kehidupan sehari-hari adalah mengarahkan kemampuan yang dimilikinya untuk mencapai tujuan atau kerja yang dilakukan orang atau mesin. Apapun hasil kerja itu, berhasil atau tidak,

asalkan orang atau mesin itu melakukan sesuatu, dikatakan orang atau mesin tersebut melakukan usaha. Pengertian usaha dalam fisika didefinisikan sebagai perkalian antara besar gaya yang menyebabkan benda berpindah dengan besar perpindahan benda yang searah dengan arah gaya tersebut. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$W = F \cdot s$$

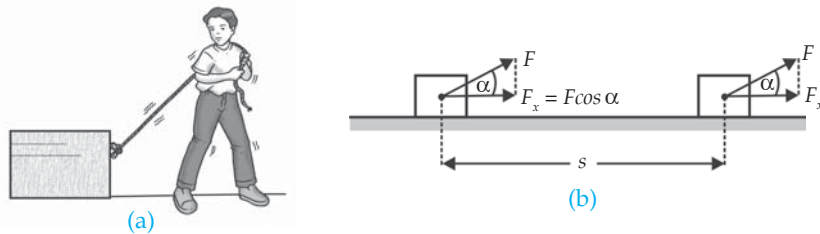
Keterangan:

W : usaha (J)

F : gaya yang beraksi pada benda (N)

s : jarak perpindahan (m)

1. Usaha yang Dilakukan Gaya Membentuk Sudut Sembarang



Gambar 4.1 Usaha yang dilakukan oleh gaya F menyebabkan perpindahan sejauh s .

Perhatikan Gambar 4.1! Toni menarik balok dengan suatu gaya konstan F dan menyebabkan balok berpindah sejauh s dan tidak searah dengan arah gaya F . Komponen gaya F yang segaris dengan perpindahan adalah $F_x = F \cos \alpha$, dengan α merupakan sudut apit antara arah gaya dan bidang horizontal. Berdasarkan definisi usaha tersebut diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W &= F_x \cdot s \\ &= F \cos \alpha \\ &= F \cdot s \cos \alpha \end{aligned}$$

Contoh 4.1

Sebuah benda mengalami dua gaya. Gaya pertama sebesar 30 N membentuk sudut 37° dengan sumbu X positif. Jika benda berpindah sejauh 3 m pada arah sumbu X positif. Hitunglah besarnya usaha yang dilakukan gaya tersebut!

Diketahui : a. $F = 30 \text{ N}$

b. $\alpha = 37^\circ$

c. $s = 3 \text{ m}$

Ditanyakan : $W = \dots?$

Jawab:

$$\begin{aligned} W &= F \cdot s \cos \alpha \\ &= 30 \cdot 3 \cdot 0,8 \\ &= 72 \text{ J} \end{aligned}$$

2. Usaha yang Bernilai Negatif

Usaha boleh bernilai negatif. Berdasarkan persamaan $W = F \cdot s \cos \alpha$, ketika α berada pada rentang $90^\circ < \alpha < 270^\circ$, usaha bernilai negatif. Hal ini disebabkan $\cos \alpha$ bernilai negatif. Misalnya, pada kasus benda yang dilempar ke atas. Selama benda bergerak ke atas benda berpindah setinggi h meter, pada benda bekerja gaya berat w yang arahnya ke bawah. Pada kasus ini arah gaya berat ke bawah berlawanan dengan arah perpindahan benda. Ketika benda dilemparkan, benda mendapat sejumlah energi untuk melawan gaya berat benda. Jadi, usaha yang dilakukan oleh gaya berat adalah negatif. Kasus lain yang bernilai negatif adalah usaha yang dilakukan oleh gaya gesekan.



Gambar 4.2 Gaya berat pada benda yang dilempar ke atas bernilai negatif.

3. Usaha yang Dilakukan Gaya Membentuk Sudut 90°

Berdasarkan persamaan $W = F \cdot s \cos \alpha$, jika $\alpha = 90^\circ$, maka perpindahan benda tegak lurus terhadap gaya yang beraksi pada benda. Karena nilai $\cos 90^\circ = 0$, maka diperoleh $W = 0$. Ketika $W = 0$, dikatakan gaya tersebut tidak melakukan usaha. Pada kasus ini dapat diartikan bahwa perpindahan benda bukan disebabkan oleh gaya tersebut.

Perhatikan Gambar 4.3! Misalkan, Rinto membawa sebuah buku sambil berjalan dengan kecepatan tetap. Untuk membawa buku yang beratnya $w = m \cdot g$, Rinto mengeluarkan gaya ke atas sebesar F yang sama dengan berat buku (w). Namun, karena gaya F arahnya tegak lurus dengan perpindahan, maka dikatakan Rinto tidak melakukan usaha. Bagaimana dengan gerak mendatar Rinto? Pada gerak mendatar, Rinto bergerak dengan kecepatan konstan (percepatan (a) = 0), sehingga besarnya gaya mendatar nol (ingat $F = m \cdot a = m \cdot 0 = 0$). Menurut definisi usaha, jika gaya nol, maka usahanya juga nol. Jadi, usaha total yang dilakukan Rinto sama dengan nol (Rinto tidak melakukan usaha).



Gambar 4.3 Tidak ada usaha jika arah gaya tegak lurus (90°).

4. Gaya Tidak Melakukan Usaha Jika Benda Tidak Berpindah

Telah Anda ketahui bahwa gaya dikatakan tidak melakukan usaha jika gaya yang bekerja pada suatu benda memiliki resultan nol. Bagaimana jika resultan gayanya tidak sama dengan nol tetapi benda tidak berpindah atau bergeser? Pada kasus-kasus tertentu, gaya yang beraksi pada benda tidak mengubah kedudukan benda. Misalnya ketika Anda mendorong tembok. Anda dikatakan tidak melakukan usaha karena tembok yang anda dorong tidak berpindah ($s = 0$; maka $W = 0$)



Gambar 4.4 Orang yang mendorong tembok tidak melakukan usaha karena tembok tidak bergerak.

Contoh yang lain adalah peristiwa atlet besi yang menahan barbel di atas kepala. Saat mengangkat barbel, atlet memberikan sejumlah gaya yang sebanding dengan berat barbel. Gaya ini mengubah posisi barbel dari lantai ke atas kepala atlet. Pada saat mengangkat barbel dari atas lantai ke atas kepalanya atlet dikatakan melakukan usaha. Namun, setelah barbel berada di atas kepala, atlet dikatakan tidak melakukan usaha, meskipun ia mengerahkan segenap tenaga untuk menahan barbel tersebut. Hal ini disebabkan barbel tidak mengalami perpindahan ($s = 0$; maka $W = 0$).

5. Usaha oleh Berbagai Gaya

Pada kehidupan nyata, jarang dijumpai adanya gaya tunggal yang bekerja pada benda. Misalnya, saat Anda berjalan. Gaya-gaya yang bekerja pada saat Anda berjalan adalah gaya berat, gaya normal, dan gaya gesekan. Bagaimanakah cara menentukan usaha yang dilakukan oleh berbagai gaya? Untuk dapat menentukan usahanya, Anda harus mengetahui besar gaya dan arahnya.

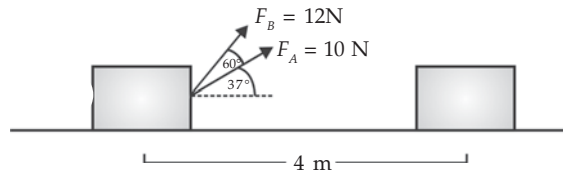
a. Masing-Masing Gaya Bekerja Serentak pada Perpindahan yang Sama

Usaha total yang dilakukan oleh beberapa gaya yang bekerja serentak dapat dihitung sebagai hasil kali resultan komponen gaya yang segaris dengan perpindahan dan besarnya perpindahan.

$$W = (F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} + \dots + F_{xn})s = \left(\sum_{n=1}^n F_{xn} \right) s$$

Contoh 4.2

Perhatikan gambar di samping! Dua orang siswa A dan B menarik peti yang terletak pada lantai dengan arah 37° dan 60° terhadap lantai. Tentukan usaha



yang dilakukan oleh siswa A dan B jika besarnya gaya kedua siswa tersebut 10 N dan 12 N dan peti berpindah ke kanan sejauh 4 m !

- Diketahui :
- a. $F_1 = 10\text{ N}$
 - b. $F_2 = 12\text{ N}$
 - c. $s = 4\text{ m}$
 - d. $\alpha_1 = 37^\circ$
 - e. $\alpha_2 = 60^\circ$

Ditanyakan: $W = \dots$?

Jawab:

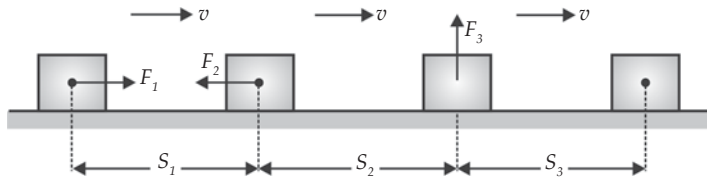
$$\begin{aligned} W &= (F_1 + F_2)s = (10 \cos 37^\circ + 12 \cos 60^\circ) 4 \\ &= (10 \cdot 0,8 + 12 \cdot 0,5) 4 \\ &= 8\text{ J} \end{aligned}$$

b. Masing-Masing Gaya Bekerja pada Perpindahan yang Berbeda

Mengingat bahwa usaha adalah besaran skalar, maka usaha yang dilakukan oleh beberapa gaya pada perpindahan yang berbeda dapat dihitung sebagai hasil penjumlahan aljabar dari usaha yang dilakukan oleh masing-masing gaya secara individual. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n = \sum_{n=1}^n W_n$$

Perhatikan usaha yang dilakukan oleh beberapa gaya seperti terlihat pada Gambar 4.5 berikut!



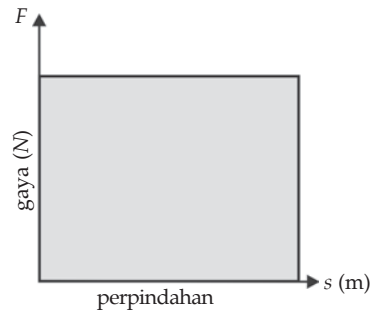
Gambar 4.5 Usaha yang dilakukan oleh beberapa gaya pada perpindahan yang berbeda.

Berdasarkan Gambar 4.5, diperoleh besarnya usaha yang dilakukan adalah:

$$\begin{aligned} W &= W_1 + W_2 + W_3 \\ &= F_1 s_1 \cos 0^\circ + F_2 s_2 \cos 180^\circ + F_3 s_3 \cos 90^\circ \\ &= F_1 s_1 + (-F_2 s_2) + 0 \\ &= F_1 s_1 - F_2 s_2 \end{aligned}$$

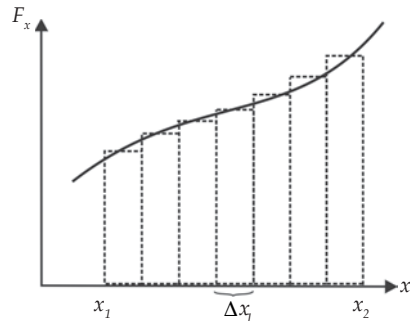
6. Menghitung Usaha dengan Grafik

Usaha yang dilakukan oleh sebuah gaya dapat dilukiskan secara grafis, yaitu dengan menarik garis komponen gaya sebagai fungsi perpindahannya. Perhatikanlah Gambar 4.6! Luas daerah diarsir di bawah grafik $F-s$ menyatakan usaha yang dilakukan oleh gaya sebesar F untuk perpindahan benda sejauh s . Sehingga untuk menghitung usaha yang dilakukan oleh suatu gaya, Anda cukup menghitung luas daerah di bawah grafik gaya terhadap perpindahan. Hal ini berlaku untuk segala jenis grafik gaya.



Gambar 4.6 Grafik F terhadap s .

Perhatikan Gambar 4.7! Usaha yang dilakukan sebuah benda dengan perpindahan Δx digambarkan oleh luas daerah di bawah kurva gaya sebagai fungsi posisi. Pada gambar terlihat bahwa telah dibagi selang dari x_1 ke x_2 menjadi kumpulan selang-selang yang mempunyai panjang Δx .



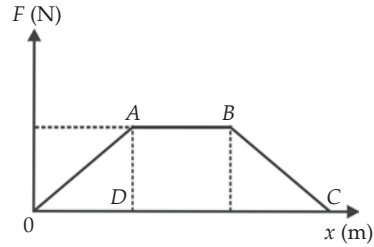
Gambar 4.7 Kurva gaya yang berubah-ubah sebagai fungsi posisi.

Untuk tiap selang Δx , usaha yang dilakukan adalah luas persegi di bawah kurva $F-x$. Jumlah seluruh luas persegi

panjang tiap selang Δx merupakan luas daerah di bawah kurva. Oleh karena itu, dapat didefinisikan usaha total yang dilakukan oleh gaya yang berubah-ubah dari x_1 ke x_2 adalah luas total di bawah kurva untuk selang x_1 ke x_2 . Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa usaha yang dilakukan oleh gaya F untuk perpindahan $\Delta x = x_2 - x_1$ sama dengan luas daerah di bawah kurva $F-x$ dengan batas x_1 dan x_2 .

Contoh 4.3

Perhatikan gambar disamping! Sebuah balok mengalami gaya F yang arahnya sejajar sumbu X . Gaya yang bekerja ini merupakan fungsi perpindahan. Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gaya tersebut ketika balok berpindah dari:



- $x = 0$ ke $x = 1$ meter dan
- $x = 0$ ke $x = 3$ meter!

Jawab:

Usaha dihitung dengan menghitung luas di bawah grafik gaya fungsi perpindahan.

- Usaha dari $x = 0$ ke $x = 1$ meter sama dengan luas segitiga OAD (perhatikan gambar).

$$W_a = \text{luas } OAD$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \times 1 \times 4 \\ &= 2 \text{ J} \end{aligned}$$

Jadi, usaha yang dilakukan benda dari $x = 0$ ke $x = 1$ m sebesar 2 J

- Usaha dari $x = 0$ ke $x = 3$ sama dengan luas trapesium $OABC$ (perhatikan gambar).

$$W_b = \text{luas } OABC$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(1 + 3) 4}{2} \\ &= 8 \text{ J} \end{aligned}$$

Jadi, usaha yang dilakukan benda dari $x = 0$ ke $x = 3$ m sebesar 8 J

7. Usaha yang Dilakukan Oleh Gaya Berat

Anggap sebuah benda bermassa m dilepaskan dari ketinggian h di atas permukaan bumi. Benda akan jatuh karena pengaruh gaya gravitasi. Besarnya usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi adalah:

$$W_{\text{grav}} = F_{\text{grav}} \times h = m \cdot g \cdot h$$

Usaha ini positif karena arah gaya dan perpindahan sama-sama ke bawah. Sekarang Anda lihat kasus di mana benda dinaikkan dari lantai perlahan-lahan hingga ketinggian h . Di sini arah perpindahan (ke atas)

berlawanan dengan arah gaya berat (ke bawah) sehingga usahanya negatif $W = - (m g h)$. Ketika benda berpindah secara horizontal gaya gravitasi tidak melakukan usaha karena arah perpindahan tegak lurus arah gaya (ingat pembahasan di depan).

Berdasarkan ketiga hal tersebut, dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Jika benda berpindah sejauh h vertikal ke atas, maka besarnya usaha gaya gravitasi adalah $W = - (m g h)$.
- Jika benda berpindah sejauh h vertikal ke bawah, maka besarnya usaha gaya gravitasi adalah $W = m g h$.
- Jika benda berpindah sejauh h mendatar, maka besarnya usaha gravitasi adalah $W = 0$.

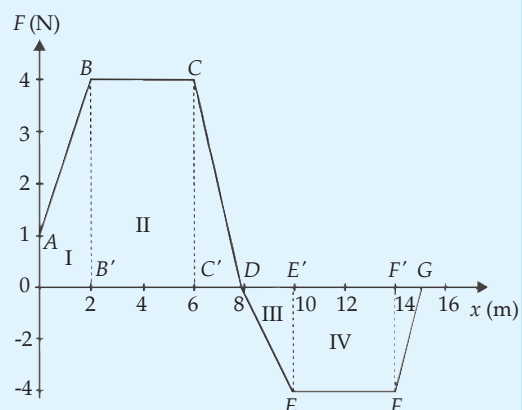
Soal Kompetensi 4.1

1. Seorang petugas PLN bermassa 65 kg sedang menaiki tangga untuk memperbaiki jaringan listrik pada sebuah tiang listrik. Jika tangga terdiri dari 30 anak tangga dan panjang setiap anak tangga adalah 30 cm, berapakah usaha yang telah dilakukan petugas tersebut?
2. Sebuah balok yang memiliki massa 5 kg mula-mula diam di kaki sebuah bidang datar yang memiliki kemiringan terhadap arah horizontal $\alpha = 45^\circ$. Koefisien gesek statis dan kinetik balok dengan bidang miring masing-masing $\mu_s = 0,5$ dan $\mu_k = 0,25$. Pada balok bekerja gaya F dengan arah ke atas sejajar bidang sebesar 60 N, sehingga balok bergeser ke atas sepanjang bidang datar dan sampai ke puncak bidang.

- a. Hitunglah usaha pada masing-masing gaya!
- b. Hitunglah usaha total gaya-gaya tersebut pada balok!

3. Perhatikan gambar grafik di samping!

Sebuah balok bermassa 3 kg bergerak sepanjang garis lurus pada permukaan mendatar akibat pengaruh gaya F yang berubah-ubah terhadap posisi. Berapakah usaha yang dilakukan gaya F untuk memindahkan balok dari titik asal ($x = 0$) ke posisi $x = 15$ m?



4. Buktikan bahwa usaha gaya gravitasi hanya tergantung pada ketinggian saja tidak tergantung pada bentuk lintasannya!

James Prescott Joule (1818 – 1889)



Sumber: Jendela Iptek, Energi

James Prescott Joule adalah ahli fisika, penemu hukum Joule, dan efek Joule-Thomson. Joule, lahir di Salford, Lancashire, Inggris, pada tanggal 24 Desember 1818. Ayahnya seorang pengusaha bir yang kaya. Joule tidak pernah duduk di bangku sekolah sampai umur 17 tahun karena sakit-sakitan. Guru didatangkan ke rumahnya, bahkan ayahnya menyediakan sebuah laboratorium. Pelajaran yang cukup sulit baginya adalah matematika.

Setelah umur 17 tahun, ia baru tahu rasanya duduk di bangku sekolah. Ia diterima di Universitas Manchester di bawah bimbingan John Dalton. Joule tidak hanya rajin belajar tapi juga rajin mengadakan eksperimen dan menulis. Pada tahun 1840 dalam makalahnya yang berjudul *On the Production of Heat by Voltaic Electricity*, ia mengemukakan rumusan yang dikenal sebagai Hukum Joule, yang bunyinya “Panas yang dihasilkan berbanding lurus dengan hambatan konduktor dikalikan dengan kuadrat kuat arus listriknya.”

Karena Joule hanya anak pabrikan bir yang belajar sendiri dan lemah dalam matematika, masyarakat ilmiah menolak makalah-makalahnya. Untuk menarik perhatian kepada ide-idenya, Joule memberikan ceramah publik dan meyakinkan sebuah surat kabar di Manchester untuk menerbitkan naskah ceramahnya. Hal ini menarik perhatian William Thomson. Joule dan Thomson kemudian bekerja sama dan menemukan Efek Joule-Thomson, yang menyatakan bahwa bila gas dibiarkan berkembang tanpa melakukan kerja keluar, maka suhu gas itu akan turun. Prinsip ini kemudian digunakan secara luas dalam industri lemari es dan AC (*Air Conditioner*).

Karya Joule-lah yang memantapkan hukum pertama termodinamika yang biasa disebut Hukum Kekekalan Energi, energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya dialihkan atau diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Nama Joule kemudian dipakai sebagai nama satuan usaha dan energi.

Joule tetap menjadi ilmuwan amatir seumur hidupnya. Ia meninggal di Sale, Cheshire, pada tanggal 11 Oktober 1889 pada umur 71 tahun. Pada akhir hidupnya ia menyesal dan kecewa karena banyak penemuan ilmiah dipakai untuk kepentingan perang.

(Dikutip seperlunya dari 100 Ilmuwan, John Hudson Tiner, 2005)

B. Energi

Di SMP, Anda telah mempelajari bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan usaha. Pada bagian pengantarjuga telah disinggung beberapa bentuk energi. Anda tentu juga tahu tentang hukum kekekalan energi. Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan melainkan hanya dapat diubah bentuknya. Proses perubahan bentuk energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya disebut *konversi energi*. Alat untuk mengubah energi disebut *konventor energi*.

Perubahan energi terjadi ketika usaha sedang dilakukan. Misalnya, ketika Anda melakukan usaha dengan mendorong mobil hingga mobil tersebut bergerak maju. Pada proses usaha sedang berlangsung, sebagian energi kimia yang tersimpan dalam tubuh Anda diubah menjadi energi mekanik. Di sini Anda berfungsi sebagai pengubah energi (konverter energi).



Sumber: Encarta Encyclopedia

Gambar 4.8 Air merupakan salah sumber energi yang dapat membangkitkan listrik. Listrik merupakan salah energi yang banyak digunakan manusia.

Anda telah mengenal berbagai sumber energi, antara lain, energi matahari, energi panas bumi, energi angin, energi air, dan energi nuklir. Sumber utama semua energi adalah energi matahari. Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang sering digunakan. Dari jaringan listrik PLN di rumah, Anda dapat melakukan berbagai kegiatan, antara lain, menyalakan lampu, komputer, menyetrika baju, mendengarkan radio, melihat siaran televisi. Hal ini menunjukkan bahwa energi listrik dapat diubah menjadi bentuk energi lain yang Anda butuhkan.

Energi listrik diperoleh dari berbagai sumber. Misalnya dari air terjun atau bendungan (PLTA), diesel (PLTD), panas bumi (PLTG), batubara (PLTU), dan nuklir (PLTN). Sumber energi fosil (minyak bumi, gas alam, batubara) merupakan jenis sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Oleh karena itu, Anda harus menghemat energi supaya sumber energi yang dimiliki tidak cepat habis.

Kolom Diskusi 4.1

Untuk mengatasi agar tidak kehabisan sumber energi diupayakan dengan tiga cara yaitu konveksi, intensifikasi, dan Diversifikasi. Diskusikan dengan teman-teman Anda, apa yang dimaksud dengan ketiga hal tersebut. Diskusikan juga langkah-langkah yang sudah dilakukan pemerintah dan masyarakat yang menunjukkan upaya mengatasi agar tidak kehabisan energi. Buatlah kesimpulan dari diskusi tersebut dan kumpulkan di meja guru!

1. Energi Potensial

Energi potensial diartikan sebagai energi yang dimiliki benda karena keadaan atau kedudukan (posisinya). Misalnya, energi pegas (per), energi ketapel, energi busur, dan energi air terjun. Energi potensial juga dapat diartikan sebagai energi yang tersimpan dalam suatu benda. Misalnya energi kimia dan energi listrik. Contoh energi kimia adalah energi minyak bumi dan energi nuklir.

a. Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki benda karena kedudukan ketinggian dari benda lain. Secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$E_p = m g h$$

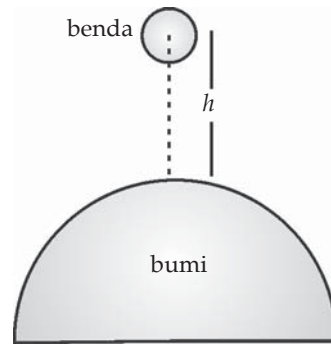
Keterangan:

E_p : energi potensial gravitasi (N)

m : massa benda (kg)

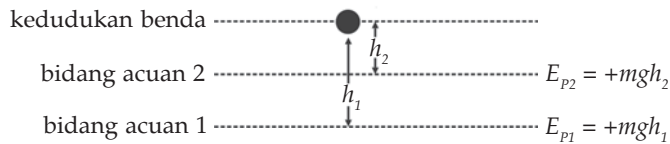
g : percepatan gravitasi (m/s^2)

h : ketinggian terhadap acuan (m)



Gambar 4.9 Benda memiliki energi potensial karena kedudukannya.

Energi potensial gravitasi tersebut adalah energi potensial benda terhadap bidang acuan yang terletak pada jarak h di bawah benda. Energi potensial gravitasi terhadap bidang acuan lain tentu saja berbeda besarnya. Misalnya, terhadap bidang acuan yang jaraknya h_1 , di bawah kedudukan benda, maka energi potensial gravitasinya adalah $m g h_1$. Bidang acuan tidak harus berada di bawah kedudukan benda. Dapat saja dipilih bidang acuan yang letaknya di atas kedudukan benda. Dalam hal demikian energi potensial gravitasi memiliki nilai negatif. Namun, biasanya bidang acuan dipilih di bawah kedudukan benda.



Gambar 4.10 Energi potensial gravitasi benda untuk berbagai bidang acuan.



Kegiatan 4.1

Energi Potensial

A. Tujuan

Anda dapat menentukan faktor-faktor yang memengaruhi energi potensial gravitasi.

B. Alat dan Bahan

1. Sebuah bejana atau loyang
2. Plastisin atau tanah liat basah
3. Tiga butir kelereng (2 memiliki ukuran dan massa sama, yang satu memiliki massa 2 kali massa kelereng yang lain)

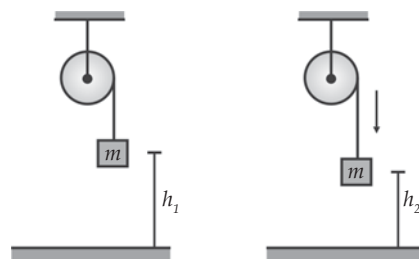
C. Langkah Kerja

1. Jatuhkan dua buah kelereng yang sama ukuran dan massanya ke dalam bejana yang telah diisi plastisin!
2. Ukurlah kedalaman bekas lekukan yang dihasilkan oleh tumbukan kedua kelereng pada permukaan plastisin!
3. Jatuhkan kedua kelereng tadi, namun dari ketinggian yang berbeda (ketinggian kelereng yang satu = 2 kali ketinggian kelereng lainnya)!
4. Ukurlah kedalaman bekas lekukan yang dihasilkan oleh tumbukan kedua benda pada permukaan plastisin!
5. Ulangi langkah kerja 1 sampai 4 namun menggunakan dua buah kelereng yang berbeda massanya (satu kecil satu besar)!
6. Buatlah kesimpulan berdasarkan kegiatan ini!

b. Hubungan Antara Usaha dengan Energi Potensial Gravitasi

Misalnya sebuah balok bermassa m diikat pada seutas tali dan tali digulung pada suatu katrol licin. Anggap katrol dan tali tak bermassa. Balok mula-mula berada pada ketinggian h_1 , beberapa saat kemudia balok berada pada ketinggian h_2 . Perhatikan Gambar 4.11

Turunnya balok disebabkan adanya tarikan gaya gravitasi. Besarnya usaha gaya gravitasi sama dengan gaya



Gambar 4.11 Hubungan usaha dan energi potensial.

gravitasi (mg) dikalikan dengan perpindahan ($h_1 - h_2$). Secara matematis ditulis sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W &= mg(h_1 - h_2) \\ &= mgh_1 - mgh_2 \\ &= E_{p1} - E_{p2} \\ &= (E_{p1} - E_{p2}) \end{aligned}$$

$$W = -\Delta E_p$$

Dengan ΔE_p merupakan negatif perubahan energi potensial gravitasi. Besarnya energi potensial gravitasi sama dengan energi potensial akhir dikurangi energi potensial mula-mula ($\Delta E_p = E_{p \text{ akhir}} - E_{p \text{ awal}}$). Persamaan ini menyatakan bahwa usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi sama dengan minus perubahan energi potensial gravitasi.

Contoh 4.4

Hitunglah usaha yang diperlukan untuk melontarkan batu yang memiliki massa 2 kg dari permukaan bumi sampai ketinggian 10 m, jika gravitasi bumi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ dan jari-jari bumi $6,375 \text{ km}$!

Diketahui : a. $m = 2 \text{ kg}$
 b. $h = 10 \text{ m}$
 c. $R = 6,375 \text{ km} = 6,375 \times 10^3 \text{ m}$
 d. $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Ditanyakan : $W = \dots ?$

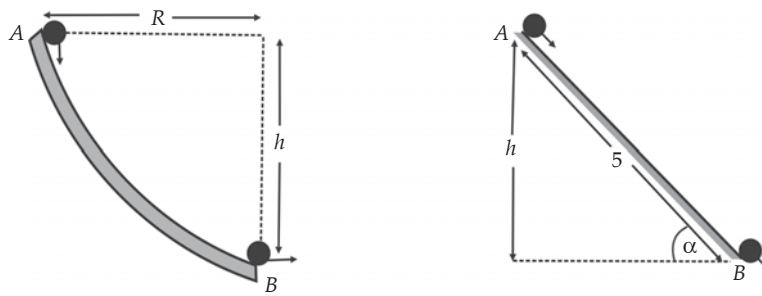
Jawab:

Cara I:

$$\begin{aligned} W &= \Delta E_p = E_{p \text{ akhir}} - E_{p \text{ awal}} = \left(-\frac{GMm}{R+h} - \left(-\frac{GMm}{R} \right) \right) \\ &= \left(m \frac{GM}{R^2} \frac{R^2}{R+h} - m \frac{GM}{R^2} R \right) = - \left(m \frac{GM}{R^2} mgR \right) = mg \left(\frac{R^2}{R+h} - R \right) \\ &= -mg \left(\frac{R^2}{R+h} - \frac{R(R+h)}{R+h} \right) = -mg \left(\frac{R^2 + R^2 + Rh}{R+h} \right) = mg \left(\frac{Rh}{R+h} \right) \\ &= 2 \times 9,8 \left(\frac{6,375 \times 10^3 \cdot 10}{6,375 \times 10^3 + 10} \right) = 196 \text{ J} \end{aligned}$$

Cara II

$$\begin{aligned} W &= \Delta E_p = E_{p \text{ akhir}} - E_{p \text{ awal}} \\ &= mgh - 0 \\ &= 2 \times 9,8 \cdot 10 \\ &= 196 \text{ J} \end{aligned}$$



Gambar 4.12 Energi potensial gravitasi pada (a) bidang melingkar dan (b) bidang miring.

Perhatikan Gambar 4.12! Energi potensial gravitasi pada umumnya terjadi pada benda jatuh bebas atau memiliki lintasan yang lurus. Untuk bidang melingkar dan bidang miring, persamaan energi potensial gravitasinya adalah sebagai berikut.

Untuk bidang melingkar:

$$E_{pA} = m g h = m g R \text{ dan } E_{pB} = 0$$

Untuk bidang miring:

$$E_{pA} = m g h = m g s \sin \alpha \text{ dan } E_{pB} = 0$$

2. Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh benda karena geraknya. Di SMP, Anda sudah mempelajari energi kinetik secara kuantitatif. Sekarang Anda akan mempelajari energi kinetik secara kualitatif, yaitu menurunkan rumus energi kinetik. Secara umum energi kinetik suatu benda yang memiliki massa m dan bergerak dengan kecepatan v dirumuskan oleh persamaan berikut.

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

Pada persamaan diatas tampak bahwa energi kinetik sebanding dengan massa m dan kuadrat kecepatan (v^2).

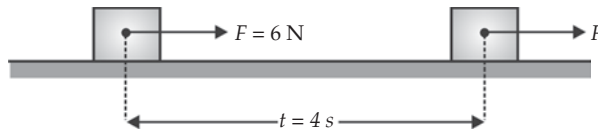
Contoh 4.5

Sebuah gaya sebesar 6 N bekerja pada sebuah balok bermassa 2 kg secara horizontal selama 4 s. Hitunglah energi kinetik akhir yang dimiliki balok tersebut!

Diketahui : a. $F = 6 \text{ N}$
 b. $m = 2 \text{ kg}$
 c. $t = 4 \text{ s}$

Ditanyakan : $E_k = \dots?$

Jawab:



Berdasarkan hukum II Newton Anda peroleh percepatan yang dialami balok sebesar $a = \frac{F}{m} = \frac{6}{2} = 3 \text{ m/s}^2$ dan rumus gerak lurus

berubah beraturan untuk kecepatan awal $v_0 = 0$ adalah:

$$v = a t = 3 \times 4 = 12 \text{ m/s}$$

Energi kinetik akhir yang dimiliki balok adalah

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} (2) (12)^2 = 144 \text{ J}$$



Kegiatan 4.2

Energi Kinetik

A. Tujuan

Anda dapat menentukan faktor-faktor yang memengaruhi energi kinetik

B. Alat dan Bahan

1. Dua buah papan rata yang permukaannya halus
2. Sebuah buku tebal
3. Dua buah bola dengan massa berbeda
4. Dua buah kotak karton (rusuk kira-kira 5 cm) dengan satu ujungnya terbuka
5. Sebuah mistar plastik tebal

C. Langkah Kerja

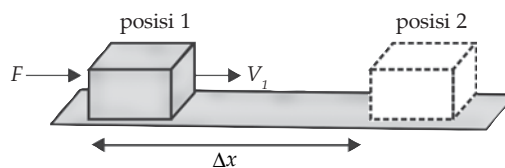
1. Letakkan kedua papan sejajar satu sama lain di lantai, dengan jarak pisah kira-kira 15 cm!
2. Naikkan salah satu dari tiap papan dengan mengganjalnya dengan sebuah buku tebal, sehingga setiap papan menjadi bidang miring!
3. Letakkan tiap kotak di dasar bidang miring sedemikian hingga ujung terbuka kotak dapat menangkap bola baja yang meninggalkan bidang miring!
4. Buatlah tabel seperti di bawah ini!

Tabel Hasil Pengamatan

Keterangan	Jarak Tempuh Kotak Ketika Ditabrak	
	Bola Ringan	Bola Berat
Percobaan 1		
Percobaan 2		
Percobaan 3		
Total		
Jarak rata-rata		

5. Letakkan sebuah mistar yang merintangi kedua bidang miring di dekat puncak bidang miring, kemudian letakkan sebuah bola pada tiap bidang miring tepat di belakang mistar!
6. Angkatlah mistar secara cepat untuk membebaskan kedua bola pada saat bersamaan!
7. Ukur dan catatlah jarak yang ditempuh oleh kotak setelah ditabrak bola pada tabel yang telah Anda siapkan!
8. Kembalikan kotak pada posisi awalnya didasar bidang miring dan ulangi langkah ke 5, 6, 7 paling sedikit tiga kali!
9. Hitunglah jarak rata-rata yang ditempuh oleh kotak!
10. Buatlah kesimpulan berdasarkan kegiatan ini!

Hubungan energi kinetik dengan usaha dijelaskan sebagai berikut. Sebuah benda pada posisi 1 bergerak dengan kelajuan v_1 . Kemudian benda dikenai gaya luar F , sehingga benda bergerak dipercepat beraturan. Dalam selang waktu t benda berpindah sejauh Δx dari posisi 1 ke posisi 2. Pada posisi 2 benda bergerak dengan kelajuan v_2 . Perhatikan Gambar 4.13!



Gambar 4.13 Hubungan usaha dan energi kinetik

Pada posisi 1, benda bergerak dengan kelajuan v_1 , kemudian pada benda bekerja gaya F , sehingga benda berpindah sejauh Δx . Usaha yang dilakukan oleh gaya F pada benda adalah $W = F \Delta x$. Usaha dan energi adalah besaran skalar yang setara, maka Anda dapat pastikan bahwa penambahan energi kinetik berasal dari usaha $W = F \Delta x$. Secara matematis Anda akan dapat persamaan seperti berikut.

$$\Delta E_k = W = F \Delta x$$

$$E_{k2} - E_{k1} = m a \Delta x \dots\dots\dots(1)$$

Anda sudah mempelajari kinematika gerak lurus. Persamaan gerak untuk gerak lurus berubah beraturan di antaranya adalah $v_2^2 = v_1^2 + 2 a \cdot \Delta x$. Kita tulis kembali persamaan tersebut.

$$v_2^2 = v_1^2 + 2 a \cdot \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} \dots\dots\dots (2)$$

Substitusi persamaan (1) ke persamaan (2)

$$E_{k2} - E_{k1} = \frac{m a}{2 a} (v_2^2 - v_1^2)$$

$$W = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

Persamaan ini dikenal sebagai teorema usaha-energi kinetik. Teorema ini menyatakan bahwa usaha yang dilakukan oleh resultan gaya suatu benda sama dengan perubahan energi kinetik yang dialami benda.

Contoh 4.6

Seorang anak meluncur tanpa gesekan dengan alat skinya dari atas sebuah bukit yang kemiringannya 37° . Jika ia meluncur dari ketinggian 10 m. Tentukan kecepatannya ketika tiba di dasar bukit! ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

Diketahui : a. $h = 10 \text{ m}$
b. $g = 9,8 \text{ m/s}^2$

Ditanyakan : $v = \dots?$

Jawab:

Hukum kekekalan energi

$$E_{k \text{ awal}} + E_{p \text{ awal}} = E_{k \text{ akhir}} + E_{p \text{ akhir}}$$

$$0 + m g h = \frac{1}{2} m v^2 + 0$$

$$m g h = \frac{1}{2} m v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{2 \times 98 \times 10}$$

$$= 14 \text{ m/s}$$

Soal Kompetensi 4.2

1. Anak kuda dengan induknya mempunyai kelajuan yang sama kalau berlari kencang. Namun, induk kuda mempunyai energi kinetik yang lebih besar dari anak kuda. Jelaskan, maksudnya!
2. Seekor kera berayun dari suatu tempat ke tempat lain yang tingginya 1,5 m lebih tinggi dari tempat semula. Jika massa kera 8 kg hitung berapa perubahan energi potensial kera tersebut?
3. Mobil A dan B yang identik masing-masing bergerak dengan kecepatan 80 km/jam dan 50 km/jam. Tiba-tiba kedua mobil tersebut direm secara bersamaan hingga berhenti. Hitung perbandingan jarak yang ditempuh kedua mobil tersebut hingga berhenti!
4. Seorang pemain ski dengan massa m meluncur menuruni bukit licin yang mempunyai sudut kemiringan tetap. Pemain ski diam pada ketinggian h . Carilah usaha yang dilakukan oleh pemain ski dan carilah kelajuan pemain ski di kaki bukit!

3. Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Energi mekanik didefinisikan sebagai penjumlahan antara energi kinetik dan energi potensial. Untuk lebih memahami energi kinetik perhatikan sebuah bola yang dilempar ke atas. Kecepatan bola yang dilempar ke atas makin lama makin berkurang. Makin tinggi kedudukan bola (energi potensial gravitasi makin besar), makin kecil kecepatannya (energi kinetik bola makin kecil). Saat mencapai keadaan tertinggi, bola akan diam. Hal ini berarti energi potensial gravitasinya maksimum, namun energi kinetiknya minimum ($v = 0$).

Pada waktu bola mulai jatuh, kecepatannya mulai bertambah (energi kinetiknya bertambah) dan tingginya berkurang (energi potensial gravitasi berkurang). Berdasarkan kejadian di atas, seolah terjadi semacam pertukaran energi antara energi kinetik dan energi potensial gravitasi. Apakah hukum kekekalan energi mekanik berlaku dalam hal ini?

Misalkan terdapat suatu benda yang dijatuhkan dari ketinggian h_A di atas tanah. Pada ketinggian tersebut benda memiliki $E_{PA} = m g h_A$ terhadap tanah dan $E_{KA} = 0$. Kemudian dalam selang waktu t benda jatuh sejauh h_B (jarak benda dari tanah $h_A - h_B$). Persamaan energi mekaniknya menjadi seperti berikut.

$$\begin{aligned}E_{MA} &= E_{MB} \\E_{PA} + E_{KA} &= E_{PB} + E_{KB} \\m g h_A + 0 &= m g (h_A - h_B) + \frac{1}{2} m v^2 \\m g h_A &= (m g h_A - m g h_B) + \frac{1}{2} m v^2\end{aligned}$$

Berdasarkan rumus jatuh bebas, benda yang jatuh sejauh h_B memiliki kecepatan sebesar $v_A = \sqrt{2gh_B}$.

$$m g h_A = (m g h_A - m g h_B) + \frac{1}{2} m (\sqrt{2gh_B})^2$$

$$m g h_A = m g h_A - m g h_B + \frac{1}{2} m 2 g h_B$$

$$m g h_A = m g h_A - m g h_B + m g h_B$$

$$m g h_A = m g h_A$$

Persamaan di atas membuktikan bahwa energi mekanik yang dimiliki oleh suatu benda adalah kekal (tetap). Pernyataan ini disebut hukum kekekalan energi mekanik. Hukum kekekalan energi mekanik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} E_{MA} &= E_{MB} \\ E_{PA} + E_{KA} &= E_{PB} + E_{KB} \\ m g h_A + \frac{1}{2} m v_A^2 &= m g h_B + \frac{1}{2} m v_B^2 \end{aligned}$$

Perlu digaris bawahi bahwa hukum kekekalan energi mekanik berlaku hanya jika tidak ada energi yang hilang akibat adanya gaya konservatif. Misalnya akibat gesekan udara maupun gesekan antara dua bidang yang bersentuhan. *Gaya konservatif* adalah gaya yang tidak bergantung pada lintasan, tetapi hanya ditentukan oleh keadaan awal dan akhir.

Contoh 4.7

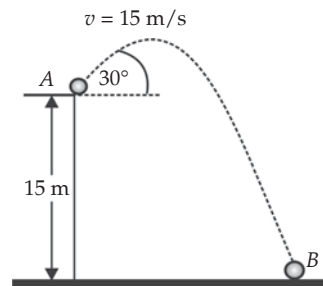
Perhatikan gambar disamping! Sebuah benda dilemparkan dari sebuah gedung yang tingginya 15 m. Kecepatan awal bola ketika dilempar 15 m/s dengan arah 30° di atas garis horizontal. Berapakah kelajuan bola sesaat sebelum menumbuk tanah ($g = 10 \text{ m/s}^2$)!

- Diketahui :
- a. $h_A = 15 \text{ m}$
 - b. $v_A = 15 \text{ m/s}$
 - c. $\alpha = 30^\circ$
 - d. $g = 10 \text{ m/s}^2$
 - e. $h_B = 0 \text{ m}$

Ditanyakan : $v_A = \dots?$

Jawab:

Untuk mencari besaran yang dinyatakan yaitu kelajuan saat akan menumbuk tanah v_A lebih cepat Anda gunakan rumus hukum kekekalan energi mekanik dibanding rumus gerak peluru.



$$m g h_A + \frac{1}{2} m v_A^2 = m g h_B + \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$m g h_A + \frac{1}{2} m v_A^2 = \frac{1}{2} m v_B^2$$

$$g h_A + \frac{1}{2} v_A^2 = \frac{1}{2} v_B^2 \Rightarrow v_B = \sqrt{\frac{g h_A + \frac{1}{2} (v_A)^2}{\frac{1}{2}}}$$

$$= \sqrt{\frac{10 \cdot 15 + \frac{1}{2} (15)^2}{\frac{1}{2}}}$$

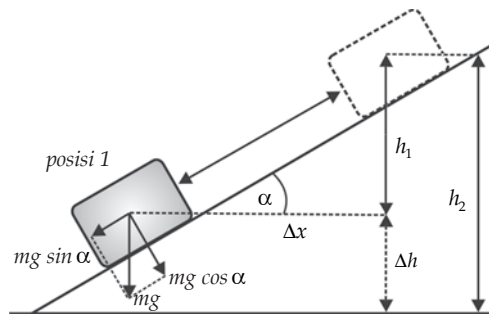
$$= \sqrt{131,25}$$

$$= 11,456 \text{ m/s}$$

a. Gaya Konservatif

Usaha yang dilakukan oleh gaya konservatif untuk berpindah antara dua posisi tertentu hanya bergantung pada kedua posisi tersebut, dan tidak bergantung pada jalan yang ditempuh. Contoh gaya konservatif adalah gaya gravitasi dan gaya pegas.

Sekarang Anda akan membahas gaya gravitasi sebagai gaya konservatif. Perhatikan Gambar 4.14! Berapakah usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi konstan untuk benda yang berpindah dari posisi 1 ke posisi 2 pada gambar tersebut? Sesuai definisi usaha, usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi konstan $W = m g$. Untuk benda yang berpindah dari posisi 1 ke posisi 2, maka usaha sebesar selisih dari energi potensial gravitasinya.



Gambar 4.14 Usaha yang dilakukan benda untuk pindah posisi ditentukan dari posisi awal dan akhirnya.

$$W_{1-2} = W_{\text{berat}} \times \Delta x = \Delta E_p$$

$$= W \sin \alpha (-\Delta x)$$

$$= m g (-\Delta x \times \sin \alpha)$$

Karena Δx , maka:

$$W_{1-2} = -m g \Delta h = -m g (h_2 - h_1)$$

Pada persamaan di atas tampak bahwa usaha yang dilakukan oleh gaya gravitasi konstan dan tidak bergantung pada jalan yang ditempuh. Gaya ini hanya bergantung pada ketinggian vertikal kedua posisi tersebut dari bidang acuan yang dipilih (tergantung dari posisi akhir dan posisi awal benda).

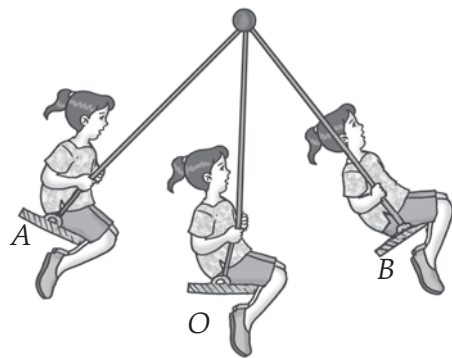
b. Aplikasi Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Salah satu aplikasi hukum kekekalan energi mekanik dalam kehidupan sehari-hari adalah pada permainan bilyar. Misalnya, bola bilyar *A* menumbuk bola bilyar *B* yang sedang diam. Pada peristiwa tumbukan bola bilyar dianggap tidak ada energi yang hilang jadi panas dan tidak ada gaya gesekan sehingga hukum kekekalan energi mekanik berlaku. Karena energi potensial semua bola sama sebelum dan sesudah tumbukan, maka energi kinetik kedua bola bilyar sebelum dan sesudah tumbukan sama besar. Jadi, ketika bola *A* kehilangan sejumlah energi kinetik, maka bola *B* akan menerima tambahan energi kinetik sebesar energi kinetik yang hilang dari bola *A*.

Contoh lain aplikasi hukum kekekalan energi mekanik adalah pada permainan ayunan, perhatikan Gambar 4.15! Mula-mula usaha luar diberikan kepada sistem untuk membawa ayunan dari titik terendah *O* ke titik tertinggi *A* dan *B*. Di titik *A* dan *B*, sistem memiliki energi potensial maksimum dan energi kinetiknya nol. Ketika sistem mulai berayun, energi potensial mulai berkurang karena sebagian energi potensial diubah menjadi energi kinetik (sesuai dengan hukum kekekalan energi mekanik).

Pada waktu ayunan mencapai titik *O* energi potensial bandul nol karena semua energi potensialnya telah berubah menjadi energi kinetik. Selanjutnya pada perjalanan dari *O* ke *B* energi kinetik makin kecil karena sebagian energi kinetik diubah menjadi energi potensial. Ketika bandul tiba di *B* seluruh energi kinetik bandul telah diubah menjadi energi potensial (di titik ini energi potensial maksimum).

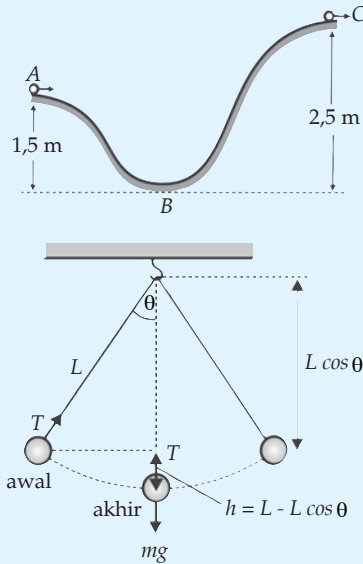
Jika selama ayunan berlangsung ada hambatan udara maka hukum kekekalan energi mekanik tidak berlaku lagi. Ayunan makin lama makin melemah dan bandul tidak akan mencapai titik *A*. Suatu saat akhirnya bandul akan berhenti. Ketika Anda ukur suhu bandul yang sudah berhenti ini dengan alat yang memiliki ketelitian tinggi, maka akan terbaca suhu bandul naik. Hal ini menunjukkan bahwa hambatan udara menyebabkan sebagian energi mekanik sistem berubah menjadi energi panas. Contoh lain peristiwa sehari-hari yang sesuai hukum frekuensi energi mekanik adalah lompat galah dan buah jatuh bebas dari pohonnya.



Gambar 4.15 Contoh aplikasi hukum kekekalan energi mekanik.

Soal Kompetensi 4.1

1. Apakah keuntungan dan kerugian dalam memecahkan soal-soal mekanika dengan menggunakan metode hukum kekekalan energi dibandingkan dengan menggunakan hukum Newton?
2. Perhatikan gambar di samping!
Sebuah benda bermassa 0,25 kg bergerak dengan kecepatan 5 m/s di titik A. hitunglah kecepatan benda di titik C, jika g sebesar 10 m/s²!
3. Perhatikan gambar disamping!
Sebuah bandul terdiri atas beban bermassa m yang diikat pada sebuah tali yang panjangnya L . Bandul ini ditarik ke samping sehingga tali membentuk sudut α dan dilepas dari keadaan diam. Carilah kelajuan v didasar ayunan dan tegangan tali pada saat itu!



Rangkuman

1. Usaha adalah perkalian antara besaran gaya dengan perpindahan benda.
2. Persamaan usaha yang dilakukan gaya membentuk sudut sembarang adalah $W = F \cdot s \cos \alpha$
3. Persamaan usaha oleh berbagai gaya secara serentak adalah
$$W = \left(\sum_{n=1}^n F_{xn} \right) s.$$
4. Energi potensial dirumuskan $E_p = m g h$
5. Persamaan yang menunjukkan hubungan antara usaha dengan energi potensial gravitasi adalah $W = \Delta E_p.$
6. Persamaan energi kinetik adalah $E_k = \frac{1}{2} m v^2.$

7. Persamaan yang menunjukkan hubungan energi kinetik dengan usaha adalah $\Delta E_k = W$
8. Persamaan hukum kekekalan energi adalah $E_{MA} = E_{MB}$.
9. Gaya konservatif adalah gaya yang tidak bergantung pada lintasan, tapi ditentukan oleh keadaan awal dan akhir.

Kolom Ilmuwan

Buatlah sebuah kincir air mini untuk menggerakkan dinamo sepeda. Anda dapat menggunakan air di ember yang ditempatkan di tempat yang tinggi sebagai air terjun buatan. Dengan mengubah-ubah ketinggian letak air dan debit air yang mengalir, amati tegangan yang dihasilkan. Karya Anda ini merupakan miniatur dari PLTA. PLTA merupakan salah satu sistem yang memanfaatkan hukum kekekalan energi mekanik. Buatlah kesimpulan dari kegiatan ini. Tulis kelebihan dan kekurangan kincir air buatan Anda!

Info Kita

Tangga Berjalan (Eskalator)



Anda tentu pernah melihat tangga yang biasanya terdapat di pusat-pusat perbelanjaan. Berbeda dengan lift yang hanya dapat mengangkut beberapa orang sekali jalan, tangga berjalan (eskalator) dapat mengangkut 10 orang lebih banyak daripada lift. Sekitar 100 tahun yang lalu, orang-orang di Amerika Serikat menggunakan eskalator pertama di dunia. Alat ini ditemukan oleh Jesse W. Reno, pada tahun 1894.

Bagaimana cara kerja eskalator tersebut? Di dalam motor listrik terdapat kekuatan untuk menggerakkan eskalator. Motor menyebabkan rantai terus berputar. Rantai tersebut tidak pernah berhenti, sehingga disebut *rantai yang tidak terputus*. Eskalator terbuat dari lempeng kayu kecil atau logam yang terus berputar pada rantai yang tidak terputus. Tiap lempeng memiliki roda kecil yang makin banyak di sepanjang rel yang ada di bawahnya. Saat eskalator naik, roda-rodanya akan meluncur di sepanjang rel untuk mendorong setiap lempeng ke pijakan. Rel akan memindahkan pijakan naik satu per satu, seperti tangga. Bagian paling atas tangga akan melebar dan pijakan menjadi rata. Tangga akan ke bawah menggunakan rantai. Pijakan masih tetap rata saat muncul dari bagian bawah eskalator. Rel pegangan yang Anda pegang juga selalu berputar, karena motor yang menjalankan rantai juga menjalankan rel pegangan. Rel pegangan bergerak dengan kecepatan yang sama dengan pijakan yang digerakkan oleh sistem katrol.

Eskalator membawa orang dari lantai bawah ke lantai atas atau dari lantai atas ke lantai bawah. Pijakan yang bergerak sepanjang rantai dan tidak pernah berhenti, digerakkan oleh motor listrik. Roda katrol yang ada di bagian paling atas mempermudah eskalator untuk membawa orang naik atau turun.

(Dikutip seperlunya dari Cara Bekerjanya Gerakan, Mandira Jaya Abadi, 1996)

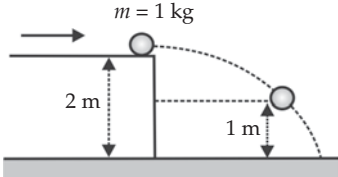
P e l a t i h a n

A. Pilihlah jawaban yang tepat dengan menuliskan huruf a, b, c, d, atau e di dalam buku tugas Anda!

1. Sebuah balok bermassa 3 kg bergerak ke atas pada bidang miring yang memiliki sudut 60° , dengan energi kinetik awal 18 J. Jika koefisien gesekannya 0,3, maka jarak terjauh yang dicapai balok pada saat meluncur pada bidang miring adalah
 - a. 1 m
 - d. 0,4 m
 - b. 0,8 m
 - e. 0,2 m
 - c. 0,6 m

2. Jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk mempercepat gerak sebuah mobil dari keadaan diam menjadi kelajuan v adalah Q . Bila gesekan diabaikan, maka jumlah bahan bakar tambahan yang diperlukan untuk menaikkan kelajuan mobil tersebut dari v menjadi $2v$ adalah
 - a. $Q/2$
 - b. Q
 - c. $2Q$
 - d. $3Q$
 - e. $4Q$

3. Perhatikan gambar di samping! Suatu partikel dengan massa 1 kg didorong dari permukaan meja hingga kecepatan pada saat lepas dari bibir meja sebesar 2 m/s. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka energi mekanik partikel pada saat ketinggiannya dari tanah 1 m adalah ...



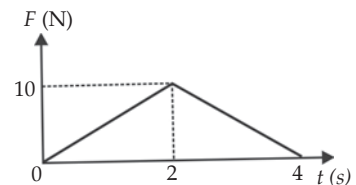
 - a. 2 J
 - d. 22 J
 - b. 10 J
 - e. 24 J
 - c. 12 J

4. Dua buah benda A dan B yang bermassa masing-masing m jatuh bebas dari ketinggian h meter dan $2h$ meter. Jika A menyentuh tanah dengan kecepatan $v \text{ m/s}$, maka benda B akan menyentuh tanah dengan energi kinetik sebesar
 - a. $\frac{3}{2}mv^2$
 - d. $\frac{1}{2}mv^2$
 - b. mv^2
 - e. $\frac{1}{4}mv^2$
 - c. $\frac{3}{4}mv^2$

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

- $\frac{mv}{P}$
- $\frac{P}{mv}$
- $\frac{2P}{mv^2}$
- $\frac{mv^2}{2P}$
- $\frac{mv^2}{P}$

6. Perhatikan gambar grafik di samping ! Grafik di atas menyatakan gaya yang bekerja pada suatu benda bermassa 2 kg pada selang (kurun) waktu 4 sekon. Kalau benda tersebut mula-mula diam, maka besarnya energi kinetik setelah 4 sekon adalah ...

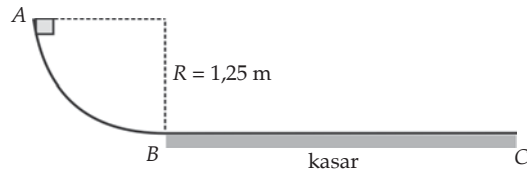


- 50 J
 - 100 J
 - 200 J
 - 300 J
 - 400 J
7. Sebuah benda yang bergerak dengan kecepatan awal v_0 di atas permukaan mendatar, berhenti setelah menempuh jarak s karena pengaruh gaya gesekan kinetis. Jika koefisien gesekan kinetis adalah μ_k dan percepatan gravitasi sama dengan g , maka besarnya v_0 adalah

- $\sqrt{\mu_k g s}$
- $\sqrt{2\mu_k g s}$
- $\sqrt{3\mu_k g s}$
- $\sqrt{4\mu_k g s}$
- $\sqrt{5\mu_k g s}$

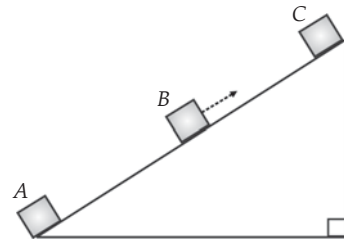
8. Perhatikan gambar di samping!

Benda dilepaskan dari puncak seperempat lingkaran, lalu berhenti di titik C yang berjarak 5 m dari B. Koefisien gesekan kinetis permukaan BC jika AB licin adalah



- 0,1
- 0,2
- 0,25
- 0,40
- 0,5

9. Perhatikan gambar di samping! Sebuah balok bermassa 25 kg semula diam di titik A. Gaya F sebesar 120 N bekerja pada benda tersebut sehingga benda bergerak terus menaiki bidang miring. Ternyata besar kecepatan benda ketika melalui titik C adalah 2 m/s. Jika diketahui $BC = 3$ m dan $AC = 20$ m, maka besar gaya gesekan yang bekerja pada balok adalah



- 40 N
- 50 N
- 64 N
- 75 N
- 80 N

10. Dua buah benda masing-masing memiliki massa A kg dan B kg. Jika kedua benda mula-mula diam kemudian mengalami gaya yang sama besar dan dalam selang waktu yang sama, maka perbandingan energi kinetik benda A terhadap B tepat pada akhir waktu diberikannya gaya adalah

- 1
- $\frac{B}{A}$
- $\frac{A}{B}$
- $\left(\frac{B}{A}\right)^2$
- $\left(\frac{A}{B}\right)^2$

B. Kerjakan soal-soal berikut dengan benar!

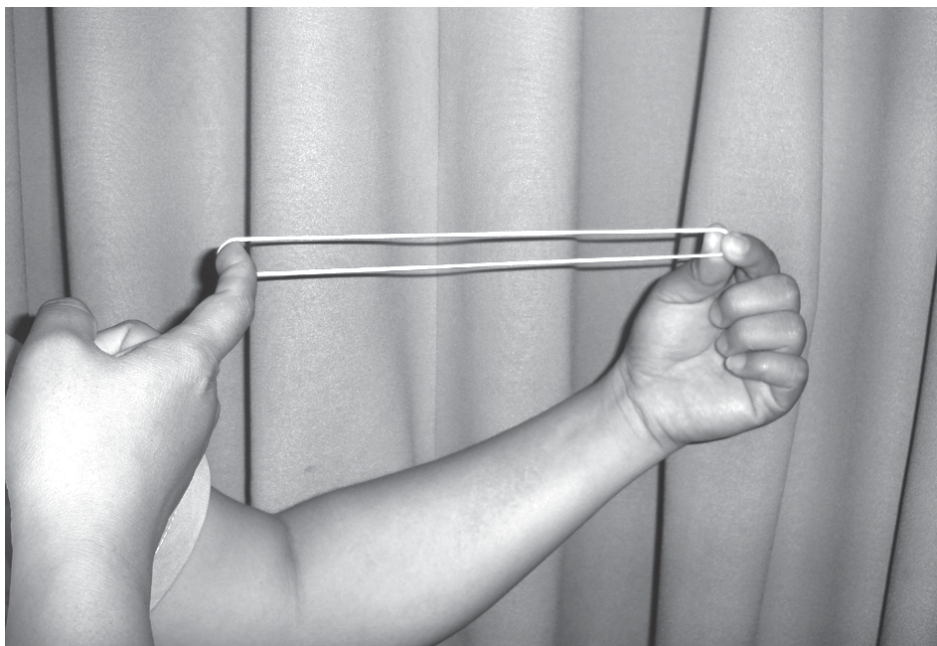
1. Sebuah gaya $F = (2\mathbf{i} + 3\mathbf{j})$ N melakukan usaha dengan titik tangkapnya berpindah menurut $r = (4\mathbf{i} + a\mathbf{j})$ m dan vektor \mathbf{i} dan \mathbf{j} berturut-turut adalah vektor satuan yang searah dengan sumbu X dan sumbu Y pada koordinat kartesian. Bila usaha tersebut bernilai 26 J, maka hitunglah nilai a !
2. Dua buah kapal layar A dan B yang mempunyai layar sama besar akan mengadakan lomba. Massa kapal $A = m$ dan massa kapal $B = 2m$, sedangkan gaya gesekan dapat diabaikan. Jarak yang ditempuh sebesar s dan lintasannya berupa garis lurus. Pada saat berangkat (start) sampai garis finish, kedua kapal layar memperoleh gaya dari angin sebesar F . Jika energi kinetik kapal A dan kapal B pada saat di garis finis berturut-turut besarnya E_{kA} dan E_{kB} , maka hitunglah besarnya perbandingan energi kinetik kapal A dan B saat di tiba di garis finish!
3. Sebuah tongkat yang panjangnya 40 cm dan tegak di atas permukaan tanah dijatuhkan martil 10 kg dari ketinggian 50 cm di atas ujungnya. Bila gaya tahan rata-rata tanah 10^3 N, maka hitunglah banyaknya tumbukan martil yang perlu dilakukan terhadap tongkat agar menjadi rata dengan permukaan tanah!
4. Sebuah palu bermassa 2 kg dan berkecepatan 20 m/s menghantam sebuah paku sehingga paku ini masuk ke dalam kayu 5 cm. Hitunglah besar gaya tahanan yang disebabkan kayu tersebut!
5. Sebuah peluru dengan massa 20 gram ditembakkan dengan sudut elevasi 30° dan dengan kecepatan 40 m/s. Jika gesekan dengan udara diabaikan, maka tentukan energi potensial peluru pada titik tertinggi!
6. Sebuah kotak bermassa 10 kg mula-mula diam, kemudian bergerak turun pada bidang miring yang membuat sudut 30° terhadap arah horizontal tanpa gesekan dan menempuh jarak 10 m sebelum sampai ke bidang mendatar. hitunglah kecepatan kotak pada akhir bidang miring jika percepatan gravitasi bumi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$!
7. Sebuah pistol mainan bekerja dengan menggunakan pegas untuk melontarkan peluru. Jika pistol yang sudah dalam keadaan terkong, yaitu dengan menekan pegas sejauh X , diarahkan dengan membuat sudut elevasi α terhadap bidang horizontal, maka peluru yang terlepas dapat mencapai ketinggian h . Jika massa peluru adalah m dan percepatan massa peluru adalah m dan percepatan gravitasi adalah g , maka tentukan konstanta pegasnya!
8. Sebuah benda bermassa 2 kg terletak di tanah. Benda tersebut ditarik vertikal ke atas dengan gaya 25 N selama 2 detik, lalu dilepaskan. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka tentukan energi kinetik benda pada saat mengenai tanah!

9. Sebuah benda dengan massa 2,5 kg jatuh bebas dari ketinggian 3 m terhadap lantai ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$). Bila benda menumbuk lantai yang tidak lenting sama sekali, maka hitunglah kalor yang ditimbulkan oleh benda!
10. Sebuah benda bermassa 0,10 kg jatuh bebas vertikal dari ketinggian 2 m ke hamparan pasir. Jika benda tersebut masuk sedalam 2 cm ke dalam pasir sebelum berhenti, maka hitunglah besar gaya rata-rata yang dilakukan pasir untuk menghambat benda!

BAB

3

PENGARUH GAYA PADA ELASTISITAS BAHAN



- Gelang karet yang diregangkan akan kembali ke keadaan semula setelah gaya dihilangkan.

Sumber: *Dokumen Penerbit*, 2006

Coba kalian regangkan karet gelang! Coba pula regangkan plastisin! Apa yang terjadi pada keduanya setelah kalian regangkan? Tentu keduanya akan berubah bentuk karena kita kenai gaya pada kedua benda tersebut. Hal ini juga berkaitan dengan sifat elastisitas bahan yang memengaruhi keadaannya setelah gaya kita hilangkan.

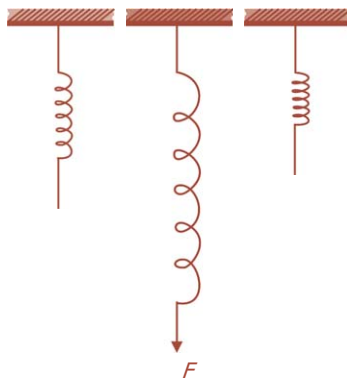
Kata Kunci

deformasi, elastisitas, gaya dalam, gaya luar, regangan, tegangan

Semua benda, baik yang berwujud padat, cair, ataupun gas akan mengalami perubahan bentuk dan ukurannya apabila benda tersebut diberi suatu gaya. Benda padat yang keras sekalipun jika dipengaruhi oleh gaya yang cukup besar akan berubah bentuknya. Ada beberapa benda yang akan kembali ke bentuk semula setelah gaya dihilangkan, tetapi ada juga yang berubah menjadi bentuk yang baru. Hal itu berkaitan dengan sifat elastisitas benda. Apakah yang dimaksud elastisitas? Bagaimana pengaruh gaya pada sifat elastisitas bahan?



Elastisitas Zat Padat

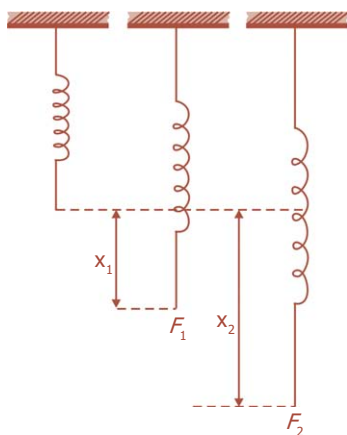


Gambar 3.1 Sifat elastisitas pada pegas.

Elastisitas adalah sifat benda yang cenderung mengembalikan keadaan ke bentuk semula setelah mengalami perubahan bentuk karena pengaruh gaya (tekanan atau tarikan) dari luar. Benda-benda yang memiliki elastisitas atau bersifat elastis, seperti karet gelang, pegas, dan pelat logam disebut **benda elastis** (Gambar 3.1). Adapun benda-benda yang tidak memiliki elastisitas (tidak kembali ke bentuk awalnya) disebut **benda plastis**. Contoh benda plastis adalah tanah liat dan plastisin (lilin mainan).

Ketika diberi gaya, suatu benda akan mengalami **deformasi**, yaitu perubahan ukuran atau bentuk. Karena mendapat gaya, molekul-molekul benda akan bereaksi dan memberikan gaya untuk menghambat deformasi. Gaya yang diberikan kepada benda dinamakan gaya luar, sedangkan gaya reaksi oleh molekul-molekul dinamakan gaya dalam. Ketika gaya luar dihilangkan, gaya dalam cenderung untuk mengembalikan bentuk dan ukuran benda ke keadaan semula.

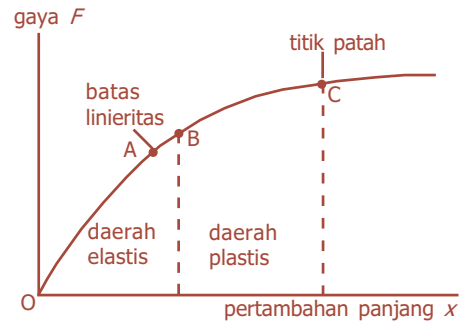
Apabila sebuah gaya F diberikan pada sebuah pegas (Gambar 3.2), panjang pegas akan berubah. Jika gaya terus diperbesar, maka hubungan antara perpanjangan pegas dengan gaya yang diberikan dapat digambarkan dengan grafik seperti pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Batas elastisitas pada pegas.

Berdasarkan grafik tersebut, garis lurus OA menunjukkan besarnya gaya F yang sebanding dengan pertambahan panjang x . Pada bagian ini pegas dikatakan meregang secara linier. Jika F diperbesar lagi sehingga melampaui titik A, garis tidak lurus lagi. Hal ini dikatakan batas linieritasnya sudah terlampaui, tetapi pegas masih bisa kembali ke bentuk semula.

Apabila gaya F diperbesar terus sampai melewati titik B, pegas bertambah panjang dan tidak kembali ke bentuk semula setelah gaya dihilangkan. Ini disebut **batas elastisitas** atau kelentingan pegas. Jika gaya terus diperbesar lagi hingga di titik C, maka pegas akan putus. Jadi, benda elastis mempunyai batas elastisitas. Jika gaya yang diberikan melebihi batas elastisitasnya, maka pegas tidak mampu lagi menahan gaya sehingga akan putus.



Gambar 3.3 Grafik hubungan gaya dengan pertambahan panjang pegas.

Uji Kemampuan 3.1

1. Sebuah pegas memiliki elastisitas, namun jika diberikan gaya yang sangat besar, pegas tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Mengapa demikian?
2. Karet gelang memiliki sifat elastis. Jika kita merentangkan sebuah karet gelang dan melepaskannya kembali maka karet gelang tersebut akan kembali ke bentuk semula. Namun, apakah yang terjadi jika gaya rentang yang kita berikan terlalu besar? Mengapa demikian?



B. Tegangan dan Regangan

Perubahan bentuk dan ukuran benda bergantung pada arah dan letak gaya luar yang diberikan. Ada beberapa jenis deformasi yang bergantung pada sifat elastisitas benda, antara lain *tegangan (stress)* dan *regangan (strain)*. Perhatikan Gambar 3.4 yang menunjukkan sebuah benda elastis dengan panjang L_0 dan luas penampang A diberikan gaya F sehingga bertambah panjang ΔL . Dalam keadaan ini, dikatakan benda mengalami tegangan.

Tegangan menunjukkan kekuatan gaya yang menyebabkan perubahan bentuk benda. **Tegangan** (stress) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda. Secara matematis dituliskan:

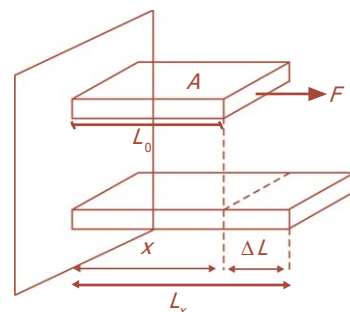
$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan:

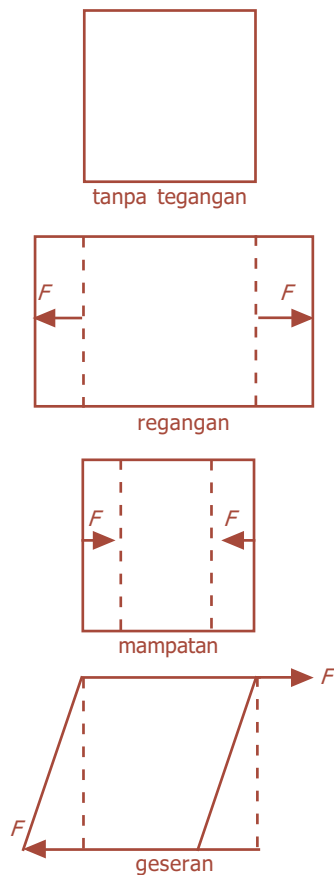
σ = tegangan (Pa)

F = gaya (N)

A = luas penampang (m^2)



Gambar 3.4 Benda elastis dengan pertambahan panjang ΔL .



Gambar 3.5 Jenis-jenis tegangan.

Satuan SI untuk tegangan adalah pascal (Pa), dengan konversi:

$$1 \text{ pascal} = \frac{1 \text{ newton}}{1 \text{ meter}^2} \text{ atau } 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

Tegangan dibedakan menjadi tiga macam, yaitu regangan, mampatan, dan geseran, seperti ditunjukkan Gambar 3.5.

Adapun **regangan** (strain) didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang batang dengan panjang mula-mula dinyatakan:

$$e = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan:

e = regangan

ΔL = pertambahan panjang (m)

L = panjang mula-mula (m)

Regangan merupakan ukuran mengenai seberapa jauh batang tersebut berubah bentuk. Tegangan diberikan pada materi dari arah luar, sedangkan regangan adalah tanggapan materi terhadap tegangan. Pada daerah elastis, besarnya tegangan berbanding lurus dengan regangan. Perbandingan antara tegangan dan regangan benda tersebut disebut modulus elastisitas atau **modulus Young**. Pengukuran modulus Young dapat dilakukan dengan menggunakan gelombang akustik, karena kecepatannya bergantung pada modulus Young. Secara matematis dirumuskan:

$$E = \frac{\sigma}{e} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$E = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$E = \frac{F.L}{A.\Delta L} \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan:

E = modulus Young (N/m²)

F = gaya (N)

L = panjang mula-mula (m)

ΔL = pertambahan panjang (m)

A = luas penampang (m²)

Nilai modulus Young hanya bergantung pada jenis benda (komposisi benda), tidak bergantung pada ukuran atau bentuk benda. Nilai modulus Young beberapa jenis bahan dapat kalian lihat pada Tabel 3.1. Satuan SI untuk E adalah pascal (Pa) atau Nm^2 .

Tabel 3.1 Nilai modulus Young beberapa jenis bahan

Bahan	Modulus Young (N/m^2)
Aluminium	70×10^9
Baja	200×10^9
Besi, gips	100×10^9
Beton	20×10^9
Granit	45×10^9
Karet	$0,5 \times 10^9$
Kuningan	90×10^9
Nikel	210×10^9
Nilon	5×10^9
Timah	16×10^9

Komet

Kolom mengingat

Tegangan dibedakan dengan regangan:

- Tegangan T

$$= \frac{\text{gaya } (F)}{\text{luas penampang } (A)}$$

- Regangan e

$$= \frac{\text{perubahan panjang } (\Delta L)}{\text{panjang mula – mula } (L)}$$

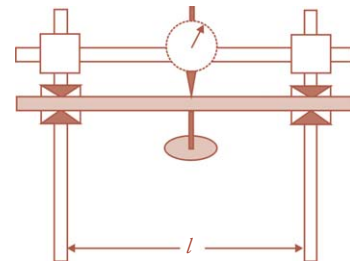
Kegiatan

Tujuan : Menentukan modulus elastisitas dari berbagai jenis logam.

Alat dan bahan : Dial gauge, pegangan dial gauge, batang logam datar, set beban dan penggantung beban, statif, jangka sorong, penggaris.

Cara Kerja:

1. Ukur lebar, tebal, dan panjang batang.
2. Susunlah alat-alat seperti gambar di samping.
3. Ukurlah perubahan jarak lentur pada dial gauge untuk L berbeda dan beban yang sama.
4. Ulangilah langkah no. 3 untuk L yang berbeda-beda dan beban yang sama.



Diskusi:

1. Buatlah tabel data pengamatan kemudian catatlah hasil percobaan tersebut pada tabel yang telah kalian buat!
2. Apakah yang dimaksud modulus elastisitas?
3. Bagaimana cara menghitung modulus elastisitas?

Contoh Soal

Kawat piano dari baja panjangnya 1,6 m dengan diameter 0,2 cm dan modulus Young $2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$. Ketika dikencangkan kawat meregang 0,3 cm. Berapakah besarnya gaya yang diberikan?

Penyelesaian:

Diketahui: $L = 1,6 \text{ m}$ $E = 2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
 $d = 0,2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$ $\Delta L = 0,3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$

Ditanya: $F = \dots ?$

Jawab: $r = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} (2 \times 10^{-3}) = 10^{-3} \text{ m}$
 $A = \pi r^2 = 3,14 (1 \times 10^{-3})^2 \text{ m} = 3,14 \times 10^{-6} \text{ m}^2$
 $F = \frac{E \cdot A \cdot \Delta L}{L} = \frac{(2 \times 10^{11})(3,14 \times 10^{-6})(3 \times 10^{-3})}{1,6} = 1.177,5 \text{ N}$

Uji Kemampuan 3.2

Sebuah kawat dengan diameter 4 mm dan panjang 80 cm digantungkan dan diberi beban 3 kg. Jika pertambahan panjang kawat adalah 5 mm, tentukan:

- tegangan kawat,
- regangan kawat, dan
- modulus Young kawat!

Percikan Fisika

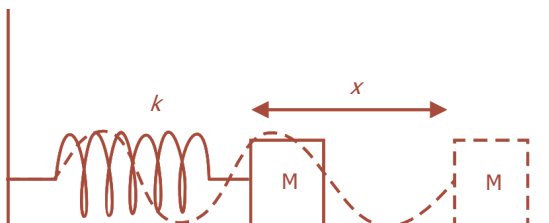


Pembangunan Tembok

Tali, rantai, atau kawat dapat dimanfaatkan jika dalam keadaan tegang. Sementara itu, batu bata dapat dimanfaatkan jika dalam keadaan mampat. Jika batu bata dimampatkan, ia akan memberikan gaya balik yang setara. Itulah dasar pembangunan tembok. Bobot batu bata, ditambah muatan seperti lantai dan atap, menekan bata bersamaan dan membentuk struktur kuat. Semen yang diselipkan di antara bata hanya untuk menyebarkan beban agar merata di seluruh permukaannya.



Hukum Hooke



Gambar 3.6 Gaya yang bekerja pada pegas sebanding dengan pertambahan panjang pegas.

Hubungan antara gaya F yang meregangkan pegas dengan pertambahan panjang pegas x pada daerah elastisitas pertama kali dikemukakan oleh Robert Hooke (1635 - 1703), yang kemudian dikenal dengan Hukum Hooke. Pada daerah elastis linier, besarnya gaya F sebanding dengan pertambahan panjang x .

Secara matematis dinyatakan:

$$F = k \cdot x \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan:

F = gaya yang dikerjakan pada pegas (N)

x = pertambahan panjang (m)

k = konstanta pegas (N/m)

Pada saat ditarik, pegas mengadakan gaya yang besarnya sama dengan gaya tarikan tetapi arahnya berlawanan ($F_{aksi} = -F_{reaksi}$). Jika gaya ini disebut gaya pegas F_p maka gaya ini pun sebanding dengan pertambahan panjang pegas.

$$F_p = -F$$

$$F_p = -k \cdot x \dots\dots\dots (3.6)$$

dengan:

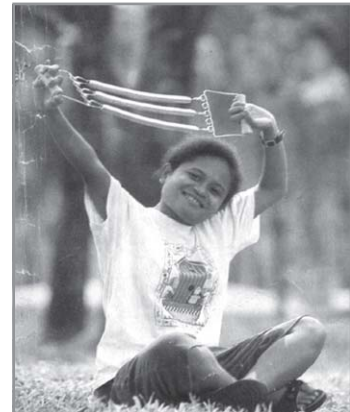
F_p = gaya pegas (N)

Berdasarkan persamaan (3.5) dan (3.6), Hukum Hooke dapat dinyatakan:

Pada daerah elastisitas benda, besarnya pertambahan panjang sebanding dengan gaya yang bekerja pada benda.

Sifat pegas seperti ini banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya pada neraca pegas dan pada kendaraan bermotor (pegas sebagai peredam kejut). Dua buah pegas atau lebih yang dirangkai dapat diganti dengan sebuah pegas pengganti. Tetapan pegas pengganti seri dinyatakan oleh persamaan: $\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{k_2} = \frac{1}{k_3} = \dots = \frac{1}{k_n}$.

Adapun tetapan pegas pengganti paralel (k_p) dinyatakan oleh persamaan: $k_p = k_1 + k_2 + k_3 + \dots k_n$.



Sumber: *Tempo*, Agustus 2005

Gambar 3.7 Tiga buah pegas disusun paralel maka gaya total terbagi pada masing-masing pegas.

Contoh Soal

Sebuah pegas yang panjangnya 15 cm digantungkan vertikal. Jika diberikan gaya 0,5 N, panjang pegas menjadi 25 cm. Berapakah panjang pegas jika diregangkan oleh gaya 0,6 N?

Penyelesaian:

$$\begin{array}{ll} \text{Diketahui: } L_0 = 15 \text{ cm} & F_1 = 0,5 \text{ N} \\ & L_1 = 25 \text{ cm} & F_2 = 0,6 \text{ N} \end{array}$$

$$\text{Ditanya: } x = \dots? (F = 0,6 \text{ N})$$

$$\text{Jawab: } x = L_1 - L_0 = (25 - 15) \text{ cm} = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$F_1 = k \cdot x$$

$$k = \frac{F_1}{x} = \frac{0,5}{0,1} = 5 \text{ N/m}$$

Untuk $F_2 = 0,6 \text{ N}$, maka:

$$F_2 = k \cdot x$$

$$x = \frac{F_2}{k} = \frac{0,6}{5} = 0,12 \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

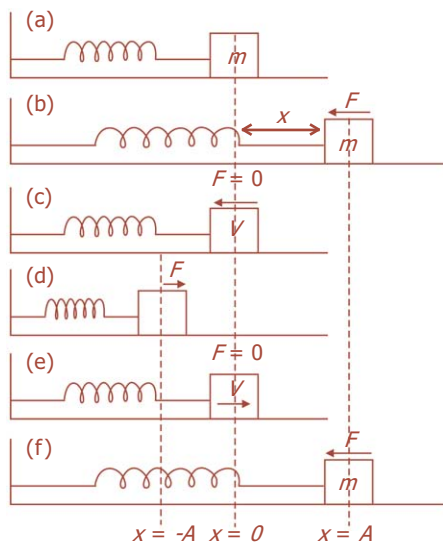
Jadi, panjang pegas = $L_0 + x = (15 + 12) \text{ cm} = 27 \text{ cm}$

Uji Kemampuan 3.3

Sebuah pegas dengan panjang 12 cm digantungkan dan diberi gaya sebesar 1,4 N, maka panjang pegas menjadi 20 cm. Hitunglah panjang pegas jika diregangkan dengan gaya 1,6 N!



D. Analisis Gerakan Pegas



Gambar 3.8 Analisis gerak harmonik pada pegas.

Gerak pegas menyebabkan benda bergerak bolak-balik, yang disebut sebagai gerak harmonik. Gerak harmonik mengarah pada titik kesetimbangan. Perhatikan gambar di samping (Gambar 3.8).

Pegas mempunyai panjang alami, dimana pegas tidak memberikan gaya pada benda. Posisi benda pada titik tersebut disebut setimbang. Jika pegas direntangkan ke kanan, pegas akan memberikan gaya pada benda yang bekerja dalam arah mengembalikan massa ke posisi setimbang. Gaya ini disebut gaya pemulih, yang besarnya berbanding lurus dengan simpangannya.

Sekarang kita perhatikan apa yang terjadi ketika pegas yang awalnya ditarik sejauh x , seperti Gambar 3.8(b) kemudian dilepaskan. Bagaimana gerak benda pada ujung pegas tersebut? Berdasarkan Hukum Hooke, pegas memberikan

gaya pada massa yang menariknya ke posisi setimbang. Karena massa dipercepat oleh gaya pemulih, maka massa akan melewati posisi setimbang dengan kecepatan cukup tinggi. Pada saat melewati titik kesetimbangan, gaya yang bekerja pada massa sama dengan nol, karena $x = 0$, sehingga $F = 0$, tetapi kecepatan benda terus bergerak ke kiri, gaya pemulih berubah arah ke kanan dan memperlambat laju benda tersebut dan menjadi nol ketika melewati titik setimbang dan berhenti sesaat di $x = A$. Selanjutnya, benda bergerak ke kiri dan seterusnya bergerak bolak-balik melalui titik setimbang secara simetris antara $x = A$ dan $x = -A$.

1. Periode dan Frekuensi

Untuk membahas suatu getaran atau gerak harmonik, ada beberapa istilah yang harus diketahui, antara lain periode dan frekuensi. **Periode** didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk satu siklus gerak harmonik. Sementara itu, **frekuensi** adalah jumlah siklus gerak harmonik yang terjadi tiap satuan waktu.

Gerak harmonik pegas pada dasarnya merupakan proyeksi gerak melingkar pada salah satu sumbu utamanya, sehingga periode dan frekuensi dapat ditentukan dengan menyamakan gaya pemulih dengan gaya sentripetal.

$$\sum F = m \cdot a_s$$

$$k \cdot x = m \cdot \omega^2 \cdot x$$

$$k = m \cdot \omega^2$$

Karena $\omega = \frac{2\pi}{T}$, maka:

$$k = \frac{m 4\pi^2}{T^2}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \dots\dots\dots (3.7)$$

Besarnya frekuensi dapat dihitung dari persamaan (3.7),

karena $f = \frac{1}{T}$, maka:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (3.8)$$

dengan:

T = periode (sekon)

m = massa beban (kg)

k = konstanta pegas (N/m)

f = frekuensi (Hz)

2. Susunan Pegas

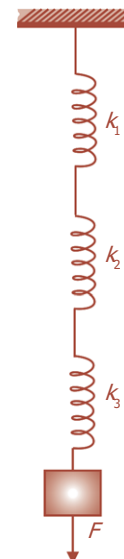
Pada susunan pegas, baik susunan seri, paralel, atau kombinasi keduanya, besarnya konstanta pegas merupakan konstanta pegas pengganti. Misalnya, tiga pegas dengan konstanta gaya k_1 , k_2 , dan k_3 disusun seri seperti pada Gambar 3.10.

Apabila pada ujung susunan pegas bekerja gaya F , maka masing-masing pegas mendapat gaya yang sama besar yaitu F . Berdasarkan Hukum Hooke, pertambahan panjang masing-masing pegas adalah:

$$F = k_1 \cdot x_1 \rightarrow x_1 = \frac{F}{k_1}$$



Gambar 3.9 Benda yang melakukan gerak harmonik dapat dihitung periode dan frekuensinya.



Gambar 3.10 Susunan seri pegas.

Satuan frekuensi Hertz berasal dari nama fisikawan Jerman, Heinrich Rudolf Hertz, yang mendemonstrasikan perambatan gelombang elektromagnetik.

$$F = k_2 \cdot x_2 \quad \rightarrow \quad x_2 = \frac{F}{k_2}$$

$$F = k_3 \cdot x_3 \quad \rightarrow \quad x_3 = \frac{F}{k_3}$$

Pertambahan panjang total susunan pegas:

$$x = x_1 + x_2 + x_3$$

$$\frac{F}{k} = \frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2} + \frac{F}{k_3} + \dots + \frac{F}{k_n}$$

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots + \frac{1}{k_n} \dots\dots\dots (3.9)$$

dengan:

k_s = konstanta gaya total susunan pegas seri

Perhatikan Gambar 3.11. Tiga buah pegas masing-masing dengan konstanta gaya k_1 , k_2 , dan k_3 , disusun paralel dan pada ujung ketiga pegas bekerja gaya F .

Selama gaya F bekerja, pertambahan panjang masing-masing pegas besarnya sama, yaitu:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x$$

Karena:

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

maka:

$$k_p x = k_1 x_1 + k_2 x_2 + k_3 x_3$$

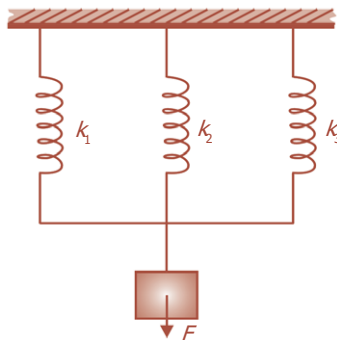
$$k_p x = k_1 x + k_2 x + k_3 x$$

Sehingga:

$$k_p = k_1 + k_2 + k_3 + \dots + k_n \dots\dots\dots (3.10)$$

dengan:

k_p = konstanta gaya total susunan pegas paralel



Gambar 3.11 Susunan paralel pegas.

Contoh Soal

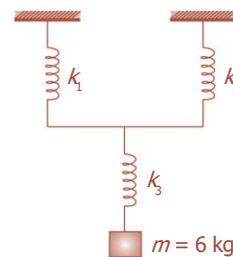
Tiga buah pegas identik dengan konstanta gaya 300 N/m disusun seperti gambar. Jika pegas diberi beban bermassa 6 kg, hitunglah pertambahan panjang masing-masing pegas! ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Penyelesaian:

Diketahui: $k_1 = k_2 = k_3 = 300 \text{ N/m}$

$m = 6 \text{ kg}$

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



Ditanya: $x_1, x_2, x_3, x = \dots ?$

Jawab:

$$F = m \cdot g = (6 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2) = 60 \text{ N}$$

k_1 dan k_2 disusun paralel, sehingga:

$$k_p = k_1 + k_2 = (300 + 300) \text{ N/m} = 600 \text{ N/m}$$

$$F = k_p \cdot x_p$$

$$x_p = \frac{F}{k_p} = \frac{60}{600} = 0,1 \text{ m}$$

$$x_1 = x_2 = x_p = 0,1 \text{ m}$$

$$x_3 = \frac{F}{k_3} = \frac{60}{300} = 0,2 \text{ m}$$

$$x = x_p + x_3 = (0,1 + 0,2) \text{ m} = 0,3 \text{ m}$$

3. Simpangan, Kecepatan, dan Percepatan

Simpangan pada gerak harmonik sederhana dapat ditentukan melalui analogi sebuah titik yang bergerak melingkar beraturan. Kecepatan dan percepatan gerak harmonik sederhana merupakan turunan pertama dan kedua dari persamaan simpangan yang merupakan fungsi waktu.

a. Simpangan

Perhatikan Gambar 3.12. Sebuah partikel bergerak melingkar beraturan dengan jari-jari A dan kecepatan sudut ω .

Pada saat $t = 0$, partikel berada di titik P, setelah t sekon berada di Q. Besarnya sudut yang ditempuh adalah:

$$\theta = \omega t = \frac{2\pi t}{T} \dots\dots\dots (3.11)$$

Simpangan gerak harmonik sederhana dapat dianggap proyeksi titik P pada salah satu sumbu utamanya (sumbu y). Jika simpangan itu dinyatakan dengan sumbu y , maka:

$$y = A \cdot \sin \theta = A \cdot \sin \omega t = A \cdot \sin \frac{2\pi t}{T} \dots\dots\dots (3.12)$$

dengan:

y = simpangan gerak harmonik sederhana (m)

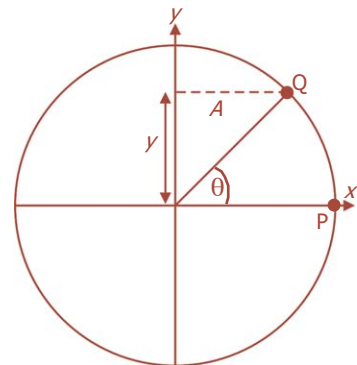
A = amplitudo (m)

T = periode (s)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

t = waktu (s)

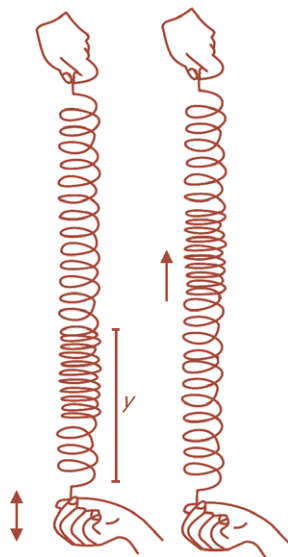
Fase gerak harmonik menyatakan keadaan gerak dalam hubungannya dengan simpangan dan arah getar. Jika suatu gerak harmonik kembali ke simpangan dan arah semula, maka gerak harmonik itu telah kembali ke fase semula.



Gambar 3.12 Gerak harmonik sederhana merupakan proyeksi titik P pada sumbu x .



Simpangan selalu berubah setiap waktu karena benda selalu mendekati atau menjauhi titik setimbang. Simpangan terbesar disebut amplitudo.



Gambar 3.13 Kecepatan gerak harmonik sederhana dipengaruhi oleh amplitudo.

Dari persamaan (3.12) diperoleh:

$$y = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \theta_0\right)$$

$$y = A \cdot \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{\theta_0}{2\pi}\right)$$

Atau $y = A \cdot \sin 2\pi\phi$, dengan ϕ adalah fase yang dituliskan dengan:

$$\phi = \left(\frac{t}{T} + \frac{\theta_0}{2\pi}\right) \dots\dots\dots (3.13)$$

Dua titik atau kedudukan dikatakan sefase jika beda fase sama dengan nol, dan dikatakan berlawanan fase jika beda setengah.

b. Kecepatan

Kecepatan gerak harmonik sederhana dapat ditentukan dari turunan persamaan simpangan.

$$y = A \cdot \sin(\omega t + \theta_0)$$

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{d}{dt} [A \sin(\omega t + \theta_0)]$$

$$v_y = \omega \cdot A \cdot \cos(\omega t + \theta_0) \dots\dots\dots (3.14)$$

Kecepatan gerak harmonik sederhana akan berharga maksimum jika fungsi cosinus bernilai maksimum, yaitu satu, sehingga:

$$v_{\text{maks}} = \omega \cdot A \dots\dots\dots (3.15)$$

Dari persamaan (3.14) kecepatan gerak harmonik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sin^2(\omega t + \theta_0) + \cos^2(\omega t + \theta_0) = 1, \text{ maka:}$$

$$\cos(\omega t + \theta_0) = \sqrt{1 - \sin^2(\omega t + \theta_0)}$$

sehingga persamaan (3.14) menjadi:

$$v = \omega \cdot A \sqrt{1 - \sin^2(\omega t + \theta_0)}$$

$$v = \omega \sqrt{A^2 - A^2 \sin^2(\omega t + \theta_0)}$$

karena:

$$y = A \cdot \sin(\omega t + \theta_0), \text{ maka:}$$

$$v = \omega \sqrt{A^2 - y^2} \dots\dots\dots (3.16)$$

c. Percepatan

Percepatan pada gerak harmonik sederhana dapat ditentukan dari turunan pertama persamaan kecepatan atau turunan kedua dari persamaan simpangan.

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d}{dt} [\omega \cdot A \cdot \cos(\omega t + \theta_0)]$$

$$a_y = -\omega^2 \cdot A \cdot \sin(\omega t + \theta_0) \dots\dots\dots (3.17)$$


Karena $A \cdot \sin(\omega t + \theta_0) = y$, maka:

$$-a_y = -\omega^2 y \dots\dots\dots (3.18)$$

Percepatan akan bernilai maksimum jika fungsi sinus bernilai maksimum, yaitu satu, sehingga persamaan (3.15) menjadi:

$$a_{\text{maks}} = -\omega^2 A \dots\dots\dots (3.19)$$

Tanda negatif pada persamaan (3.17) dan (3.18) menunjukkan bahwa percepatan berlawanan dengan arah simpangannya.



Komet
Kolom mengingat

- Simpangan gerak harmonik sederhana:
 $y = A \cdot \sin \omega t$
- Kecepatan diturunkan dari rumus simpangan:
 $v = \omega A \cdot \cos \omega t$
- Percepatan diturunkan dari rumus kecepatan:
 $a = -\omega^2 \cdot A \cdot \sin \omega t$

Contoh Soal

Sebuah benda melakukan gerak harmonik sederhana dengan persamaan simpangan

$$y = 6 \sin \left(\Delta t + \frac{\pi}{3} \right), y \text{ dalam meter dan } t \text{ dalam sekon. Tentukan:}$$

- amplitudo dan frekuensinya;
- simpangan, kecepatan, dan percepatan saat $t = \frac{\pi}{4}$ sekon!

Penyelesaian:

Diketahui: $y = 6 \sin \left(\Delta t + \frac{\pi}{3} \right)$
 $t = \frac{\pi}{4}$ sekon

Ditanya:

- A dan $f = \dots ?$
- $y, v, a = \dots ?$

Jawab:

a. $y = A \sin(\omega t + \theta_0)$

$$y = 6 \sin \left(4t + \frac{\pi}{3} \right)$$

Dari dua persamaan tersebut, diperoleh:

- amplitudo (A) = 6 m
- kecepatan sudut (ω) = 4 rad/s

$$\omega = 2\pi f$$

$$4 = 2\pi f$$

$$f = \frac{4}{2\pi}$$

$$= \frac{2}{\pi} \text{ Hz}$$

b. Simpangan $y = 6 \sin (4t + \frac{\pi}{3})$
 untuk $t = \frac{\pi}{4} \rightarrow y = 6 \sin (4\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{3})$
 $y = 6 \sin (\pi + \frac{\pi}{3}) = 6 (-\frac{1}{2}\sqrt{3}) = -3\sqrt{3} \text{ m}$
 $v = \frac{d}{dt}[A \sin(\omega t + \theta_0)] = \frac{d}{dt}\left[6 \sin(4t + \frac{\pi}{3})\right] = 24 \cos(4t + \frac{\pi}{3})$
 Untuk $t = \frac{\pi}{4} \rightarrow v = 24 \cos(4\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{3}) = 24 \cos(\pi + \frac{\pi}{3}) = 24 \cos(4\frac{\pi}{3})$
 $v = 24 (-\frac{1}{2}) = -12 \text{ m/s}$
 Percepatan, $a = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d}{dt}\left[24 \cos(4t + \frac{\pi}{3})\right] = -96 \sin(4t + \frac{\pi}{3})$
 Untuk $t = \frac{\pi}{4} \rightarrow a = -96 \sin(4\frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{3})$
 $= -96 \sin(\pi + \frac{\pi}{3})$
 $= -96 \sin(4\frac{\pi}{3})$
 $= -96 (\frac{1}{2}\sqrt{3}) = -48\sqrt{3} \text{ m/s}^2$



Pegas dapat digunakan untuk menyimpan energi. Energi ini dapat dilepaskan dengan cepat dan pelan-pelan sehingga pegas kembali ke keadaan semula.

d. Energi Gerak Harmonik Sederhana

Benda yang melakukan gerak harmonik sederhana memiliki energi potensial dan energi kinetik. Jumlah energi potensial dan energi kinetik disebut energi mekanik.

Besarnya energi potensial adalah energi yang dimiliki gerak harmonik sederhana karena simpangannya. Secara matematis dituliskan:

$$Ep = \frac{1}{2}ky^2$$

Karena: $y = A \cdot \sin \omega t$, maka:

$$Ep = \frac{1}{2}k \cdot A^2 \cdot \sin^2 \omega t \dots\dots\dots (3.20)$$

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh benda yang melakukan gerak harmonik sederhana karena kecepatannya. Secara matematis dituliskan:

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

$$Ek = \frac{1}{2}m \cdot \omega^2 \cdot A^2 \cdot \cos^2 \omega t$$

karena $m \omega^2 = k$, maka:

$$Ek = \frac{1}{2}k \cdot A^2 \cdot \cos^2 \omega t \dots\dots\dots (3.21)$$

Besarnya energi mekanik adalah:

$$\begin{aligned} E_m &= E_p + E_k \\ &= \frac{1}{2} k A^2 \sin^2 \omega t + \frac{1}{2} k A^2 \cos^2 \omega t \\ &= \frac{1}{2} k A^2 (\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t) \end{aligned}$$

karena $\sin^2 \omega t + \cos^2 \omega t = 1$, maka:

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

Besarnya energi mekanik dari suatu benda yang melakukan gerak harmonik sederhana adalah tetap, sehingga berlaku kekekalan energi mekanik yang dapat dituliskan:

$$E_{m_1} = E_{m_2}$$

$$E_{p_1} + E_{k_1} = E_{p_2} + E_{k_2}$$

$$\frac{1}{2} k y_1^2 + \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} k y_2^2 + \frac{1}{2} m v_2^2 \dots\dots\dots (3.22)$$

Pada gerak harmonik sederhana, energi potensial akan minimum saat simpangannya minimum ($y = 0$) dan maksimum saat simpangannya maksimum ($y = A$). Sementara itu, energi kinetik akan minimum saat simpangan maksimum ($y = A$) dan maksimum saat simpangannya minimum ($y = 0$).

Energi potensial elastis pegas

Untuk meregangkan pegas sepanjang x diperlukan gaya sebesar F untuk menarik pegas tersebut. Energi potensial pegas adalah besarnya gaya pegas untuk meregangkan sepanjang x . Berdasarkan Hukum Hooke, dapat diketahui grafik hubungan antara gaya F dengan pertambahan panjang x seperti Gambar 3.15. Besarnya usaha merupakan luasan yang diarsir.

$$E_p = W = \text{luas } \Delta OAB$$

$$= \frac{1}{2} Fx$$

karena $F = kx$, maka:

$$E_p = \frac{1}{2} (kx)x$$

$$E_p = \frac{1}{2} kx^2 \dots\dots\dots (3.23)$$

dengan:

E_p = energi potensial pegas (J)

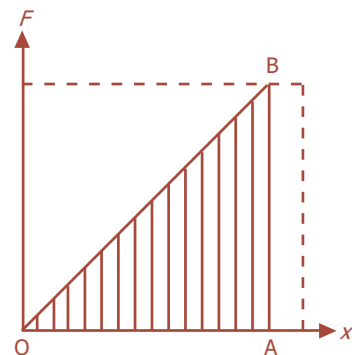
k = konstanta gaya pegas (N/m)

x = pertambahan panjang pegas (m)



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*, PT Ichtiar Baru van Hoeve, 2005

Gambar 3.14 Energi potensial tali busur ketika seseorang menarik tali busur panah.



Gambar 3.15 Grafik gaya terhadap pertambahan panjang.

Contoh Soal

1. Sebuah benda melakukan gerak harmonik sederhana dengan amplitudo $\sqrt{3}$ cm. Energi kinetik di titik setimbang 20 joule. Tentukan besar energi potensial benda pada saat kecepatannya setengah harga maksimumnya!

Penyelesaian:

$$\text{Diketahui: } A = \sqrt{3} \text{ cm} = \sqrt{3} \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$Ek_{\text{maks}} = 20 \text{ J}$$

$$v = \frac{1}{2} v_{\text{maks}}$$

$$\text{Ditanya: } Ep = \dots ?$$

Jawab:

$$Ek_{\text{maks}} = Em = 20 \text{ J}$$

$$Ek = \frac{1}{2} m.v^2$$

$$\text{karena } v = \frac{1}{2} v_{\text{maks}}, \text{ maka:}$$

$$Ek = \frac{1}{4} Ek_{\text{maks}}$$

$$Ek = \frac{1}{4} (20 \text{ J}) = 5 \text{ J}$$

$$\text{saat } v = \frac{1}{2} v_{\text{maks}}$$

$$Ep + Ek = Em$$

$$Ep + 5 \text{ J} = 20 \text{ J}$$

$$Ep = 15 \text{ J}$$

2. Sebuah pegas menggantung dalam keadaan normal, panjangnya 40 cm. Ketika pada ujungnya diberi beban 200 gram, panjangnya menjadi 50 cm. Jika pegas ditarik sepanjang 5 cm, hitunglah energi potensial elastis pegas! ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Penyelesaian:

$$\text{Diketahui: } x = 40 \text{ cm}$$

$$x_1 = (50 - 40) \text{ cm} = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$x_2 = 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$m = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$$

$$\text{Ditanya: } Ep = \dots ?$$

Jawab:

$$F = m.g = 0,2 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s}^2 = 2 \text{ N}$$

$$F = k.x_1$$

$$2 \text{ N} = k \times 0,1 \text{ m}$$

$$k = 20 \text{ N/m}$$

Pada saat $x = 5 \text{ cm}$, maka:

$$Ep = \frac{1}{2} k.x^2$$

$$= \frac{1}{2} (20)(5 \times 10^{-2})^2 = 25 \times 10^{-3} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ J}$$

Uji Kemampuan 3.4

1. Ketika Raditya yang bermassa 60 kg naik sepeda motor, maka jok turun 5 cm. *Shockbreaker* pada sepeda motor dianggap sebagai pegas. Jika adiknya yang bermassa 35 kg membonceng, berapakah energi potensial pada sepeda motor tersebut?
2. Sebuah pegas melakukan gerak harmonik sederhana dengan persamaan simpangan $y = 15 \sin(2t + \frac{\pi}{6})$. Tentukan kecepatannya saat $t = \frac{\pi}{2}$ sekon!

Fiesta

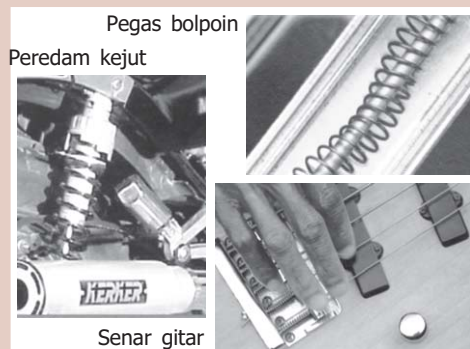
Fisikawan Kita



Thomas Young

Ia lahir di Milverton, Somerset, Inggris pada tanggal 13 Juni 1773 dan meninggal di London pada tanggal 10 Mei 1829. Ia termasuk anak ajaib, pada umur 2 tahun sudah dapat membaca dengan lancar. Sebelum masuk perguruan tinggi ia belajar bahasa Yunani, Latin, Ibrani, Arab, Turki, dan Etiopia. Sampai dewasa pun, ia tetap seorang ajaib dan dapat membiayai hidup dan kuliahnya sendiri. Ia kuliah di Universitas Edinburgh, kemudian melanjutkan di Jerman dan mendapat gelar dari Universitas Göttingen pada umur 23 tahun. Ketika ia membuktikan bahwa cahaya adalah gelombang dengan interferensinya, hampir semua ilmuwan di Inggris menentanginya karena dituduh tidak ilmiah.

Percikan Fisika



Penggunaan Pegas

Sifat pegas banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya pada neraca pegas; pegas pada kendaraan bermotor, yaitu pegas sebagai peredam kejut pada saat roda kendaraan melalui jalan yang tidak rata; dan penggerak mesin jam atau arloji. Senar gitar atau bas akan bergetar saat dipetik, karena senar juga termasuk pegas. Pegas dalam bolpoin digunakan untuk mengeluarkan dan memasukkan isi tinta.

- ✳ Elastisitas adalah kemampuan suatu benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan kepadanya dihilangkan. Benda yang memiliki elastisitas disebut *benda elastis*, sedangkan benda yang tidak memiliki elastisitas disebut *benda plastis*.

- ✳ Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang bekerja pada benda dengan luas penampang benda.

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

- ✳ Regangan (*strain*) adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula.

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

- ✳ Modulus elastisitas atau modulus Young adalah perbandingan antara tegangan dan regangan: $E = \frac{\sigma}{e} = \frac{F.L}{A.\Delta L}$.

- ✳ Menurut Hukum Hooke, besarnya pertambahan panjang benda pada daerah elastisitas sebanding dengan gaya yang bekerja pada benda: $F = k.x$.

- ✳ Periode adalah waktu yang diperlukan untuk satu siklus gerak harmonik yang besarnya: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

- ✳ Frekuensi adalah jumlah siklus gerak harmonik yang terjadi tiap satuan waktu.

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

- ✳ Simpangan pada grafik harmonik sederhana dinyatakan:

$$y = A \sin \theta ; y = A \sin \omega t = A \sin \frac{2\pi t}{T}$$

- ✳ Kecepatan pada gerak harmonik merupakan turunan pertama dari persamaan simpangan: $v_y = \omega.A \cos(\omega t + \theta_0)$.

- ✳ Percepatan merupakan turunan pertama dari persamaan kecepatan.

$$a_y = -\omega^2.A \sin(\omega t + \theta_0)$$

- ✳ Benda yang melakukan gerak harmonik memiliki energi potensial dan energi kinetik yang besarnya:

$$Ep = \frac{1}{2}k.A^2 \sin^2 \omega t ; Ek = \frac{1}{2}k.A^2 \cos^2 \omega t$$

- ✳ Energi mekanik adalah jumlah energi potensial dan energi kinetik.

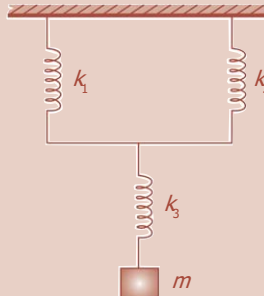
$$Em = Ep + Ek = \frac{1}{2}k.A^2$$

- ✳ Energi potensial elastis pegas adalah usaha gaya pegas untuk meregangkan pegas sepanjang x , dirumuskan: $Ep = W = \frac{1}{2}k.x^2$.

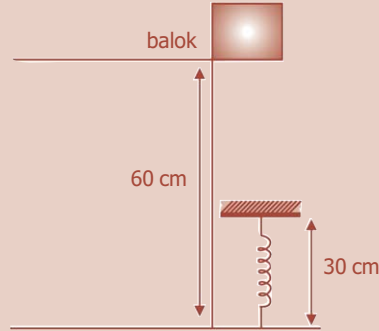
Uji Kompetensi

A. Pilihlah jawaban yang paling tepat!

1. Dimensi dari modulus elastisitas adalah
 - a. $ML^{-2}T^{-2}$
 - b. MLT^{-2}
 - c. $ML^{-1}T^{-1}$
 - d. $ML^{-1}T^{-2}$
 - e. $ML^{-1}T^2$
2. Modulus Young aluminium adalah 7×10^{10} Pa. Gaya yang diperlukan untuk menarik seutas kawat aluminium dengan garis tengah 2 mm yang panjangnya 600 mm menjadi 800 mm adalah
 - a. 733.000 N
 - b. 659.400 N
 - c. 73.600 N
 - d. 73.267 N
 - e. 65.940 N
3. Sebuah pegas akan bertambah panjang 5 cm jika diberikan gaya sebesar 10 N. Pertambahan panjang pegas jika gaya yang diberikan sebesar 16 N adalah
 - a. 4 cm
 - b. 6 cm
 - c. 8 cm
 - d. 10 cm
 - e. 12 cm
4. Dua pegas identik dirangkai paralel dengan konstanta gaya pegas 100 N/m. Jika pada ujung susunan pegas diberi beban 1 kg dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, maka pertambahan panjang pegas adalah
 - a. 1 m
 - b. 2 m
 - c. 3 m
 - d. 4 m
 - e. 5 cm
5. Untuk meregangkan sebuah pegas sepanjang 4 cm diperlukan energi sebesar 0,16 J. Untuk meregangkan pegas sepanjang 2 cm, diperlukan gaya
 - a. 0,8 N
 - b. 1,6 N
 - c. 2 N
 - d. 3,2 N
 - e. 4 N
6. Tiga buah pegas disusun seperti gambar di bawah ini. Konstanta masing-masing $k_1 = 200 \text{ N/m}$, $k_2 = 400 \text{ N/m}$, $k_3 = 200 \text{ N/m}$. Karena pengaruh beban m , susunan pegas mengalami pertambahan panjang 5 cm. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, besarnya m adalah
 - a. 16,6 kg
 - b. 7,5 kg
 - c. 3,33 kg
 - d. 1,67 kg
 - e. 0,75 kg



7. Sebuah balok jatuh dari meja yang tingginya 60 cm dari lantai. Balok yang jatuh tepat di ujung pegas yang memiliki tetapan $2,4 \times 10^3 \text{ N/m}$. Tinggi pegas mula-mula 30 cm dan menjadi 10 cm ketika terkena balok. Massa balok adalah ($g = 10 \text{ m/s}^2$)



- 11,2 kg
 - 9,6 kg
 - 8,4 kg
 - 7,2 kg
 - 6,3 kg
8. Sebuah partikel melakukan gerak harmonik sederhana dengan frekuensi 5 Hz dan amplitudo 10 cm. Kecepatan partikel pada saat berada pada simpangan 8 cm adalah
- $30 \pi \text{ cm/s}$
 - $60 \pi \text{ cm/s}$
 - $72 \pi \text{ cm/s}$
 - $80 \pi \text{ cm/s}$
 - $95 \pi \text{ cm/s}$
9. Pada saat energi kinetik benda yang melakukan gerak harmonik sederhana sama dengan energi potensialnya, maka
- sudut fasenya 180°
 - fasenya $\frac{3}{4}$
 - sudut fasenya 45°
 - fasenya $\frac{1}{4}$
 - percepatannya nol
10. Sebuah benda diikat pada ujung suatu pegas dan bergerak harmonik dengan amplitudo A dan konstanta pegas k . Pada saat simpangan benda $0,4A$, maka energi kinetik benda adalah
- $\frac{1}{8} k.A^2$
 - $\frac{1}{4} k.A^2$
 - $\frac{3}{8} k.A^2$
 - $\frac{1}{2} k.A^2$
 - $\frac{3}{4} k.A^2$

B. Jawablah dengan singkat dan benar!

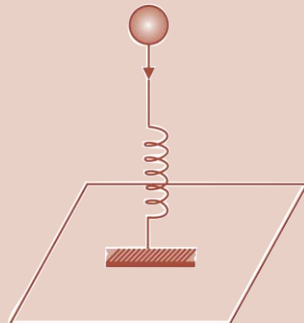
1. Kawat panjangnya 120 cm memiliki luas penampang 8 mm^2 . Sebuah beban 40 N diberikan pada kawat tersebut dan ternyata kawat memanjang 0,4 mm. Tentukan:
 - a. tegangan kawat,
 - b. regangan kawat, dan
 - c. modulus elastisitas kawat!

2.



Tiga buah pegas masing-masing dengan konstanta gaya 200 N/m, 300 N/m, dan 600 N/m disusun seri dan diberi beban 25 N. Berapakah pertambahan panjang susunan pegas tersebut?

3. Bola dengan massa 0,5 kg dijatuhkan tanpa kecepatan awal dari ketinggian 2 m di atas pegas. Setelah tertimpa benda, pegas mampat sejauh 20 cm. Jika $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan konstanta pegas tersebut!



4. Sebuah benda bermassa 5 gram bergerak harmonik sederhana dengan persamaan simpangan $y = 0,04 \sin 100t$, y dalam meter dan t dalam sekon. Tentukan:
 - a. frekuensi,
 - b. amplitudo,
 - c. energi total!
5. Sebuah benda massanya 100 gram bergetar harmonik dengan periode $1/5$ sekon dan amplitudo 2 cm. Tentukan besar energi kinetik benda pada saat simpangan 1 cm!

B A B

1

GEJALA GELOMBANG



Sumber: www.alam-leoniko.or.id

Jika kalian pergi ke pantai maka akan melihat ombak air laut. Ombak itu berupa puncak dan lembah dari getaran air laut yang berjalan. Kejadian itulah yang disebut gelombang. Contohnya lain dapat dilihat pada gambar di atas. Pada gambar tersebut menunjukkan gelombang tsunami yang terlihat memiliki kekuatan yang dahsyat. Apa sebenarnya gelombang itu, besaran-besaran apa yang dimiliki? Dan apakah pemanfaatannya?

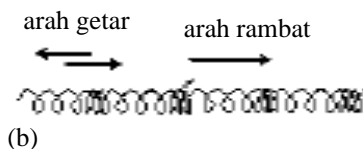
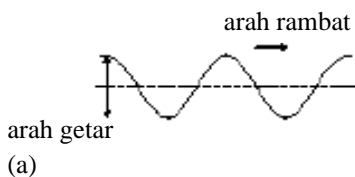
Pertanyaan-pertanyaan di atas dapat kalian pelajari pada bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini diharapkan kalian dapat :

1. menjelaskan pengertian gelombang dan besaran-besaran yang dimiliki,
2. menentukan besaran-besaran pada gelombang berjalan,
3. menentukan superposisi gelombang berjalan menjadi gelombang stasioner,
4. menerapkan hukum melde pada gelombang oada dawai.

A. Pengertian Gelombang



Gambar 1.1.
Gelombang air



Gambar 1.2.
(a) gelombang transversal
(b) gelombang longitudinal

1. Terbentuknya gelombang

Coba kalian buat getaran dan letakkan getaran itu pada air. Apa yang terjadi? Gejalanya dapat kalian lihat pada *Gambar 1.1*. Pada air itu akan terjadi gelombang. Jadi sebuah gelombang akan terjadi bila ada sumber yang berupa getaran dan ada yang merambatkannya.

Pada gelombang tersebut terjadi perambatan energi getaran.

2. Jenis-jenis gelombang

Di alam ini banyak sekali terjadi gelombang. Contohnya ada gelombang air, gelombang tali, cahaya, bunyi, dan gelombang radio. Apakah semua gelombang itu sama? Ternyata semua gelombang itu dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis sesuai sifat kemiripannya contohnya dapat dibagi dengan dasar berikut.

a. Berdasarkan arah rambat dan arah getar

Berdasarkan arah rambat dan arah getarnya, gelombang dapat dibagi menjadi dua. Pertama, *gelombang transversal* yaitu gelombang yang arah rambat tegak lurus pada arah getarnya. Contohnya gelombang air, tali dan cahaya.

Kedua, *gelombang longitudinal* yaitu gelombang yang arah rambat dan arah getarnya sejajar. Contohnya gelombang pegas dan bunyi. Perbedaan kedua gelombang ini dapat kalian lihat pada *Gambar 1.2*.

b. Berdasarkan mediumnya

Berdasarkan mediumnya, gelombang juga dapat dibagi menjadi dua. *Gelombang mekanik* yaitu gelombang yang membutuhkan media dalam merambat. Contohnya gelombang tali dan bunyi. Apa yang terjadi jika ada dua orang astronot yang bercakap-cakap diruang hampa? Jawabnya tentu tidak bisa secara langsung dari percakapan antar bunyi dari mulutnya.

Sedangkan adalagi gelombang yang tidak membutuhkan media dalam merambat. Gelombang ini dinamakan *gelombang elektromagnetik*. Contohnya cahaya, gelombang radio dan sinar-X.

c. Berdasarkan amplitudonya

Berdasarkan amplitudonya, ternyata ada dua jenis juga. Ada gelombang yang amplitudonya tetap yaitu *gelombang berjalan*. Dan ada gelombang yang amplitudonya berubah sesuai posisinya yaitu *gelombang stasioner*. Dua jenis gelombang ini dapat kalian pahami pada sub bab berikutnya.

3. Besaran-besaran pada gelombang

Di kelas XI kalian telah belajar tentang getaran, masih ingat besaran-besaran yang dimiliki? Gelombang sebagai rambatan energi getaran memiliki besaran-besaran yang sama dan ada beberapa tambahan. Diantaranya adalah frekuensi dan periode.

Frekuensi gelombang adalah banyaknya gelombang yang terjadi tiap detik. Sedangkan periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu gelombang.

$$\text{a. } f = \frac{N}{t}$$

$$\text{b. } T = \frac{t}{N}$$

$$\text{c. } f = \frac{1}{T}$$

.....(1.1)

dengan f = frekuensi (Hz)

T = periode (s)

N = banyaknya gelombang

t = waktu (s)

Untuk gelombang transversal satu gelombang sama dengan dari puncak ke puncak terdekat atau dari lembah ke lembah terdekat. Sedangkan untuk gelombang longitudinal satu gelombang sama dengan dari regangan ke regangan terdekat atau dari rapatan ke rapatan terdekat.

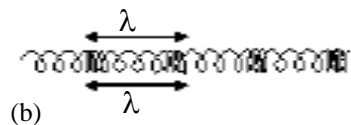
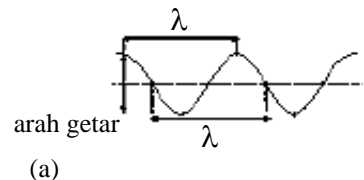
Berikutnya adalah besaran cepat rambat. Gelombang merupakan bentuk rambatan berarti memiliki kecepatan rambat. Sesuai dengan pengertian dasarnya maka cepat rambat ini dapat dirumuskan seperti berikut.

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

Untuk satu gelombang dapat di tentukan besaran berikutnya yang perlu diketahui adalah panjang gelombang dan cepat rambat gelombang. Perhatikan *Gambar 1.3*. Panjang gelombang yang disimbulkan λ merupakan *panjang satu gelombang atau jarak yang ditempuh untuk satu kali gelombang*.

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

atau $v = \lambda \cdot f$ (1.2)



Gambar 1.3

Panjang 1 gelombang pada :

(a) gelombang transversal dan

(b) gelombang longitudinal

CONTOH 1.1

Sebuah gelombang menjalar pada air. Dalam waktu 2 s gelombang dapat menempuh jarak 10 m. Pada jarak tersebut terdapat 4 gelombang. Tentukan frekuensi, periode, panjang gelombang, dan cepat rambat gelombang!

Penyelesaian

$$t = 2 \text{ s}, S = 10 \text{ m}, N = 4$$

- a. frekuensi gelombang :

$$f = \frac{N}{t} = \frac{4}{2} = 2 \text{ Hz}$$

- b. periodenya setara :

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{2} \text{ s}$$

- c. panjang gelombang memenuhi :

$$\lambda = \frac{S}{N} = \frac{10}{4} = 2,5 \text{ m}$$

- d. cepat rambat gelombang :

$$\begin{aligned} v &= \lambda f \\ &= 2,5 \cdot 2 = 5 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Gelombang dirambatkan dengan frekuensi 5 Hz. Gelombang tersebut menempuh jarak 15 m dalam waktu 5 s. Tentukan :

- periode gelombang,
- panjang gelombang,
- cepat rambat gelombang.

**LATIHAN 1.1**

- Gelombang air laut menyebabkan permukaan air naik turun dengan periode 2 detik. Jika jarak antara dua puncak gelombang 5 meter maka gelombang akan mencapai jarak 10 meter dalam waktu t . Berapakah t ?
- Pada permukaan suatu danau terdapat dua buah gabus yang terpisah satu dari lainnya sejauh 60 cm. Keduanya turun naik bersama permukaan air dengan frekuensi 2 getaran per detik. Bila salah satu gabus berada di puncak bukit gelombang, yang lainnya berada di lembah gelombang; sedangkan diantara kedua gabus itu terdapat satu bukit gelombang. Tentukan cepat rambat gelombang pada permukaan danau !
- Sebuah gelombang transversal mempunyai periode 4 detik. Jika jarak antara dua buah titik berurutan yang membentuk satu gelombang sebesar 8 cm, maka berapakah cepat rambat gelombang ?

B. Gelombang Berjalan

Semua gelombang akan merambat dari sumber ke tujuannya. Gelombang inilah yang dinamakan gelombang berjalan. Pada gelombang berjalan ini perlu dipelajari simpangan dan fasenya. Perhatikan pada penjelasan berikut.

1. Simpangan getar gelombang

Gelombang berjalan memiliki sifat pada setiap titik yang dilalui akan memiliki amplitudo yang sama. Perhatikan gelombang berjalan dari sumber O ke titik p yang berjarak x pada *Gambar 1.4*. Bagaimana menentukan simpangan pada titik p? Simpangan tersebut dapat ditentukan dari simpangan getarannya dengan menggunakan waktu perjalanannya. Jika O bergetar t detik berarti titik p telah bergetar t_p detik dengan hubungan :

$$t_p = t - \frac{x}{v}$$

Dan simpangan di titik p memenuhi

$$\begin{aligned} y_p &= A \sin (\omega t_p) \\ &= A \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \\ &= A \sin \left(\omega t - \frac{v\omega x}{v} \right) \end{aligned}$$

$$y_p = A \sin (\omega t - kx) \quad \dots\dots\dots(1.3)$$

dengan : y_p = simpangan di titik p (m)
 A = amplitudo gelombang (m)
 ω = frekuensi sudut
 k = bilangan gelombang
 x = jarak titik ke sumber (m)
 t = waktu gelombang (s)

Nilai ω dan k juga memenuhi persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \omega &= 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \\ \text{dan } k &= \frac{\omega}{v} = \frac{2\pi}{\lambda} \end{aligned}$$

Dengan substitusi persamaan di atas pada persamaan 1.3 dapat diperoleh bentuk lain simpangan getaran.

$$y_p = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad \dots\dots\dots(1.4)$$

sumber gelombang



Gambar 1.4
Gelombang berjalan.

Penting

Persamaan 1.3 dan 1.4 berlaku jika getaran sumber bergerak ke atas dulu dari titik $y = 0$ (untuk $t = 0$). Jika ke bawah dulu maka y bernilai negatif (-). Nilai negatif pada (-) kx berarti gelombang menjauhi sumber, jika kebolehanannya aku bernilai positif.

Perhatikan syarat berlakunya persamaan 1.3 dan 1.4 pada penjelasan penting di samping. Coba kalian cermati. Dengan syarat-syarat yang ada maka akan berlaku persamaan berikut.

$$y = \pm A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right) \dots\dots\dots (1.5)$$

CONTOH 1.2

Gelombang merambat dari sumber O melalui titik p. Simpangan getar gelombang dititik p memenuhi : $y = 0,02 \sin 10\pi (2t - \frac{x}{20})$. Semua besaran dalam satuan SI. Tentukan :

- amplitudo gelombang
- periode gelombang
- frekuensi gelombang
- panjang gelombang
- cepat rambat gelombang

Penyelesaian

$$y = 0,02 \sin 10\pi (2t - \frac{x}{20})$$

$$= 0,02 \sin 2\pi (10t - \frac{x}{4})$$

Bentuk umum persamaan 1.5

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Jadi dapat diperoleh :

- amplitudo : $A = 0,02 \text{ m}$
- periode : $T = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ s}$
- frekuensi : $f = \frac{1}{T} = 10 \text{ Hz}$
- panjang gelombang : $\lambda = 4 \text{ m}$
- cepat rambat gelombang:

$$v = \lambda \cdot f$$

$$= 4 \cdot 10 = 40 \text{ m/s.}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

persamaan : $y = 10^{-2} \sin 4\pi \left(\frac{x}{10} - \frac{t}{10} \right)$

Semua memiliki satuan SI. Tentukan : amplitudo, periode, frekuensi, panjang gelombang dan cepat rambat gelombang.

2. Fase dan sudut fase gelombang

Besaran yang juga penting untuk dipelajari adalah *fase gelombang*. Fase gelombang dapat didefinisikan sebagai bagian atau tahapan gelombang. Perhatikan persamaan 1.5. Dari persamaan itu fase gelombang dapat diperoleh dengan hubungan seperti berikut.

$$\phi = \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \dots\dots\dots (1.6)$$

dengan : ϕ = fase gelombang

T = periode gelombang (s)

λ = panjang gelombang (m)

t = waktu perjalanan gelombang (s)

x = jarak titik dari sumber (m)

Dari fase gelombang dapat dihitung juga sudut fase yaitu memenuhi persamaan berikut.

$$\theta = 2\pi\phi \text{ (rad)} \dots\dots\dots (1.7)$$

Dari persamaan 1.6 dan 1.7 dapat diperoleh perumusan beda fase dan beda sudut fase seperti persamaan berikut.

Pada dua titik dengan pengamatan yang bersamaan:

$$\ddot{A}_\phi = \frac{\ddot{A}}{e}$$

Pada satu titik yang dilihat pada waktu yang berlainan:

$$\ddot{A}_\phi = \frac{\ddot{A}_x}{T}$$

Dan beda sudut fase memenuhi:

$$\ddot{A}_\theta = 2\pi \ddot{A}_\phi$$

Penting

Dua gelombang dapat memiliki fase yang sama dan dinormal-kan sefase. Dua gelombang akan sefase bila beda fasenya memenuhi:

$$\ddot{A}_\phi = 0, 1, 2, 3, \dots$$

atau

$$\theta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$$

Berarti dua gelombang yang berlawanan fase apabila berbeda fase :

$$\ddot{A}_\phi = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \dots$$

atau

$$\theta = \pi, 3\pi, 5\pi, \dots$$

CONTOH 1.3

1. Gelombang berjalan sinusoidalnya memenuhi:

$$y = 0,04 \sin 20\pi \left(t - \frac{x}{10} \right).$$

Semua besaran memiliki satuan dalam SI. Tentukan fase dan sudut fase pada titik berjarak 2 m dan saat bergerak 1/2 s!

Penyelesaian

$$t = \frac{1}{2} \text{ s}; \quad x = 2 \text{ m}$$

sudut fase gelombang memenuhi:

$$\theta = 20\pi \left(t - \frac{x}{10} \right)$$

$$= 20\pi \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{10} \right) = 6\pi \text{ rad}$$

fasenya sebesar :

$$\varphi = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{6\pi}{2\pi} = 3.$$

2. Gelombang merambat dari titik P ke titik Q dengan frekuensi 2 Hz. Jarak PQ = 120 cm. Jika cepat rambat gelombang 1,5 m/s maka tentukan beda fase gelombang di titik P dan Q !

Penyelesaian

$$f = 2 \text{ Hz}$$

$$v = 1,5 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1,5}{2} = \frac{3}{4} \text{ m}$$

$$x = 120 \text{ cm} = 1,2 \text{ m}$$

Beda fase gelombang memenuhi :

$$\Delta\varphi = \varphi_P - \varphi_Q$$

$$= \left(\frac{t}{T} - \frac{x_P}{\lambda} \right) - \left(\frac{t}{T} - \frac{x_Q}{\lambda} \right)$$

$$= \frac{x_Q - x_P}{\lambda} = \frac{1,2}{3/4} = 0,16.$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Suatu gelombang merambat sepanjang sumbu X dengan amplitudo 2 cm, cepat rambat 50 cm/s dan frekuensi 20 Hz. Dua buah titik pada sumbu X berjarak 4 cm, berapa beda sudut fasenya ?



LATIHAN 1.2

- Dua sumber bunyi A dan B berjarak 7 m. Kedua sumber bunyi sefase dengan frekuensi sama yaitu 179 Hz. Kecepatan bunyi di udara 346 m/s. Titik C terletak pada garis hubung A dan B, pada jarak 4 m dari A. Tentukan beda fase dua gelombang tersebut !
- Sebuah gelombang berjalan dengan persamaan : $y = 0,02 \sin \pi (50t + x) \text{ m}$. Dari persamaan gelombang tersebut, tentukan :
 - frekuensi gelombang ,
 - panjang gelombang,
 - cepat rambat gelombang,
 - fase dua titik yang berjarak 50 m !
- Sebuah gelombang merambat dari sumber S ke kanan dengan laju 8 m/s, frekuensi 16 Hz, amplitudo 4 cm. Gelombang itu melalui titik P yang berjarak $9\frac{1}{2}$ m dari S. Jika S telah bergetar $1\frac{1}{2}$ detik, dan arah gerak pertamanya ke atas, maka berapakah simpangan titik P pada saat itu ?

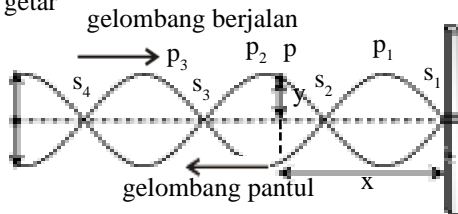
1.6. dan Gambar 1.7.

ujung bebas.

sama dan arah berlawanan.

1. Ujung terikat

tali yang ujung satunya digetarkan dan ujung lain diikat



Gambar 1.6

ujung terikat pada *Gambar 1.6*. Gelombang tersebut

Gelombang datang memiliki simpangan :

$$y_1 = A \sin [\omega t - k(\ell - x)]$$

Sedangkan gelombang pantul memiliki simpangan:

$$y_2 = -A \sin [\omega t - k(\ell + x)]$$

bang pantul y_0 di titik p memenuhi :

$$\mathbf{y}_p = \mathbf{y}_1 + \mathbf{y}_2$$

$$= A \sin [\omega t - k(\ell - x)] - A \sin [\omega t - k(\ell + x)]$$

$$\begin{aligned}
 &= 2A \cos \frac{1}{2} (\omega t - kl + kx + \omega t - kl + kx) \cdot \\
 &\quad \sin \frac{1}{2} (\omega t - kl + kx - \omega t + kl + kx) \\
 &= 2A \cos \frac{1}{2} (2\omega t - 2kl) \cdot \sin \frac{1}{2} (2kx)
 \end{aligned}$$

$$y_p = 2A \sin kx \cos (\omega t - kl) \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

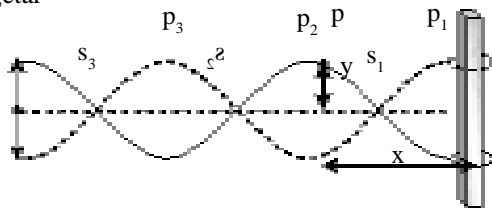
Persamaan 1.8 terlihat bahwa gelombang stationer ujung terikat memiliki amplitudo yang tergabung pada posisinya yaitu memenuhi persamaan berikut.

$$A_p = 2A \sin kx \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

2. Ujung bebas

Gelombang stationer ujung bebas dapat digambarkan seperti pada *Gambar 1.7*.

sumber getar



Gambar 1.7

Gelombang stationer ujung bebas

Gelombang stationer ujung bebas juga terbentuk dari dua gelombang berjalan yaitu gelombang datang dan gelombang pantul.

Gelombang datang : $y_1 = A \sin (\omega t - k(l-x))$

Gelombang pantul : $y_2 = A \sin (\omega t - k(l+x))$

Perpaduannya dapat menggunakan analisa matematis yang sesuai dengan gelombang stationer ujung terikat. Coba kalian buktikan sehingga menghasilkan persamaan berikut.

$$y_p = 2A \cos kx \sin (\omega t - 2kl) ; \text{ dan}$$

$$A_p = 2A \cos kx \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

Jarak perut dan simpul

Pada gelombang stationer terjadi perut dan simpul, perhatikan *Gambar 1.6* dan *1.7*. Jika ingin mengetahui jarak dua titik maka dapat menggunakan sifat bahwa jarak perut dan simpul berdekatan sama dengan $\frac{1}{4} \lambda$.

$$x_{ps} = \frac{1}{4} \ddot{x} \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

CONTOH 1.4

Tali sepanjang 2 m dilihat pada salah satu ujungnya dan ujung lain digetarkan sehingga terbentuk gelombang stationer. Frekuensi getaran 10 Hz dan cepat rambat gelombang 2,5 m/s. Tentukan jarak titik simpul ke-4 dari (a) titik pantul dan (b) titik asal getaran!

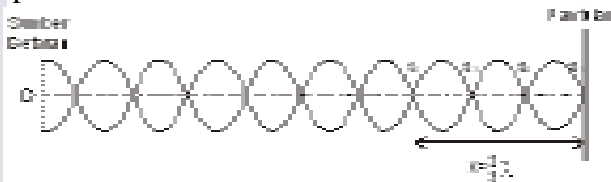
Penyelesaian

$$\ell = 2 \text{ m}$$

$$f = 10 \text{ Hz}$$

$$v = 2,5 \text{ m/s} \longrightarrow \ddot{x} = \frac{v}{f} = \frac{2,5}{10} = 0,25 \text{ m}$$

Perhatikan gambar gelombang stationer yang terjadi seperti *Gambar 1.8*.



← Gambar 1.8

- (a) Simpul ke 4 berjarak x dari pantulan dan besarnya memenuhi :

$$x = \frac{3}{2} \ddot{x} = \frac{3}{2} 0,25 = 0,375 \text{ m}$$

- (b) Jarak simpul ke 4 dari sumber gelombang memenuhi:

$$(\ell - x) = 2 - 0,375 = 1,624 \text{ m}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dengan soal yang sama pada contoh di atas, tentukan jarak :

- Simpul ke-5 dari titik asal
- Perut ke-7 dari titik asal

3. Hukum Melde

Hukum Melde mempelajari tentang besaran-besaran yang mempengaruhi cepat rambat gelombang transversal pada tali. Melalui percobaannya (lakukan kegiatan 1.1), Melde menemukan bahwa cepat rambat gelombang pada dawai sebanding dengan akar gaya tegangan tali dan berbanding terbalik dengan akar massa persatuan panjang dawai.

Dari hasil percobaan itu dapat diperoleh perumusan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} v^2 &\sim \sqrt{F} \\ v^2 &\sim \frac{1}{\mu} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Kegiatan 1.1

Hukum Melde

Tujuan : Menentukan hubungan λ dan F pada dawai yang digetarkan.

Alat dan bahan : Tiker timer, benang, beban, penggaris, power supply.

Kegiatan :

1. Rangkai alat seperti pada *Gambar 1.9*. Kemudian sambungkan tiker timer ke power supply sehingga benang dapat membentuk pola gelombang.



Gambar 1.9

2. Frekuensi gelombang sama dengan frekuensi getaran dan sama pula dengan frekuensi yang dihasilkan power supply biasanya $f = 50$ Hz.
3. Gunakan beban m ($F = mg$) dan ukurlah panjang gelombang λ .
4. Ulangi langkah (1) dan (2) dengan mengubah beban m .

Tugas

1. Catat semua data pada tabel.
2. Buatlah grafik hubungan v^2 dengan F .
3. Buatlah simpulan.

CONTOH 1.5

Cepat rambat gelombang transversal pada dawai yang tegang sebesar 10 m/s saat besar tegangannya 150 N. Jika dawai diperpanjang dua kali dan tegangannya dijadikan 600 N maka tentukan cepat rambat gelombang pada dawai tersebut!

Penyelesaian

Dari soal di atas dapat dibuatkan peta konsep dan beberapa metode penyelesaian seperti di bawah.

$$v_1 = 10 \text{ m/s}, F_1 = 150 \text{ N}, \ell_1 = \ell$$

$$v_2 = ?, F_2 = 600 \text{ N}, \ell_2 = 2\ell$$

Dari data pertama dapat diperoleh massa persatuan panjang :

$$v_1 = \sqrt{\frac{F_1}{\mu_1}} \rightarrow 10 = \sqrt{\frac{150}{\mu_1}}$$

$$100 = \frac{150}{\mu_1} \rightarrow \mu_1 = 1,5 \text{ kg/m}$$

Keadaan kedua

Dawai jenisnya tetap berarti $m_2 = m_1$, sehingga v_2 dapat diperoleh :

$$v_2 = \sqrt{\frac{F_2}{\mu_1}} = \sqrt{\frac{600}{1,5}} = \sqrt{400} = 20 \text{ m/s}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pada percobaan Melde digunakan seutas benang yang panjangnya 2 m dan massanya 10 gram. Jika beban yang digunakan pada percobaan itu 200 gram ($g = 10 \text{ ms}^{-2}$), hitunglah kecepatan gelombang transversal pada benang!

**LATIHAN 1.3**

- Seutas tali yang panjangnya 1,5 m salah satu ujungnya terikat dan ujung lainnya digetarkan terus menerus dengan periode 0,05 detik dan menghasilkan gelombang dengan laju 8 m/s. Setelah terbentuk gelombang stasioner, timbullah daerah simpul dan perut, berapakah jarak antaranya ?
- Seutas dawai yang panjangnya 1 meter dan massanya 25 gram ditekang dengan gaya sebesar 2,5 N. Dawai tersebut digetarkan sehingga menghasilkan gelombang transversal stasioner. Berapakah besar kecepatan rambat gelombang ?
- Seutas tali panjang 40 m digetarkan transversal. Laju rambat gelombang transversal pada tali tersebut 50 m/s. Jika gaya tegangan pada tali tersebut 2,5 N, maka tentukan massa talipersatuan panjang !

D. Sifat-Sifat Gelombang

Kalian tentu sering menemui atau mengamati sifat-sifat gelombang. Sifat-sifat itu dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Gelombang dapat mengalami pemantulan

Semua gelombang dapat dipantulkan jika mengenai penghalang. Contohnya seperti gelombang stationer pada tali. Gelombang datang dapat dipantulkan oleh penghalang. Contoh lain kalian mungkin sering mendengar gema yaitu pantulan gelombang bunyi. Gema dapat terjadi di gedung-gedung atau saat berekreasi ke dekat tebing.

2. Gelombang dapat mengalami pembiasan

Pembiasan dapat diartikan sebagai pembelokan gelombang yang melalui batas dua medium yang berbeda. Pada pembiasan ini akan terjadi perubahan cepat rambat, panjang gelombang dan arah. Sedangkan frekuensinya tetap.

3. Gelombang dapat mengalami pemantulan

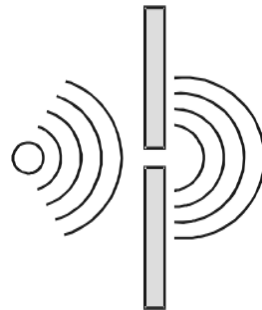
Interferensi adalah perpaduan dua gelombang atau lebih. Jika dua gelombang dipadukan maka akan terjadi dua kemungkinan yang khusus, yaitu saling menguatkan dan saling melemahkan.

Interferensi saling menguatkan disebut *interferensi konstruktif* dan terpenuhi jika kedua gelombang *sefase*.

Interferensi saling melemahkan disebut *interferensi destruktif* dan terpenuhi jika kedua gelombang *berlawanan fase*.

4. Gelombang dapat mengalami difraksi

Difraksi disebut juga pelenturan yaitu gejala gelombang yang melentur saat melalui lubang kecil sehingga mirip sumber baru. Perhatikan *Gambar 1.10*. Gelombang air dapat melalui celah sempit membentuk gelombang baru.



Gambar 1.10
Peristiwa difraksi

Rangkuman Bab 1

1. Gelombang adalah rambat energi getaran.

Besar-besarannya:

- a. periode T
- b. frekuensi f

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

- c. cepat rambat v
 - d. panjang gelombang λ
- $$v = \lambda \cdot f$$

2. Gelombang berjalan:

- a. simpangan

$$y = A \sin (\omega t - kx)$$

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

- b. fase

$$\phi = \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

3. Hukum Melde

Cepat rambat gelombang transversal pada dawai memenuhi:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

4. Sifat-sifat gelombang

Secara gelombang dapat mengalami : pemantulan, pembiasan, interferensi dan difraksi.

Evaluasi Bab

1. Suatu gelombang permukaan air yang frekuensinya 500 Hz merambat dengan kecepatan 350 ms^{-1} . Jarak antara dua titik yang berbeda fase 60° adalah sekitar
A. 64 cm
B. 42 cm
C. 33 cm
D. 21 cm
E. 12 cm
2. Berdasarkan nilai amplitudonya, gelombang dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu
A. gelombang mekanik dan gelombang stasioner
B. gelombang elektromagnetik dan gelombang stasioner
C. gelombang berjalan dan gelombang mekanik
D. gelombang berjalan dan gelombang stasioner
E. gelombang berjalan dan gelombang transversal
3. Suatu gelombang dinyatakan dengan persamaan $y = 0,20 \sin 0,40 \pi (x - 60t)$. Bila semua jarak diukur dalam cm dan waktu dalam sekon, maka pernyataan berikut ini:
(1) panjang gelombang bernilai 5 cm
(2) frekuensi gelombangnya bernilai 12 Hz
(3) gelombang menjalar dengan kecepatan 60 cm s^{-1}
(4) simpangan gelombang 0,1 cm pada posisi $x = 35/12 \text{ cm}$ dan saat $t = 1/24 \text{ sekon}$
yang benar adalah nomor
A. 1, 2, 3 dan 4
B. 1, 2 dan 3
C. 1 dan 3
D. 2 dan 4
E. 4
4. Seutas tali yang panjangnya 4 m kedua ujungnya diikat erat-erat. Kemudian pada tali ditimbulkan gelombang sehingga terbentuk 8 buah perut, maka letak perut kelima dari ujung terjauh adalah
A. 1,50 m
B. 1,75 m
C. 2,00 m
D. 2,25 m
E. 2,50 m
5. Kecepatan rambat gelombang dalam dawai tegang dari bahan tertentu dapat diperkecil dengan
A. memperpendek dawai
B. memperbesar massa dawai per satuan panjang
C. memperbesar luas penampang dawai
D. memperbesar tegangan dawai
E. memperkecil massa jenis dawai
6. Kawat untuk saluran transmisi listrik yang massanya 40 kg diikat antara dua menara tegangan tinggi yang jaraknya 200 m. Salah satu ujung kawat dipukul oleh teknisi yang berada di salah satu menara sehingga timbul gelombang yang merambat ke menara yang lain. Jika gelombang pantul terdeteksi setelah 10 sekon, maka tegangan kawat (dalam newton) adalah
A. 40
B. 60
C. 80
D. 320
E. 420
7. Tali yang panjangnya 5 m bertegangan 2 N dan digetarkan sehingga terbentuk gelombang stasioner. Jika massa tali $6,25 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$, maka cepat rambat gelombang di tali adalah (dalam m/s)
A. 2
B. 5
C. 6
D. 10
E. 40

B A B

2

BUNYI



Sumber: www.jatim.go.id

Apakah yang kalian amati saat melihat orang meniup atau bermain terompet atau seruling? Coba lihat gambar di atas. Mengapa terompet atau seruling itu ada beberapa lubangnya. Mengapa saat ditiup dilakukan penekanan berulang-ulang? Apa saja yang perlu dipelajari pada bab bunyi?

Pertanyaan-pertanyaan di atas dapat kalian pelajari pada bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat:

1. menjelaskan syarat-syarat terdengarnya bunyi,
2. menentukan frekuensi dari nada-nada pada dawai dan pipa organa,
3. menentukan intensitas dan taraf intensitas suatu bunyi,
4. menentukan frekuensi yang diterima pendengar karena efek Doppler,
5. menjelaskan terjadinya pelayangan.

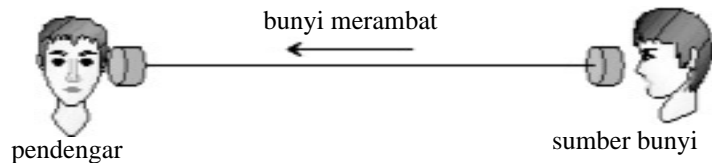
A. Pendahuluan

Kalian tentu tidak asing dengan kata bunyi atau disebut juga suara. Bunyi merupakan salah satu contoh gelombang longitudinal yang membutuhkan medium (disebut gelombang mekanik). Jika kita bercakap-cakap maka bunyi yang kita dengar merambat dari pita suara yang berbicara menuju pendengar melalui medium udara.

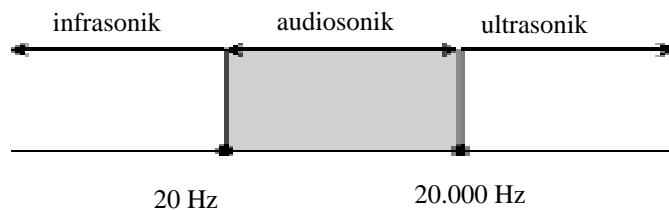
Bagaimana kita dapat mendengar bunyi? Ada beberapa syarat bunyi dapat terdengar telinga kita. *Pertama* adalah adanya sumber bunyi. Misalnya ada gitar yang dipetik, ada yang bersuara dan ada suara kendaraan lewat. *Kedua* : harus ada mediumnya. Ingat sesuai keterangan di atas bunyi termasuk gelombang mekanik berarti membutuhkan medium. Dapatkah astronot bercakap-cakap secara langsung (tidak menggunakan alat elektronika) saat di bulan? Tentu jawabannya tidak karena bulan tidak memiliki atmosfer (tidak ada medium). Bunyi dapat merambat dalam medium udara (zat gas), air (zat cair) maupun zat padat. Pernahkah kalian melihat dua anak bercakap-cakap melalui benang seperti *Gambar 2.1*? Mungkin kalian pernah mencobanya.

Gambar 2.1

Bunyi dapat merambat melalui zat padat (benang).



Ketiga, bunyi dapat didengar telinga jika memiliki frekuensi 20 Hz s.d 20.000 Hz. Batas pendengaran manusia adalah pada frekuensi tersebut bahkan pada saat dewasa terjadi pengurangan interval tersebut karena faktor kebisingan atau sakit. Berdasarkan batasan pendengaran manusia itu gelombang dapat dibagi menjadi tiga yaitu *audiosonik* (20-20.000 Hz), *infrasonik* (di bawah 20 Hz) dan *ultrasonik* (di atas 20.000 Hz).



Gambar 2.2

Pembagian bunyi berdasarkan frekuensinya.

Binatang-binatang banyak yang dapat mendengar di luar audio sonik. Contohnya jangkrik dapat mendengar infrasonik (di bawah 20 Hz), anjing dapat mendengar ultrasonik (hingga 25.000 Hz).

B. Tinggi Nada dan Pola Gelombang

Setiap bunyi yang didengar manusia selalu memiliki frekuensi tertentu. Untuk memenuhi frekuensi yang diharapkan maka munculnya berbagai alat musik, misalnya seruling dan gitar. Saat bermain gitar maka dawaiinya akan dipetik untuk mendapatkan frekuensi yang rendah atau tinggi. Tinggi rendahnya frekuensi bunyi yang teratur inilah yang dinamakan *tinggi nada*. Sedangkan pola-pola terjadinya gelombang disebut *pola gelombang*. Pada saat di SMA kelas XII ini dapat dipelajari tinggi nada dan pola gelombang pada dawai dan pipa organa.

1. Pola Gelombang pada Dawai

Contoh pemanfaatan dawai ini adalah gitar. Pernahkah kalian bermain gitar? Apa yang terjadi saat dawai itu dipetik? Jika ada dawai yang terikat kedua ujungnya maka saat terpetik dapat terjadi pola-pola gelombang seperti pada *Gambar 2.3*.

Kemungkinan pertama terjadi seperti pada *Gambar 2.3(a)*. Pola ini disebut *nada dasar* ($n = 0$). Pada gelombang stasioner terjadi 2 simpul dan 1 perut dan memenuhi $\ell = \frac{1}{2} \lambda$.

Jika dipetik di tengah dawai, maka akan terbentuk pola gelombang seperti *Gambar 2.3(b)*. Ada 3 simpul dan 2 perut. Pola ini dinamakan nada atas pertama ($n = 1$) dan berlaku : $\ell = \lambda$. Sedangkan pada *Gambar 2.3(c)* dinamakan nada atas kedua, $\ell = \frac{3}{2} \lambda$. Jika pola gelombangnya digambarkan terus maka setiap kenaikan satu nada akan bertambah $\frac{1}{2}$ gelombang lagi. Sifat dawai ini dapat dituliskan seperti berikut.

Pola gelombang dawai

nada , $n = 0, 1, 2, \dots$

panjang, $\ell = \frac{1}{2} \lambda, \lambda, \frac{3}{2} \lambda, \dots$

..... (2.1)

Bagaimana jika ingin menghitung frekuensi nadanya? Sesuai sifat gelombang, pada bunyi juga berlaku hubungan $v = \lambda f$. Panjang gelombang λ dapat ditentukan dari persamaan 2.1 sedangkan v dapat ditentukan dari

hukum Melde, $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$. Sehingga frekuensinya

Contohnya pada nada dasar dapat berlaku:

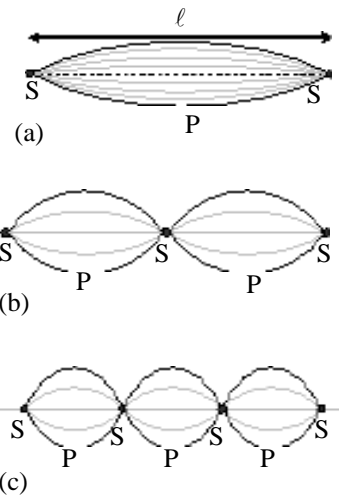
$$\ell = \frac{1}{2} \lambda \rightarrow \lambda = \ell$$

$$f_o = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\frac{F}{\mu}} \quad \text{.....(2.2)}$$

CONTOH 2.1

Dawai sepanjang 20 cm memiliki massa 20 gr. Jika ujung-ujung dawai diikat sehingga memiliki tegangan 30 N maka tentukan :

- panjang gelombang pada nada atas keduanya
- frekuensi nada atas keduanya?



Gambar 2.3

Pola gelombang pada dawai.

Penyelesaian

$$\ell = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

$$m = 20 \text{ gr} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$$

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

- a. Nada atas kedua, $n = 2$

$$\ell_2 = \frac{3}{2} \lambda$$

$$0,6 = \frac{3}{2} \cdot \lambda \rightarrow \lambda = 0,4 \text{ m}$$

- b. Frekuensi nada atas kedua

Cepat rambat gelombang memenuhi hukum Melde :

$$v = \sqrt{\frac{F\ell}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{30 \cdot 0,6}{2 \cdot 10^{-2}}} = 30 \text{ m/s}$$

Berarti frekuensi nada atas kedua sebesar :

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{300}{0,4} = 750 \text{ Hz}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Seutas dawai panjang 80 cm memiliki massa 9 gr. Jika kedua ujungnya dijepit dan ditegangkan dengan tegangan 200 N maka tentukan :

- frekuensi nada dasar
- frekuensi nada atas pertama
- frekuensi nada atas kedua
- perbandingan $f_0 : f_1 : f_2$!

2. Pipa Organa

Kalian tentu pernah melihat seruling atau terompet dan mendengar suaranya. Keduanya merupakan alat musik tiup. Alat musik itulah contoh dari pipa organa. Pipa organa merupakan semua pipa yang berongga didalamnya. Bahkan kalian dapat membuatnya dari pipa paralon.

Pipa organa ini ada dua jenis yaitu *pipa organa terbuka* berarti kedua ujungnya terbuka dan *pipa organa tertutup* berarti salah satu ujungnya tertutup dan ujung lain terbuka. Kedua jenis pipa ini memiliki pola gelombang yang berbeda. Perhatikan penjelasan berikut.

a. Pipa organa terbuka

Apabila pipa organa ditiup maka udara-udara dalam pipa akan bergetar sehingga menghasilkan bunyi. Gelombang yang terjadi merupakan gelombang longitudinal.

Untuk mempermudah melihat pola gelombangnya dapat digambarkan simpangan getarnya partikel-partikel warnanya. Ujung-ujung terbukanya terjadi regangan sehingga terjadi rapatan maupun regangan (simpul dan perut).

Pola gelombang yang terjadi pada organa terbuka dapat terlihat seperti pada Gambar 2.4. Bagian (a) terjadi nada dasar ($n = 0$), $\ell = \frac{1}{2}\lambda$, bagian (b) terjadi nada atas pertama ($n = 1$), $\ell = \lambda$ dan bagian (c) terjadi nada atas kedua ($n = 2$), $\ell = \frac{3}{2}\lambda$. Pola ini jika diteruskan akan selalu bertambah $\frac{1}{2}\lambda$ setiap peningkatan nada ke atas. Dari gambaran itu dapat dirumuskan seperti berikut.

Pipa organa terbuka :

nada : $n = 0, 1, 2, \dots$

panjang : $\ell = \frac{1}{2}\lambda, \lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$

..... (2.3)

Dari persamaan 2.3 ini dapat ditentukan besar frekuensi nadanya dengan persamaan berikut.

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

CONTOH 2.2

Sebuah pipa dari bambu panjangnya 20 cm. Cepat rambat bunyi di udara saat itu 320 m/s. Tentukan panjang gelombang dan frekuensi nada dasar dan nada atas keduanya saat ditiup!

Penyelesaian

$$\ell = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$v = 320 \text{ m/s}$$

■ Nada dasar :

$$\ell = \frac{1}{2}\lambda_0$$

$$\lambda_0 = 2\ell = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ m}$$

$$f_0 = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{320}{0,4} = 800 \text{ Hz}$$

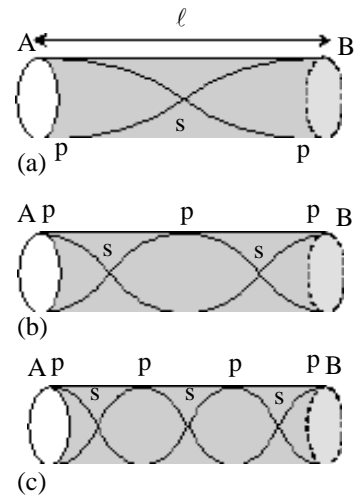
■ Nada atas kedua :

$$\ell = \frac{3}{2}\lambda_2$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2}$$

$$\lambda_2 = \frac{2}{3}\ell = \frac{2}{3} \cdot 0,133 = 0,4 \text{ m}$$

$$= \frac{320}{0,133} = 2400 \text{ Hz}$$



Gambar 2.4

Pola gelombang pada pipa organa terbuka.

Penting

Perbandingan frekuensi pada nada-nada dawai dan pipa organa memiliki pola yang sama.

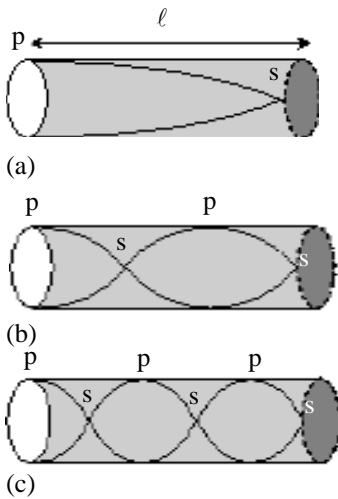
$$f_0 : f_1 : f_2 : \dots = 1 : 2 : 3 : \dots$$

Perbedaan dari kedua sumber bunyi itu adalah pada jumlah simpul dan perutnya. Perhatikan Gambar 2.3 dan Gambar 2.4.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah pipa organa terbuka panjangnya 30 cm. Pada saat ditiupkan udara ternyata kecepatan bunyinya 340 m/s. Tentukan :

- panjang gelombang dan frekuensi nada dasar, atas pertama dan atas kedua.
- tentukan perbandingan $f_0 : f_1 : f_2$!



Gambar 2.5

Pola gelombang pipa organa tertutup.

b. Pipa organa tertutup

Pipa organa tertutup berarti salah satu ujungnya tertutup dan ujung lain terbuka. Saat ditiup maka pada ujung terbuka terjadi regangan dan pada ujung tertutup terjadi rapatan. Pola gelombang simpangan getar partikel udara dapat digambarkan seperti pada *Gambar 2.5*.

Pada *Gambar 2.5(a)* terjadi nada dasar ($n = 0$) $\ell = \frac{1}{4}\lambda$, bagian (b) menunjukkan nada atas pertama ($n = 1$), $\ell = \frac{3}{4}\lambda$, dan bagian (c) menunjukkan nada atas kedua ($n = 2$), $\ell = \frac{5}{4}\lambda$. Pola ini akan terus bertambah $\frac{1}{2}\lambda$ setiap naik satu nada dan dapat dirumuskan sebagai berikut.

Pipa organa tertutup :

$$\text{nada : } n = 0, 1, 2, \dots \quad (2.4)$$

$$\text{panjang : } \ell = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots \quad (2.3)$$

CONTOH 2.3

- Pipa organa tertutup memiliki panjang 18 cm. Pada saat ditiup terjadi nada atas pertama. Jika cepat rambat bunyi di udara saat itu 330 m/s maka tentukan panjang gelombang dan frekuensi nada tersebut!

Penyelesaian

$$\ell = 18 \text{ cm}, \quad n = 1$$

$$v = 330 \text{ m/s}$$

Panjang gelombangnya :

$$\ell = \frac{3}{4}\lambda_1$$

$$\lambda_1 = \frac{4\ell}{3} = \frac{4 \cdot 18}{3} = 24 \text{ cm} = 0,24 \text{ m dan}$$

frekuensinya sebesar :

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{330}{0,24} = 1375 \text{ Hz}$$

2. Pipa organa terbuka dan tertutup ditiup secara bersamaan. Pipa organa terbuka yang panjangnya 30 cm terjadi nada atas kedua. Berapakah panjang pipa organa tertutup yang harus dipakai agar terjadi resonansi pada nada atas pertamanya?

Penyelesaian

$$\ell_A = 30 \text{ cm}, n_A = 2$$

$$\ell_B = ?, n_B = 1$$

Terjadi resonansi berarti $f_A = f_B$ dan juga $\ell_A =$

ℓ_B . Perbandingan panjangnya memenuhi :

$$\frac{\ell_{B1}}{\ell_{A2}} = \frac{\frac{3}{4}\lambda_B}{\frac{3}{2}\lambda_A}$$

$$\frac{\ell_{B1}}{30} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\ell_{B1}}{30} = \frac{1}{2} \text{ berarti } \ell_{B1} = 15 \text{ cm}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Pada pipa organa terbuka nada atas pertama dihasilkan panjang gelombang sebesar 60 cm dan pada pipa organa tertutup nada atas pertama dihasilkan panjang gelombang sebesar λ . Bila kedua pipa panjangnya sama, maka berapakah nilai ?



ATIHAN 1

- Dawai piano yang panjangnya 0,5 m dan massanya 10^{-2} kg ditegangkan 200 N, maka saat dipetik akan menghasilkan nada-nada. Tentukan :
 - frekuensi nada dasar dan
 - frekuensi nada atas kedua yang dihasilkan piano !
- Seutas dawai panjangnya 90 cm bergetar dengan nada atas pertama berfrekuensi 300 Hz, maka tentukan :
 - panjang gelombang di dawai,
 - cepat rambat gelombang pada dawai,
 - frekuensi nada dasar dawai,
 - frekuensi nada atas kedua dawai!
- Sebuah pipa organa terbuka yang memiliki panjang 60 cm menghasilkan suatu nada. Cepat rambat bunyi di udara 300 m/s. Jika pipa tersebut menghasilkan nada atas kedua maka berapakah frekuensi gelombang bunyi yang terjadi?
- Pada suatu pipa organa terbuka dengan panjang 40 cm di dalamnya terjadi dua buah simpul. Nada dari pipa ini beresonansi dengan pipa organa lain yang tertutup serta membentuk empat simpul, maka berapakah panjang pipa organa tertutup itu?
- Dua pipa organa terbuka panjang dan suhunya sama ditiup seorang anak secara bergantian. Pipa organa pertama menghasilkan nada atas pertama sedang pipa organa kedua menghasilkan nada atas kedua. Tentukan perbandingan frekuensi pipa organa pertama dan kedua!
- Pada suatu hari ketika laju rambat bunyi sebesar 345 m/s, frekuensi dasar suatu pipa organa yang tertutup salah satu ujungnya adalah 220 Hz. Jika nada atas kedua pipa organa tertutup ini panjang gelombangnya sama dengan nada atas ketiga suatu pipa organa yang terbuka kedua ujungnya, maka berapakah panjang pipa organa terbuka itu ?

C. Intensitas dan Taraf Intensitas

1. Intensitas Bunyi

Gelombang merupakan rambatan energi getaran. Jika ada gelombang tali berarti energinya dirambatkan melalui tali tersebut. Bagaimana dengan bunyi? Bunyi dirambatkan dari sumber ke pendengar melalui udara. Yang menarik bahwa bunyi disebarkan dari sumber ke segala arah.

Jika seseorang berdiri berjarak R dari sumber akan mendengar bunyi maka bunyi itu telah tersebar membentuk luasan bola dengan jari-jari R . Berarti energi yang diterima pendengar itu tidak lagi sebesar sumbernya. Sehingga yang dapat diukur adalah *energi yang terpancarkan tiap satu satuan waktu tiap satu satuan luas yang dinamakan dengan intensitas bunyi*. Sedangkan kalian tentu sudah mengenal bahwa besarnya energi yang dipancarkan tiap satu satuan waktu dinamakan dengan daya. Berarti intensitas bunyi sama dengan daya persatuan luas. Perhatikan persamaan berikut.

Penting

Perhatikan persamaan 2.4 jika $A = 4\pi R^2$ maka persamaan

$$\text{menjadi : } \frac{P}{4\pi R^2}$$

Hubungan ini menjelaskan bahwa :

$$I \sim \frac{1}{R^2} \quad \text{atau} \quad \frac{I_1}{I_2} = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2$$

$$I = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan : I = intensitas bunyi (watt/m²)

P = daya bunyi (watt)

A = luasan yang dilalui bunyi (m²)

$A = 4\pi R^2$ (untuk bunyi yang menyebar ke segala arah)

Untuk mencermati intensitas ini dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 2.4

Sebuah sumber bunyi memiliki daya 10π watt dipancarkan secara sferis ke segala arah. Tentukan intensitas bunyi yang terukur oleh pendeteksi yang diletakkan di titik :

- A berjarak 10 m dari sumber,
- B berjarak 20 m dari sumber!

Penyelesaian

$$P = 10\pi \text{ watt}$$

$$R_A = 10 \text{ m}$$

$$R_B = 20 \text{ m}$$

- Intensitas di titik A sebesar :

$$I_A = \frac{P}{4\pi R_A^2}$$

$$= \frac{10\pi}{4\pi(10)^2} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ watt/m}^2$$

b. Intensitas di titik B :

Daya bunyi tetap berarti berlaku hubungan :

$$I = \frac{P}{4\pi R_A^2}$$

$$I \sim \frac{1}{R^2}$$

Dari hubungan di atas dapat ditentukan intensitas di titik B sebagai berikut.

$$\frac{I_B}{I_A} = \left(\frac{R_A}{R_B} \right)^2$$

$$\begin{aligned} I_B &= \left(\frac{10}{20} \right)^2 \cdot I_A \\ &= \frac{1}{4} \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} = 6,25 \cdot 10^{-3} \text{ watt/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah alat ukur intensitas menunjukkan nilai $2 \cdot 10^{-6}$ watt/m² saat berada pada jarak 5 m. Tentukan :

- daya sumber bunyi,
- intensitas pada titik yang berjarak 15 m dari sumber!

2. Taraf Intensitas Bunyi

Kalian tentu pernah mendengar bunyi dalam ruangan yang bising. Tingkat kebisingan inilah yang dinamakan dengan taraf intensitas. Taraf intensitas didefinisikan sebagai sepuluh kali logaritma perbandingan intensitas dengan intensitas ambang pendengaran.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan : TI = taraf intensitas (dB)

I = intensitas (watt/m²)

I₀ = intensitas ambang pendengar (10⁻¹² watt/m²)

Dari persamaan 2.5 dapat dikembangkan untuk menentukan taraf intensitas dari kelipatan intensitasnya. Misalnya ada n buah sumber bunyi yang terdengar bersamaan maka I_n = n I dan taraf intensitasnya TI_n memenuhi persamaan berikut.

Penting

Taraf intensitas memiliki satuan sesuai dengan nama penemu telepon :

Alexander Graham Bell

1 bell = 10 dB

$$\begin{aligned}
 TI_n &= 10 \log \frac{nI}{I_0} \\
 &= 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 \log n
 \end{aligned}$$

$$TI_n = TI_1 + 10 \log n \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan menggunakan sifat logaritma yang sama dapat ditentukan taraf intensitas oleh kelipatan jarak $k = \frac{R_2}{R_1}$. Nilainya seperti persamaan berikut.

$$TI_2 = TI_1 - 20 \log k \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

CONTOH 2.5

Seekor tawon yang berjarak 2 m dari pendeteksi memiliki taraf intensitas 40 dB. Tentukan :

- intensitas bunyi tawon pada tempat itu,
- taraf intensitas jika ada 1000 tawon,
- taraf intensitas jika seekor tawonnya berjarak 20 m.

Penyelesaian

$$\begin{aligned}
 R_1 &= 2 \text{ m} \\
 TI_1 &= 40 \text{ dB} \\
 n &= 1000 \\
 R_2 &= 20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- a. Intensitas bunyi tawon memenuhi :

$$\begin{aligned}
 TI &= 10 \log \frac{I}{I_0} \\
 40 &= 10 \log \frac{I}{I_0} \\
 \frac{I}{I_0} &= 10^4
 \end{aligned}$$

$$I = 10^4 \cdot I_0 = 10^4 \cdot 10^{-12} = 10^{-8} \text{ watt/m}^2$$

- b. Taraf intensitas 1000 tawon memenuhi :

$$\begin{aligned}
 TI_n &= TI_1 + 10 \log n \\
 &= 40 + 10 \log 1000 = 70 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

- c. Taraf intensitas pada jarak R_2

$$k = \frac{R_2}{R_1} = \frac{20}{2} = 10$$

$$TI_2 = TI_1 - 20 \log k$$

$$= 40 - 20 \log 10 = 20 \text{ dB}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Taraf intensitas yang dihasilkan oleh sebuah mesin tik sama dengan 70 dB. Jika pada suatu kantor terdapat 100 mesin tik dan dibunyikan secara bersamaan maka tentukan :

- intensitas satu mesin ketik,
- taraf intensitas 100 mesin ketik,
- taraf intensitas 100 mesin ketik saat pendeteksinya di jauhkan pada jarak 10 kali lebih jauh !



LATIHAN 2

- Sebuah sumber bunyi memancarkan suara dengan nada 100 watt. Bunyi tersebut ke segala arah sama rata. Pada jarak 10 meter dari sumber tersebut seseorang mendengarkan sedemikian hingga penampang pendengarannya tegak lurus dengan arah perambatan bunyi. Berapakah intensitas bunyi yang masuk ke dalam telinga pendengar itu ?
- Sebuah alat ukur intensitas diletakkan pada 3 m dari suatu sumber bunyi, intensitas yang diterima pada jarak ini adalah $5 \times 10^{-2} \text{ watt/m}^2$. Agar intensitas bunyi yang diterima menjadi $1,25 \times 10^{-2} \text{ watt/m}^2$, maka tentukan pergeseran alat ukur tersebut !
- Suatu gelombang gempa terasa di Malang dengan intensitas $6 \times 10^5 \text{ W/m}^2$. Sumber gempa berasal dari suatu tempat yang berjarak 300 km dari Malang. Jika jarak antara Malang dan Surabaya sebesar 100 km dan ketiga tempat itu membentuk segitiga siku-siku dengan sudut siku-siku di Malang, maka berapakah intensitas gempa yang terasa di Surabaya ?
- Suatu sumber bunyi titik dengan daya 12,56 watt memancarkan gelombang bunyi berupa gelombang sferis (bola). Hitunglah intensitas bunyi yang didengar oleh pendengar yang berjarak 10 meter dari sumber !
- Sebuah mesin jahit yang sedang bekerja menghasilkan intensitas bunyi sebesar $2 \cdot 10^{-9} \text{ W/m}^2$. Jika intensitas ambang bunyi $= 10^{-12} \text{ W/m}^2$ maka berapakah taraf intensitas bunyi yang dihasilkan dari 5 mesin jahit sejenis yang sedang bekerja bersamaan ?
- Jika sebuah sepeda motor melewati seseorang, maka ia menimbulkan taraf intensitas sebesar 90 dB. Bila sekaligus orang itu dilewati 10 sepeda motor seperti itu, maka berapakah taraf intensitas yang ditimbulkannya ?
- Taraf intensitas bunyi suatu ledakan pada jarak 12 meter dari sumbernya adalah 80 dB. Berapakah taraf intensitas bunyi pada suatu tempat yang berjarak 120 meter dari sumber ledakan ?

D. Efek Doppler dan Pelayangan

1. Efek Doppler

Pernahkan kalian mendengar efek Doppler? Istilah ini diambil dari nama seorang fisikawan Austria, *Christian Johann Doppler* (1803-1855). Doppler menemukan adanya perubahan frekuensi yang diterima pendengar dibanding dengan frekuensi sumbernya akibat gerak relatif pendengar dan sumber. Gejala perubahan frekuensi inilah yang dikenal sebagai *efek Doppler*.

Contoh gejala ini dapat digambarkan seperti pada *Gambar 2.6* pada bagian (a) sumber mampu menerima A dan B diam atau relatif diam maka frekuensi bunyi yang diterima A dan B akan sama dengan yang dipancarkan oleh sumber. Bagaimana dengan bagian (b), sumber bunyi bergerak ke arah B dengan kecepatan v_s . Saat sumber dan penerima relatif bergerak ke arah B maka penerima akan mendapat frekuensi bunyi lebih besar dari sumber, sedangkan penerima A lebih kecil.

Menurut Doppler, perubahan frekuensi bunyi itu memenuhi hubungan : kecepatan relatifnya sebanding dengan frekuensi.

$$f \sim \Delta v$$

$$\frac{f_p}{f_s} = \frac{\Delta v_p}{\Delta v_s}$$

Δv adalah kecepatan relatif bunyi terhadap pandangan. Nilainya dapat dituliskan juga $\Delta v_p = v \pm v_p$. Berarti berlaku juga $\Delta v_s = v \pm v_s$. Dengan substitusi nilai Δv_p dan Δv_s dapat diperoleh persamaan efek Doppler seperti berikut.

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \cdot f_s \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan : f_p = frekuensi bunyi yang diterima pendengar (Hz)

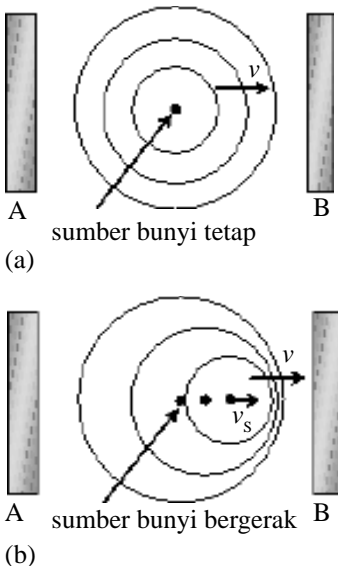
f_s = frekuensi bunyi sumber (Hz)

v = cepat rambat bunyi di udara (m/s)

v_s = kecepatan sumber bunyi (m/s)

v_p = kecepatan pendengar (m/s)

(\pm) = operasi kecepatan relatif, (+) untuk kecepatan berlawanan arah dan (-) untuk kecepatan searah



Gambar 2.6
Peristiwa efek Doppler

CONTOH 2.6

1. Mobil ambulan bergerak dengan kecepatan 20 m/s sambil membunyikan sirinnya yang memiliki frekuensi 1080 Hz. Pada saat itu ada seseorang yang mengendarai sepeda motor sedang berpapasan dengan ambulan.

Kecepatan sepeda motornya 10 m/s. Berapakah frekuensi sirine yang diterima pengendara sepeda motor itu jika kecepatan bunyi saat itu 340 m/s?

Penyelesaian

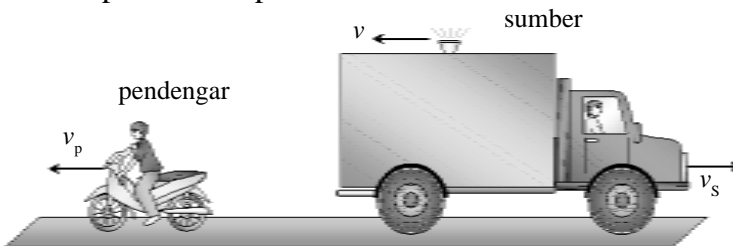
$$v = 340 \text{ m/s}$$

$$v_s = 20 \text{ m/s},$$

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

$$f_s = 1080 \text{ Hz}$$

Perhatikan gambar gerak relatif mobil ambulan dan sepeda motor pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7
Gerak relatif

v_p searah v ($v - v_p$) dan v_s berlawanan v ($v + v_s$) berarti frekuensi yang diterima pengendara sepeda motor memenuhi :

$$\begin{aligned} f_p &= \frac{v - v_p}{v + v_s} \cdot f_s \\ &= \frac{340 - 10}{340 + 20} \cdot 1000 \\ &= 990 \text{ Hz} \end{aligned}$$

2. Sebuah sumber bunyi dengan frekuensi 1024 Hz bergerak mendekati pendengar dengan kecepatan 34 m/s. Kecepatan rambat bunyi di udara 340 m/s. Jika pendengar menjauhi sumber bunyi dengan kecepatan 17 m/s, maka berapa frekuensi bunyi yang diterima pendengar?

Penyelesaian

$$f_s = 1024 \text{ Hz},$$

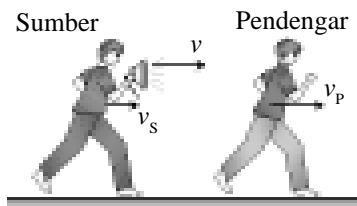
$$v = 340 \text{ m/s}$$

$$v_p = 17 \text{ m/s},$$

$$v_s = 34 \text{ m/s}$$

v_s dan v_p sama-sama searah dengan v , maka :

$$\begin{aligned} f_p &= \frac{v - v_p}{v - v_s} \cdot f_s \\ &= \frac{340 - 17}{340 - 34} \cdot 1024 \\ &= 1080 \text{ Hz} \end{aligned}$$



Gambar 2.8
Sumber mendekati pendengar

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Seseorang meniup terompet dengan frekuensi 1008 Hz sambil bergerak dengan kecepatan 4 m/s menuju pendengar yang mendekatinya dengan kecepatan 2 m/s. Apabila cepat rambat bunyi di udara 340 m/s berapakah frekuensi yang di dengar pengamat ?

2. Pelayangan

Pelayangan adalah peristiwa perubahan frekuensi bunyi yang berubah ubah dengan tajam karena ada dua sumber bunyi dengan perbedaan frekuensi yang kecil. Berarti pelayangan terjadi jika perbedaan frekuensi kedua sumbernya kecil. Perbedaan frekuensi atau frekuensi pelayangan itu memenuhi hubungan berikut.

$$\Delta f = |f_2 - f_1| \dots\dots\dots (2.9)$$

CONTOH 2.7

Pipa organa A menghasilkan frekuensi $f_A = 1005$ Hz, pipa organa B menghasilkan frekuensi $f_B = 1000$ Hz dan pipa organa C menghasilkan frekuensi $f_C = 500$ Hz. Pipa organa mana yang saat dibunyikan bersama-sama dapat menimbulkan pelayangan? Berapakah frekuensi pelayangannya?

Penyelesaian

$$f_A = 1005 \text{ Hz}$$

$$f_B = 1000 \text{ Hz}$$

$$f_C = 500 \text{ Hz}$$

Terjadi pelayangan jika beda frekuensinya kecil berarti yang dapat menghasilkan pelayangan adalah pipa organa A dan pipa organa B.

$$\begin{aligned} \Delta f &= |f_A - f_B| \\ &= |(1005 - 1000)| = 5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dua pipa organa terbuka masing – masing panjangnya 1,00 meter dan 1,02 meter berbunyi pada nada dasarnya. Jika cepat rambat bunyi di udara 306 m/s, maka tentukan pelayangan yang akan terjadi !



LATIHAN 3

1. Tentukan pernyataan berikut ini benar atau salah untuk frekuensi bunyi dari suatu sumber bunyi oleh seorang pendengar.
 - a. akan terdengar bertambah, jika sumber dan pendengar bergerak searah dengan pendengar di depan, dan kelajuan sumber lebih besar daripada kelajuan pendengar
 - b. akan terdengar bertambah, jika sumber diam dan pendengar mendekati sumber
 - c. akan terdengar berkurang, jika pendengar diam dan sumber bunyi menjauhi pendengar
 - d. akan terdengar tetap, jika sumber bunyi dan pendengar diam tetapi medium bergerak relatif menuju pendengar
2. Sebuah truk bergerak dengan kecepatan 36 km/jam dibelakang sepeda motor. Pada saat truk mengeluarkan bunyi klakson dengan frekuensi 1.000 Hz, pengemudi sepeda motor membaca pada spidometer angka 72 km/jam. Apabila kecepatan bunyi 340 ms⁻¹, maka pengemudi sepeda motor akan mendengar klakson pada frekuensi f . Berapakah f tersebut ?
3. Sebuah mobil bergerak dengan kecepatan 20 m/s menjauhi seseorang yang sedang duduk di tepi jalan, sambil membunyikan klakson dengan frekuensi 400 Hz. Pada saat itu cepat rambat bunyi di udara 380 m/s, maka tentukan frekuensi klakson yang terdengar oleh orang tersebut !
4. Perubahan frekuensi suatu bunyi yang sumbernya bergerak mendekati pendengar diketahui 1 % dari frekuensi asalnya. Bila kecepatan rambat bunyi di udara adalah 300 m/s, maka hitunglah kecepatan sumber bunyi tersebut relatif terhadap pendengar !
5. Si X berdiri di samping sumber bunyi yang frekuensinya 676 hertz. Sebuah sumber bunyi lain dengan frekuensi 676 hertz mendekati Si X dengan kecepatan 2 m/detik. Bila kecepatan merambat bunyi di udara adalah 340 m/detik, maka berapakah frekuensi layangan yang didengar si X ?
6. Dua buah dawai baja yang identik menghasilkan nada dasar dengan frekuensi 60 Hz. Bila tegangan salah satu dawai dikurangi 19% dan kedua dawai digetarkan bersama-sama, maka tentukan frekuensi layangan yang terjadi!

Rangkuman Bab 2

1. Pola gelombang pada dawai dan pipa organa memenuhi sifat-sifat berikut.

- a. nada-nadanya pada dawai dan pipa organa terbuka semua.

$$\text{nada, } n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\text{panjang, } \ell = \frac{1}{2}\lambda, \lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$$

- b. nada-nada pada pipa organa tertutup

$$\text{nada, } n = 0, 1, 2, \dots$$

$$\text{panjang, } \ell = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots$$

- c. frekuensi nadanya memenuhi :

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

untuk dawai v dapat ditentukan dari hukum Melde.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

2. Intensitas bunyi adalah besarnya energi yang dipancarkan tiap satu satuan waktu tiap satu satuan luas.

$$I = \frac{P}{A}$$

$A = 4\pi R^2$ (luasan bila gelombang sferis)

3. Taraf intensitas bunyi memenuhi definisi berikut.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

I_0 = intensitas ambang (10^{-12} watt/m²)

- a. untuk kelipatan jarak (n buah)

$$TI_n = TI_1 + 10 \log h$$

- b. untuk kelipatan jarak

$$TI_2 = TI_1 - 20 \log k \left(k = \frac{R_2}{R_1} \right)$$

4. Efek Doppler adalah efek perubah frekuensi yang diterima dari sumber karena gerak relatif.

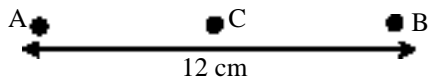
$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \cdot f_s$$

5. Pelayangan adalah perbedaan frekuensi dua sumber yang kecil.

$$\Delta f = |f_2 - f_1|$$

Evaluasi Bab

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

- Seutas dawai panjangnya 1,80 meter. Jika tegangan dawai diatur sedemikian hingga kecepatan gelombang transversal yang dihasilkannya adalah 900 m/s, maka frekuensi nada atas pertama adalah
 A. 640 Hz D. 250 Hz
 B. 500 Hz E. 125 Hz
 C. 320 Hz
- Pipa organa terbuka yang panjangnya 25 cm menghasilkan frekuensi nada dasar sama dengan frekuensi yang dihasilkan oleh dawai yang panjangnya 150 cm. Jika cepat rambat bunyi di udara 340 ms^{-1} dan cepat rambat gelombang transversal pada dawai 510 ms^{-1} maka dawai menghasilkan
 A. nada dasar
 B. nada atas pertama
 C. nada atas kedua
 D. nada atas ketiga
 E. nada atas keempat
- Bila tegangan suatu dawai gitar menjadi 4 kali lebih besar, maka nadanya mempunyai frekuensi yang
 A. 4 kali lebih tinggi
 B. 2 kali lebih tinggi
 C. 4 kali lebih rendah
 D. 2 kali lebih rendah
 E. 16 kali lebih tinggi
- Apabila kita hendak menaikkan tinggi nada dari suatu dawai maka dapat dilakukan dengan cara
 A. panjang dawai diperbesar
 B. panjang dawai diperkecil
 C. penampang dawai diperbesar
 D. tegangan dawai diperkecil
 E. dawai diganti dengan dawai yang lain jenisnya
- Jika sebuah pipa organa tertutup ditiup sehingga timbul nada atas ketiga, maka jumlah perut dan simpul yang terjadi berturut-turut adalah
 A. 3 dan 3 D. 4 dan 5
 B. 3 dan 4 E. 5 dan 4
 C. 4 dan 4
- Nada dasar sebuah pipa organa tertutup beresonansi dengan nada atas pertama sebuah pipa organa terbuka. Apabila panjang tabung pipa organa terbuka 50 cm, maka panjang tabung pipa organa tertutup adalah
 A. 2 m D. 0,25 m
 B. 1 m E. 0,125 m
 C. 0,05 m
- Intensitas bunyi dapat ditingkatkan dengan :
 A. memperbesar frekuensi dan amplitudonya
 B. memperbesar frekuensinya saja
 C. memperkecil frekuensi dan amplitudonya saja
 D. memperbesar amplitudonya saja
 E. memperkecil amplitudonya dan memperbesar frekuensinya
- Sebuah sumber gelombang bunyi dengan daya 50W memancarkan gelombang ke medium sekelilingnya yang homogen. Tentukan intensitas radiasi gelombang tersebut pada jarak 10 m dari sumber !
 A. $4 \cdot 10^{-2} \text{ W/m}^2$ D. $4 \cdot 10^3 \text{ W/m}^2$
 B. 400 W/m^2 E. 200 W/m^2
 C. 40 W/m^2
- Perhatikan gambar di bawah! A dan B merupakan sumber bunyi yang memancar ke segala arah. Energi bunyi yang dipancarkan A dan B masing-masing 1,6 W dan 6,4 W. Agar intensitas bunyi yang diterima C maka dari A harus berjarak


- A. 10 m
B. 8 cm
C. 6 cm
- D. 4 cm
E. 2 cm
10. Sebuah sumber bunyi dengan daya 314 watt merambatkan energinya ke segala arah sama besar. Seorang pengamat mendeteksi taraf intensitasnya pada suatu tempat sebesar 100 dB. Jarak pengamat dengan sumber bunyi jika intensitas ambang $I_0 = 10^{-16}$ watt/cm² adalah
A. 50 m
B. 100 m
C. 5000 m
D. 250 m
E. 1000 m
11. Taraf intensitas bunyi sebuah mesin rata-rata 50 dB. Apabila 100 mesin dihidupkan bersamaan, maka taraf intensitasnya adalah
A. 20 dB
B. 50 dB
C. 70 dB
D. 75 dB
E. 150 dB
12. Agar taraf intensitas berkurang 20 dB, jarak ke sumber bunyi harus dijadikan ... kali semula.
A. 2
B. 10
C. 20
D. 100
E. 200
13. Taraf intensitas bunyi suatu tempat yang berjarak 5 m dari sumber bunyi sebesar 70 dB. Tempat yang berjarak 0,5 m dari sumber bunyi bertaraf intensitas sebesar
A. 9 dB
B. 80 dB
C. 90 dB
D. 100 dB
E. 110 dB
14. Garpu tala X dan Y bila dibunyikan bersama-sama akan menghasilkan 300 layangan per menit. Garpu X memiliki frekuensi 300 Hz. Apabila garpu Y ditemplei setetes lilin, akan menghasilkan 180 layangan per menit dengan garpu X. Frekuensi asli dari garpu Y adalah
A. 295 Hz
B. 297 Hz
C. 303 Hz
D. 305 Hz
E. 308 Hz
15. Jika sumber bunyi bergerakh dengan kecepatan v mendekati pendengar yang diam, dibandingkan dengan sumber bunyi diam dan pendengar mendekati sumber bunyi dengan kecepatan yang sama, maka terdengar bunyi
A. yang pertama lebih tinggi daripada yang kedua
B. yang pertama lebih keras daripada yang kedua
C. sama tinggi
D. yang pertama lebih lemah daripada yang kedua
E. yang pertama lebih rendah daripada yang kedua
16. Sumber bunyi yang memancarkan bunyi dengan panjang gelombang 10 cm dan pendengar bergerak saling menjahui dengan kecepatan masing-masing 60 m/s dan 40 m/s. Kecepatan rambatan bunyi di udara 340 m/s. Frekuensi bunyi yang didengar adalah
A. 3400 Hz
B. 3230 Hz
C. 3643 Hz
D. 4533 Hz
E. 2550 Hz
17. Suatu sumber bunyi dengan frekuensi 7200 Hz, bergerak berlawanan arah dengan pendengar yang bergerak dengan kelajuan 25 m/s, ternyata frekuensi bunyi yang didengar adalah 6300 Hz. Jika kelajuan perambatan bunyi di udara adalah 340 m/s, maka kecepatan sumber bunyi adalah
A. 30 m/s
B. 25 m/s
C. 24 m/s
D. 20 m/s
E. 15 m/s
18. Mobil A mendekati pengamat (diam) dengan kecepatan 30 m/s sambil membunyikan sirine berfrekuensi 504 Hz. Saat itu juga mobil B mendekati P dari arah yang berlawanan dengan A, pada kecepatan 20 m/s sambil membunyikan sirine berfrekuensi 518 Hz. Jika cepat rambat bunyi di udara saat ini 300 m/s maka frekuensi layangan yang didengar P adalah
A. 14 Hz
B. 10 Hz
C. 7 Hz
D. 5 Hz
E. 4 Hz

B A B

4

LISTRIK STATIS



Sumber: www.angkasa-online.com

Kalian tentu tidak asing dengan petir. Kejadiannya saat mendengar waktu hujan, cukup menakutkan. Petir inilah contoh dari kejadian listrik statis. Ada muatan-muatan yang bergerak pada saat itu dan memunculkan cahaya yang disebut kilat. Apa sebenarnya muatan itu, apa yang terjadi diantara muatan? Mengapa bisa bergerak bagaimana besaran-besaran yang dimiliki.

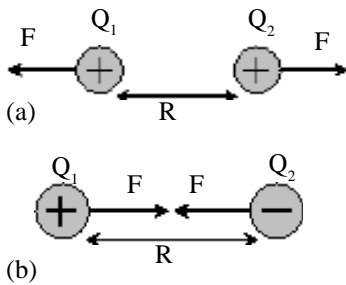
Semua hal di atas itulah yang dapat kalian pelajari pada bab ini. Oleh sebab itu setelah belajar bab ini diharapkan kalian dapat :

1. menerapkan hukum Coulomb pada permasalahan gaya dan medan listrik,
2. menentukan potensial dan energi potensial yang dimiliki suatu muatan,
3. menerapkan hukum Gauss pada bab induktor dan keping sejajar,
4. menerapkan hukum-hukum listrik statis pada kapasitor.

A. Hukum Coulomb

1. Gaya Coulomb

Kalian tentu sudah mengenal ada proton dan elektron. Proton bermuatan positif dan elektron bermuatan negatif. Jika sebuah benda mengandung lebih banyak proton karena kehilangan elektronnya maka benda tersebut akan bermuatan positif. Begitu pula sebaliknya benda akan bermuatan negatif jika menangkap elektron sehingga kelebihan elektron. Apa yang terjadi jika benda-benda bermuatan itu didekatkan? Kejadian inilah yang telah dijawab oleh coulomb.



Gambar 4.1

(a) muatan sejenis tolak menolak (b) muatan tak sejenis tarik menarik.

Menurut Coulomb, dua muatan yang didekatkan akan bekerja gaya tarik atau gaya tolak yang besarnya sebanding dengan perkalian kedua muatannya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jaraknya. Dari penjelasan ini dapat dirumuskan seperti berikut.

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{R^2} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

dengan : F = gaya tarik / tolak (N)
 Q_1, Q_2 = muatan listrik (coulomb)
 R = jarak antara dua muatan (m)
 k = $9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Persamaan 4.1 inilah yang kemudian dikenal sebagai *hukum Coulomb*.

Sama dengan jenis gaya yang lain, gaya elektrostatik atau gaya Coulomb juga merupakan besaran vektor. Besarnya sesuai dengan persamaan 4.1 dan arahnya sesuai pada *Gambar 4.1*.

CONTOH 4.1

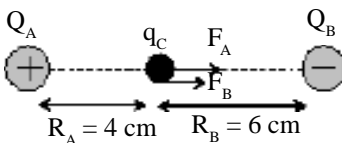
Dua muatan A dan B berjarak 10 cm satu dengan yang lain. $Q_A = +16 \mu\text{C}$ dan $Q_B = -18 \mu\text{C}$. Jika muatan $q_C = 2 \mu\text{C}$ diletakkan diantara A dan B berjarak 4 cm dari A maka tentukan gaya yang dimuat muatan q_C !

Penyelesaian

$$\begin{aligned} Q_A &= +16 \mu\text{C} = 16 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ Q_B &= -18 \mu\text{C} = -18 \cdot 10^{-6} \text{ C} \\ q_C &= 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} \end{aligned}$$

Posisi muatan q_C dan gaya yang bekerja dapat digambarkan seperti pada *Gambar 4.2*. q_C tertolak A (F_A) dan tertarik B (F_B). Karena arahnya sama maka berlaku :

$$F_C = F_A + F_B$$



Gambar 4.2

Gaya yang bekerja pada q_C

$$\begin{aligned}
 &= k \frac{q_C Q_A}{R_A^2} + k \frac{q_C Q_B}{R_B^2} \\
 &= k q_C \left(\frac{Q_A}{R_A^2} + \frac{Q_B}{R_B^2} \right) \\
 &= 9 \cdot 10^9 \cdot (2 \cdot 10^{-6}) \left(\frac{16 \cdot 10^{-6}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} + \frac{18 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-2})^2} \right) \\
 &= 18 \cdot 10^3 (10^{-2} + \frac{1}{2} \cdot 10^{-2}) \\
 &= 270 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Muatan $Q_A = -40 \mu\text{C}$ dan $Q_B = +180 \mu\text{C}$ berjarak 50 cm. Muatan $Q_C = -10 \mu\text{C}$ ditempatkan segaris AB berjarak 20 cm dari A. Tentukan gaya yang diambil muatan Q_C !

Vektor gaya elektrostatik ini akan lebih dipahami lagi pada muatan-muatan yang tidak segaris. Jika sebuah muatan dipengaruhi beberapa gaya tidak segaris, tentu kalian sudah bisa menganalisisnya, resultan gaya yang dirasakan muatan tersebut dapat ditentukan dengan metode jajargenjang, analisis atau poligon.

Perhatikan contoh berikut.

CONTOH 4.2

Tiga muatan $q_A = 4 \mu\text{C}$, $q_B = -\mu\text{C}$ dan $q_C = +2 \mu\text{C}$ ditempatkan pada segitiga sama sisi seperti pada Gambar 4.3 (a). Tentukan gaya yang dirasakan muatan q_C !

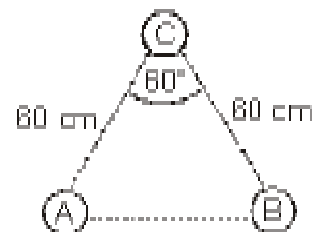
Penyelesaian

Muatan C dipengaruhi dua gaya F_{AC} tolak menolak (muatan sejenis) dan F_{BC} tarik menarik (muatan berlainan jenis). Besar kedua gaya itu memenuhi :

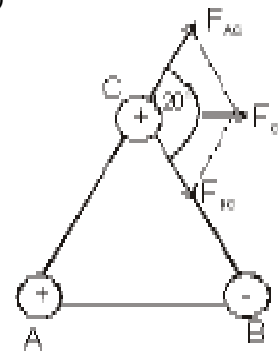
$$\begin{aligned}
 F_{AC} &= k \frac{q_A q_C}{R_{AC}^2} \\
 &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0,6)^2} = 0,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Besar q_B sama dengan q_A dan jaraknya ke q_C juga sama berarti besar gaya yang dirasakan sama. Jenis berbeda akan mempengaruhi arahnya.

Berarti $F_{BC} = F_{AC} = 0,2 \text{ N}$.



(a)



(a)

Gambar 4.3

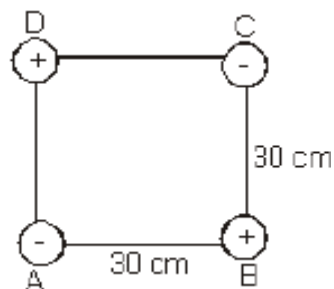
F_{BC} dan F_{AC} membentuk sudut 120° maka resultannya dapat menggunakan metode jajar genjang seperti pada *Gambar 4.3 (b)*.

$$\begin{aligned} F_C^2 &= F_{AC}^2 + F_{BC}^2 + 2F_{AC} \cdot F_{BC} \cos 120^\circ \\ &= 0,22 + 0,22 + 2 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \left(-\frac{1}{2}\right) \\ &= 0,04 + 0,04 - 0,04 \\ &= 0,04 \end{aligned}$$

Jadi $F_C = \sqrt{0,04} = 0,2 \text{ N}$.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Empat muatan titik $q_A = q_C = -2\mu\text{C}$ dan $q_B = q_D = +2\mu\text{C}$ ditempatkan di titik sudut persegi yang sisinya 30 cm seperti pada *Gambar 4.4*. Tentukan gaya yang dirasakan muatan q_A !



Gambar 4.4

Kegiatan 4.1

Titik Keseimbangan

Tujuan : Menentukan letak titik yang tidak dipengaruhi gaya.

Persoalan : Dua muatan $q_A = -4 \mu\text{C}$ dan $q_B = +9 \mu\text{C}$ terpisah pada jarak 20 cm. Tentukan letak titik $q_C = +2 \mu\text{C}$ agar tidak dipengaruhi gaya dari resultan q_A dan q_B !

Kegiatan :

1. Gambarlah muatan titik q_A dan q_B .
2. Letakkan muatan q_C pada posisi segaris dengan q_A dan q_B . Tentukan beberapa alternatif diantara dan di luar kedua muatan (dekat q_A dan dekat q_B)
3. Gambarkan arah gaya yang dirasakan muatan q_C pada setiap alternatifnya. Tempat yang dimungkinkan memiliki resultan nol adalah tempat yang arah gayanya berkebalikan.

4. Tentukan jarak titik yang tidak dipengaruhi gaya dengan menggunakan konsep $F_{AC} = F_{BC}$.

Tugas

Buatlah simpulan.

2. Kuat Medan Listrik

Jika ada muatan q yang berada di sekitar muatan lain Q maka muatan q akan merasakan gaya Coulomb dari Q . Daerah yang masih merasakan pengaruh gaya Coulomb ini dinamakan *medan listrik*. Medan listrik ini didefinisikan sebagai gaya yang dirasakan oleh muatan uji positif 1 C. Karena gaya adalah besaran vektor maka medan listrik juga besaran vektor. Arahnya dapat ditentukan seperti pada *Gambar 4.5*.

Sedangkan besar medan listrik dinamakan kuat medan listrik dirumuskan seperti berikut.

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

atau $E = k \frac{Q}{R^2}$ (4.2)

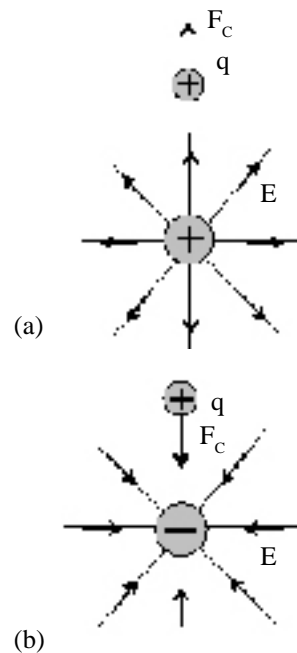
dengan : E = kuat medan listrik (N/C)

Q = muatan listrik (coulomb)

R = jarak titik dari muatan (m)

$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

Untuk lebih memahami tentang medan listrik ini dapat kalian perhatikan contoh di bawah. Yang perlu diperhatikan adalah besaran medan listrik memiliki kesamaan dengan gaya Coulomb.

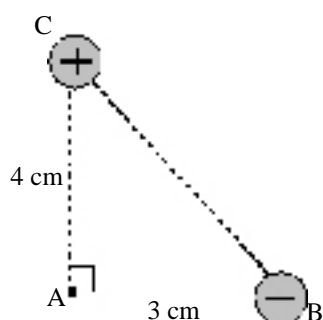


Gambar 4.5

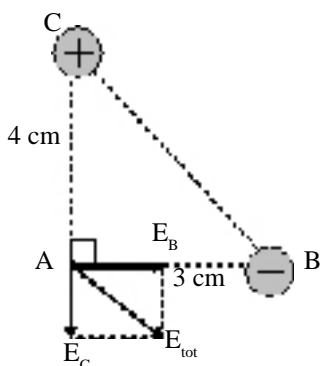
Listrik di sekitar muatan :
(a) positif dan (b) negatif.

CONTOH 4.3

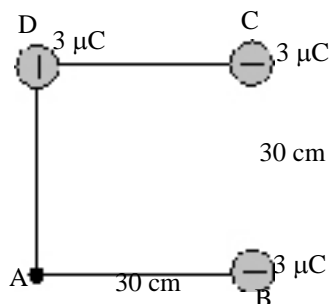
Dua muatan $q_B = 12 \mu\text{C}$ dan $q_C = 9 \mu\text{C}$ ditempatkan di titik-titik sudut segitiga siku-siku seperti pada *Gambar 4.6*. Tentukan kuat medan listrik yang dirasakan di titik A!



Gambar 4.6



Gambar 4.7



Gambar 4.8

Penyelesaian

$$q_B = 12 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$R_B = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$q_C = 9 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$R_C = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Di titik A dipengaruhi dua medan listrik yaitu dari B dan C. Arahnya dapat digambarkan seperti pada Gambar 4.7.

$$\begin{aligned} E_B &= \frac{q_B}{R_B^2} \\ &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{12 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 12 \cdot 10^7 \text{ N/C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_C &= \frac{q_C}{R_C^2} \\ &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{9 \cdot 10^{-6}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} = 5 \cdot 10^7 \text{ N/C} \end{aligned}$$

E_B dan E_C saling tegak lurus berarti memenuhi dalil Pythagoras :

$$\begin{aligned} E_{\text{tot}} &= \sqrt{E_B^2 + E_C^2} \\ &= \sqrt{(12 \cdot 10^7)^2 + (5 \cdot 10^7)^2} = 13 \cdot 10^7 \text{ N/C} \end{aligned}$$

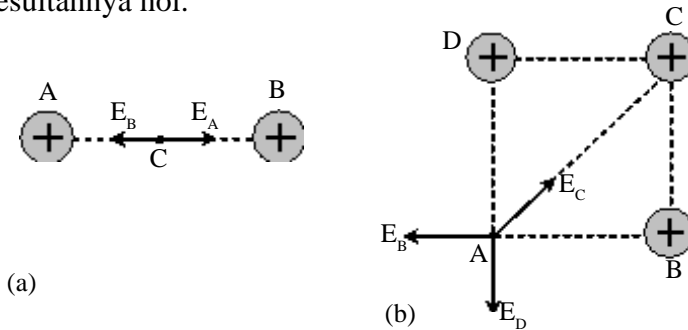
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Tiga muatan sama besar $q = 3 \mu\text{C}$ ditempatkan pada titik-titik sudut bujur sangkar seperti pada Gambar 4.8. Sisi bujur sangkar 30 cm. Tentukan kuat medan listrik yang dirasakan di titik A

3. Kuat Medan Listrik yang nol

Jika ada dua muatan atau lebih maka setiap titik yang ada di sekitarnya akan dipengaruhi oleh medan listrik sejumlah muatannya tersebut. Karena medan listrik merupakan besaran vektor maka ada kemungkinan resultannya nol. Coba perhatikan contohnya pada Gambar 4.9. Pada bagian (a)

ada dua medan listrik, jika $F_A = F_B$ maka kuat medan di titik C dapat nol. Tiga medan listrik yang memungkinkan resultannya nol.



Gambar 4.9

Kemungkinan kuat medan nol.

Untuk lebih memahami konsep di atas dapat kalian cermati contoh berikut.

CONTOH 4.4

Muatan A $9 \mu\text{C}$ dan muatan B $16 \mu\text{C}$ berjarak 14 cm satu dengan yang lain. Tentukan :

- letak titik C yang memiliki kuat medan nol
- gaya yang dirasakan muatan $q = 2 \mu\text{C}$ yang diletakkan di titik C tersebut.

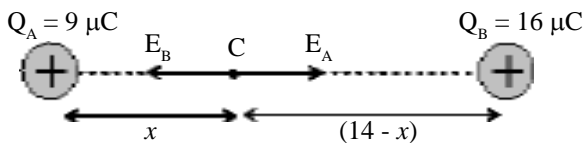
Penyelesaian

$$Q_A = 9 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_B = 16 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$R = 14 \text{ cm}$$

- Letak titik C yang kuat medan listriknya nol dapat digambarkan seperti pada *Gambar 4.10*.



Gambar 4.10

Titik yang kuat medannya nol.

Dari *Gambar 4.10* tersebut dapat diperoleh bahwa untuk kuat medan listrik di C nol maka harus memenuhi :

$$\begin{aligned} F &= E \\ \frac{Q_A}{R_A^2} &= \frac{Q_B}{R_B^2} \\ \frac{9 \cdot 10^{-6}}{x^2} &= \frac{16 \cdot 10^{-6}}{(14 - x)^2} \end{aligned}$$

Kedua ruas dibagi 10^{-6} dan diakarkan sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}\frac{3}{x} &= \frac{4}{(14-x)} \\ 3(14-x) &= 4x \\ 42 &= 7x \\ x &= 6 \text{ cm}\end{aligned}$$

Jadi titik C berjarak 6 cm dari Q_A atau 8 cm dari Q_B .

- b. Karena di titik C, $E_C = 0$ maka gaya yang dirasakan $q = 2 \mu\text{C}$ sebesar :

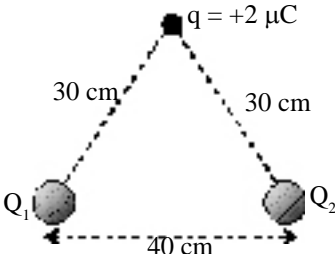
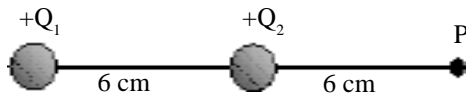
$$\begin{aligned}F &= q E_C \\ &= 2 \cdot 10^{-6} \cdot 0 = 0\end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dua muatan $Q_A = 8 \mu\text{C}$ dan $Q_B = 2 \mu\text{C}$ ditempatkan pada jarak 15 cm. Dimanakah muatan $q_C = -2 \mu\text{C}$ harus ditempatkan agar gaya yang dirasakan sama dengan nol.



LATIHAN 1

- Dua muatan titik $Q_A = 4 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ dan $Q_B = -2 \cdot 10^{-8} \text{ mC}$ berjarak 30 cm satu dengan yang lain. Jika $k = 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$, maka tentukan gaya elektrostatis yang dialami kedua muatan itu !
- Menurut model atom Bohr tentang atom hidrogen, elektron ($q = -e$) mengelilingi proton ($q' = e$) dengan jari-jari $5,3 \cdot 10^{-11}$ meter. Jika $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ maka tentukan besar gaya tarik-menarik antara proton dan elektron !
- Tiga muatan diletakkan pada sisi-sisi segitiga seperti gambar di bawah.

 $Q_1 = +4 \mu\text{C}$ dan $Q_2 = -4 \mu\text{C}$. Berapakah besar gaya yang dirasakan muatan q ?
- Perhatikan gambar di bawah. Jika diketahui $Q_1 = Q_2 = 10 \mu\text{C}$ dan konstanta $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$, maka tentukan besar dan arah kuat medan di titik P !

- Dua buah partikel A dan B masing-masing bermuatan $+18 \mu\text{C}$ dan $+8 \mu\text{C}$ terpisah dengan jarak 30 cm. Jika C adalah titik yang terletak diantara A dan B sedemikian sehingga kuat medan di C sama dengan nol, maka tentukan letak C !
- Dua muatan A dan B masing-masing sebesar $+4 \mu\text{C}$ dan $-16 \mu\text{C}$ terpisah dengan jarak 12 cm. Jika C adalah titik sedemikian kuat medannya sama dengan nol, maka tentukan letak C !
- Coba jelaskan bagaimanakah pengaruh jenis muatan terhadap besarnya gaya Coulomb dan kuat medan listrik!

B. Potensial dan Energi Potensial Listrik

1. Energi Potensial

Setiap ada medan gaya maka akan melibatkan usaha dan energi. Usaha merupakan perubahan energi potensial.

$$W = \Delta E_p \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

Sedangkan usaha sendiri didefinisikan sebagai perkalian titik vektor F dan R .

$$dW = -F \cdot dR$$

$$\int dW = - \int_{R_1}^{R_2} k \frac{Q_1 Q_2}{R^2} dR$$

$$W = k Q_1 Q_2 \left[\frac{1}{R} \right]_{R_1}^{R_2}$$

$$= k Q_1 Q_2 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = k \frac{Q_1 Q_2}{R_2} - k \frac{Q_1 Q_2}{R_1}$$

Dengan menggunakan konsep : $W = E_{p2} - E_{p1}$ maka diperoleh perumusan energi potensial listrik seperti berikut.

$$E_p = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{R} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

dengan : E_p = energi potensial listrik (joule)

Q_1, Q_2 = muatan listrik (coulomb atau C)

R = jarak dua muatan

Energi potensial listrik merupakan besaran skalar berarti tidak memiliki arah. Coba perhatikan contoh berikut.

CONTOH 4.5

Pada titik A dan B dari titik sudut segitiga terdapat muatan $Q_A = 8 \mu C = 8 \cdot 10^{-6} C$ dan $Q_B = -6 \mu C = -6 \cdot 10^{-6} C$ seperti pada *Gambar 4.11*. Jika terdapat muatan lain sebesar $q = 2 \mu C$ maka tentukan :

- energi potensial muatan q itu jika berada di titik C,
- energi potensial muatan q itu jika di titik D,
- usaha untuk memindahkan muatan q dari C ke D !

Penyelesaian

$$Q_A = 8 \mu C = 8 \cdot 10^{-6} C$$

$$Q_B = -6 \mu C = -6 \cdot 10^{-6} C$$

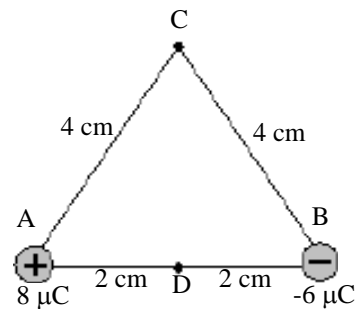
$$q = 2 \mu C = 2 \cdot 10^{-6} C$$

a. Di titik C :

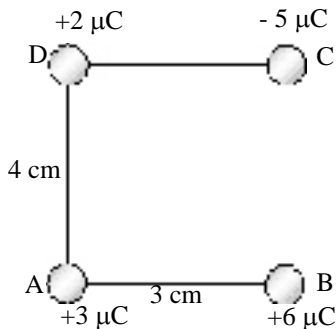
$$R_{AC} = R_{BC} = 4 \cdot 10^{-2} m$$

$$E_{PC} = E_{PA} + E_{PB}$$

$$= k \frac{Q_A q}{R_{AC}} + k \frac{Q_B q}{R_{BC}} = k \frac{q}{R_{AC}} (Q_A + Q_B)$$



Gambar 4.11



Gambar 4.12

Penting

Kalian telah belajar beberapa besaran, \vec{F}_C dan \vec{E} yang merupakan besaran vektor dan E_p dan V yang merupakan besaran skalar.

Perbedaan penyelesaian tentang vektor dan skalar dapat kalian perhatikan pada tiap contoh soalnya.

$$= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(4 \cdot 10^{-2})} (8 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6}) = 0,9 \text{ joule}$$

b. Di titik D :

$$R_{AD} = R_{BD} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$E_{PD} = E_{PA} + E_{PB}$$

$$= k \frac{Q_A q}{R_{AD}} + k \frac{Q_B q}{R_{BD}}$$

$$= k \frac{q}{R_{AD}} (Q_A + Q_B)$$

$$= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(2 \cdot 10^{-2})} (8 \cdot 10^{-6} - 6 \cdot 10^{-6})$$

$$= 1,8 \text{ joule}$$

c. Usaha yang dilakukan :

$$W = \Delta E_p = E_{PD} - E_{PC} = 1,8 - 0,9 = 0,9 \text{ joule}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Empat muatan benda di titik-titik sudut persegi panjang seperti Gambar 4.12. Tentukan usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan A ke titik jauh tak hingga.

2. Potensial Listrik

Kalian mungkin sudah sering mendengar tentang beda potensial, terutama pada bab listrik dinamis. Beda potensial ini disebut juga tegangan. Apa sebenarnya potensial listrik itu? Potensial listrik didefinisikan sebagai besarnya energi potensial yang dimiliki muatan 1 Coulomb. Dari definisi ini, potensial listrik dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V = \frac{E_p}{Q}$$

$$V = \frac{k \frac{Q_1 Q_2}{R}}{Q}$$

$$V = k \frac{Q}{R} \dots\dots\dots (4.5)$$

dengan : V = potensial listrik (volt)

Q = muatan listrik (C)

R = jarak titik dari muatan (m)

Potensial listrik juga termasuk besaran skalar seperti energi potensial listrik, berarti tidak memiliki arah dan jenis muatannya akan mempengaruhi besarnya.

CONTOH 4.6

Dua muatan titik $Q_A = -4 \mu\text{C}$ dan $Q_B = +8 \mu\text{C}$ berjarak 16 cm. Tentukan potensial listrik di suatu titik yang berada di tengah-tengah kedua muatan itu!

Penyelesaian

$$Q_A = -4 \mu\text{C}$$

$$Q_B = +8 \mu\text{C}$$

$$R_A = R_B = 8 \text{ cm} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

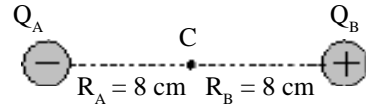
Titik C berada di tengah-tengah seperti diperlihatkan pada *Gambar 4.13*. karena besaran skalar maka potensial di titik C tersebut memenuhi :

$$V_C = V_A + V_B$$

$$= k \frac{Q_A}{R_A} + k \frac{Q_B}{R_B}$$

$$= \frac{k}{R_A} (Q_A + Q_B)$$

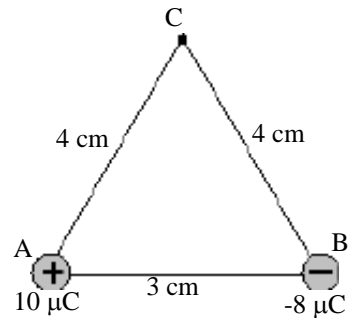
$$= \frac{9 \cdot 10^9}{8 \cdot 10^{-2}} (-4 \cdot 10^{-6} + 8 \cdot 10^{-6}) = 4,5 \cdot 10^5 \text{ volt}$$



Gambar 4.13

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Perhatikan muatan-muatan pada titik sudut segitiga sama kaki pada *Gambar 4.14*. Tentukan potensial listrik di titik C!



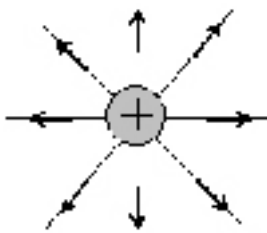
Gambar 4.14



ATIHAN 4.2

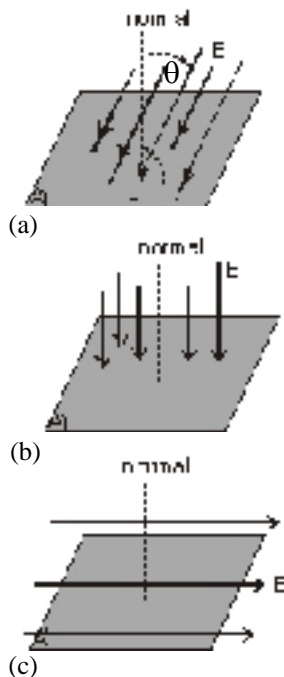
- Pada sumbu X terdapat muatan $-2 \mu\text{C}$ di $x = 10 \text{ cm}$, muatan $+5 \mu\text{C}$ di $x = 15 \text{ cm}$ dan muatan $+4 \mu\text{C}$ di titik $x = 30 \text{ cm}$. Tentukan :
 - potensial listrik pada titik $x = -10 \text{ cm}$,
 - energi potensial yang dimiliki muatan $q = -3 \mu\text{C}$ yang diletakkan di titik dengan $x = -10 \text{ cm}$ tersebut !
- Pada keempat sudut bujur sangkar (sisi 25 cm) diletakkan muatan listrik. Tentukan :
 - potensial listrik di titik pusat bujur sangkar jika dua muatan yang bertetangga masing-masing $+3 \mu\text{C}$ dan $-3 \mu\text{C}$!
 - energi potensial yang dimiliki oleh salah satu muatan $-3 \mu\text{C}$!

C. Hukum Gauss



Gambar 4.15

Garis-garis medan listrik



Gambar 4.16

- (a) Garis-garis gaya listrik E membentuk sudut θ dengan normal;
 (b) Saling tegak lurus sehingga ϕ maksimum, $\theta = 0$
 (c) Sejajar sehingga $\phi = 0$ dan $\theta = 90^\circ$

Penting

Kuat medan listrik E = besaran vektor, luas penampang A juga vektor. Karena perkaliannya titik (dot) maka ϕ merupakan besaran skalar.

1. Hubungan Fluks Listrik dan Kuat Medan Listrik

Medan listrik sebagai besaran vektor digambarkan dengan garis-garis yang memiliki arah atau anak panah. Contohnya medan listrik di sekitar muatan titik positif seperti pada *Gambar 4.15*. Jumlah garis-garis medan listrik yang menembus secara tegak lurus pada suatu bidang dinamakan dengan fluks listrik dan disimbolkan ϕ .

Bagaimana dengan medan listriknya? Besar medan listrik disebut dengan kuat medan listrik dapat didefinisikan juga sebagai kerapatan garis-garis medan listrik.

Dari dua pengertian di atas dapat dirumuskan hubungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \phi &= E \cdot A \\ \text{atau} \quad \phi &= E \cdot A \cos \theta \end{aligned} \quad (4.6)$$

dengan : ϕ = fluks listrik (weber)
 E = kuat medan listrik (N/C)
 A = luas bidang yang terbatas garis-garis gaya (m^2)
 θ = sudut antara E dengan normal bidang

Dengan menggunakan definisi dua besaran di atas, Gauss merumuskan hubungan antar besaran sebagai berikut.

“Jumlah garis medan (fluks listrik) yang menembus suatu permukaannya sebanding dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tersebut”.

Pernyataan di atas itulah yang dikenal sebagai *hukum Gauss* dan dapat dirumuskan sebagai berikut

Faktor pembanding yang sesuai adalah $\frac{1}{\epsilon_0}$ Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \phi &\sim q \\ \text{atau} \quad \phi &= \frac{q}{\epsilon_0} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Perhatikan penerapan hukum Gauss tersebut pada bola konduktor dan keping sejajar seperti penjelasan berikut.

2. Bola Konduktor Bermuatan

Bola konduktor berjari-jari R diberi muatan Q maka muatan itu akan tersebar pada permukaan bola seperti pada *Gambar 4.17*. Bagaimana besaran-besaran

yang ditimbulkan oleh bola konduktor itu? Cermati pada penjelasan besaran-besaran di bawah.

a. Medan listrik

Arah medan listrik oleh bola bermuatan sama dengan muatan titik yaitu meninggalkan muatan positif dan menuju muatan negatif. Sedangkan kuat medan listriknya dapat ditentukan dari hukum Gauss.

Dari hukum Gauss dapat dijelaskan bahwa medan listrik timbul jika ada muatan yang dilingkupinya. Bagaimana jika titiknya berada di dalam bola? Coba kalian lihat titik A pada *Gambar 4.17*. Luasan yang dibutuhkan titik A tidak melingkupi muatan berarti kuat medannya nol, $E_A = 0$.

Untuk titik di permukaan bola dan di luar bola akan memiliki luasan yang melingkupi muatan Q tersebut sehingga dapat diturunkan dengan hukum Gauss sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{Q}{\epsilon_0} \\ E \cdot (4\pi R^2) &= \frac{Q}{\epsilon_0} \\ E &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}\end{aligned}$$

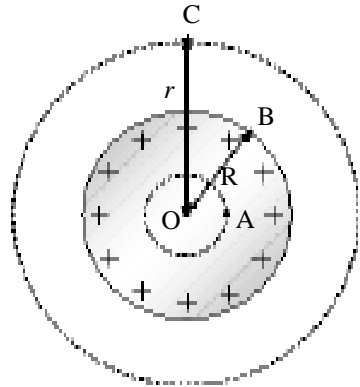
Jadi dapat disimpulkan kuat medan listrik oleh bola konduktor sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{di dalam bola} &: E = 0 \\ \text{di luar/permukaan} &: E = k \frac{Q}{r^2} \dots\dots\dots (4.8) \\ (\text{permukaan } r = R)\end{aligned}$$

3. Potensial Listrik

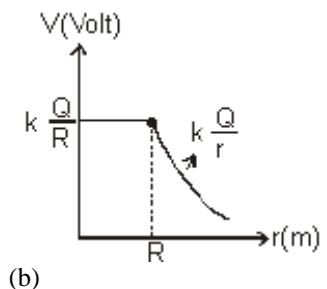
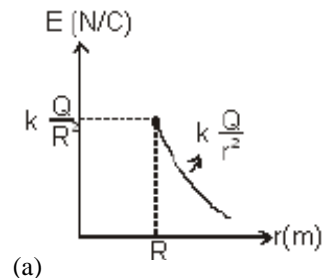
Potensial listrik oleh bola bermuatan juga ada dua keadaan. *Pertama* : di dalam bola ternyata sama dengan di permukaan. *Kedua*, di luar bola. Persamaannya sama.

$$\begin{aligned}\blacksquare \text{ Di dalam/di permukaan} &: V = k \frac{Q}{R} \\ \blacksquare \text{ Di luar} &: V = k \frac{Q}{r} \dots\dots\dots (4.9)\end{aligned}$$



Gambar 4.17

Bola konduktor bermuatan



Gambar 4.18

Grafik (a) hubungan E dan r (b) hubungan V dan r pada bola konduktor bermuatan.

CONTOH 4.7

Sebuah bola konduktor diberi muatan $+12 \mu\text{C}$ dan berjari-jari 4 cm. Jika ada tiga titik A, B dan C yang dari pusat berjarak $R_A = 3 \text{ cm}$, $R_B = 4 \text{ cm}$ dan $R_C = 6 \text{ cm}$

maka tentukan :

- kuat medan listrik di titik A, B dan C
- potensial listrik di titik A, B dan C

Penyelesaian

$$Q = +12 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$R = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

- Kuat medan listrik :

■ Titik A : $R_A < R_B$, di dalam bola berarti $E_A = 0$

■ Titik B : di permukaan bola :

$$\begin{aligned} E_B &= k \frac{Q}{R_B^2} \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-6}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} = 6,75 \cdot 10^7 \text{ N/C} \end{aligned}$$

■ Titik C : di luar bola :

$$\begin{aligned} E_C &= k \frac{Q}{r_C^2} \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-2})^2} = 3 \cdot 10^7 \text{ N/C} \end{aligned}$$

- Potensial listrik

■ Di titik A sama dengan di titik B :

$$\begin{aligned} V_A &= V_B = k \frac{Q}{R} \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-2}} = 2,7 \cdot 10^6 \text{ volt} \end{aligned}$$

■ Di titik C :

$$\begin{aligned} V_C &= k \frac{Q}{r} \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{12 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-2}} = 1,8 \cdot 10^6 \text{ volt} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Bola konduktor berjari-jari 6 cm diberi muatan $2 \cdot 10^{-12}$ C. Tentukan kuat medan listrik dan potensial listrik di titik :

- A yang berjarak 4 cm dari pusat
- B yang berjarak 6 cm dari pusat
- C yang berjarak 10 cm dari pusat

4. Keping Sejajar Bermuatan

Keping sejajar adalah dua keping konduktor dengan luas sama dan bahan sama. Jika dihubungkan dengan sumber tegangan V maka akan menyimpan muatan yang sama besar berlainan jenis seperti pada *Gambar 4.19*.

Di daerah antar keping dapat digambarkan permukaan yang tertembus garis-garis medan seluas A secara tegak lurus (sejajar garis normal) sehingga akan berlaku hukum Gauss sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\phi &= \frac{q}{\epsilon_0} \\ E A \cos 0^\circ &= \frac{q}{\epsilon_0} \\ E &= \frac{q}{A\epsilon_0} \dots\dots\dots (4.10)\end{aligned}$$

Berarti bila ada muatan positif $+q$ atau dilepas di sekitar keping A maka muatan tersebut akan mendapat gaya ke kanan sebesar :

$$F = q E \dots\dots\dots (4.11)$$

Jika muatan telah berpindah dari titik A ke titik B maka akan terjadi perubahan energi potensial sebesar :

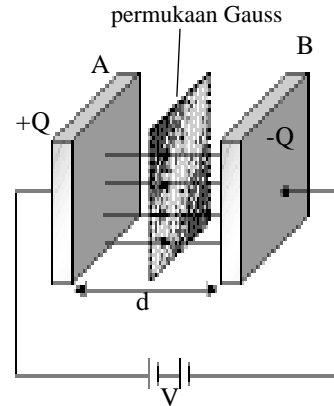
$$\begin{aligned}W &= \Delta E_p \\ F \cdot d &= q V \\ q E \cdot d &= q V \\ E &= \frac{V}{d} \dots\dots\dots (4.12)\end{aligned}$$

Medan gaya elektrostatis (medan listrik) merupakan *medan gaya konservatif* berarti pada gerak muatan di antara keping sejajar akan berlaku hukum kekekalan energi mekanik.

$$\begin{aligned}E_{m_A} &= E_{m_B} \\ E_{p_A} + E_{k_A} &= E_{p_B} + E_{k_B}\end{aligned}$$

Jika muatan dilepaskan dari A maka $E_{k_A} = 0$ dan E_{p_B} akan bernilai nol karena elektron telah sampai pada kutub negatif sehingga berlaku :

$$\begin{aligned}q V + 0 &= 0 + \frac{1}{2} m v^2 \\ q V &= \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots (4.13)\end{aligned}$$



Gambar 4.19

Garis-garis medan listrik menembus tegak lurus berarti sejajar dengan garis normalnya dan $\theta = 0^\circ$

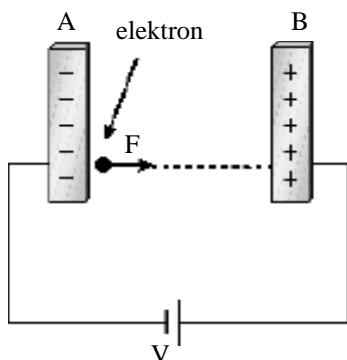
dengan : q = muatan yang bergerak atau dilepas (C)

V = beda potensial (volt)

m = massa partikel (kg)

v = kecepatan partikel saat menumbuk keping (m/s)

Perhatikan cotton berikut. Lakukan analisa dan ambilah kesimpulan bagaimanakah menentukan penyelesaian terbaik pada keping sejajar. Kemudian carilah contoh-contoh soal lain karena pada keping sejajar ini banyak sekali variasi kejadiannya.



Gambar 4.20

Gerak elektron diantara keping sejajar.

CONTOH 4.8

Dua keping sejajar memiliki luas penampang 6 cm^2 berjarak 10 cm satu dengan yang lain. Kedua keping itu dihubungkan pada beda potensial 400 volt . Jika sebuah elektron dilepaskan dari keping yang bermuatan negatif, $e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ dan $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ maka tentukan :

- gaya yang dialami elektron,
- usaha yang dikerjakan elektron,
- kecepatan elektron saat menumbuk keping positif !

Penyelesaian

$$d = 10 \text{ cm} = 10^{-1} \text{ m}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

$$V = 400 \text{ volt}$$

- Gaya yang dirasakan elektron memenuhi :

$$F = e E$$

$$= e \frac{V}{d}$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot \frac{400}{10^{-1}} = 6,4 \cdot 10^{-16} \text{ N}$$

- Usaha yang dikerjakan elektron :

$$W = \Delta E_p$$

$$= e V$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 400 = 6,4 \cdot 10^{-17} \text{ joule}$$

- Kecepatan elektron saat menumbuk keping positif dapat ditentukan dari kekekalan energi :

$$\frac{1}{2} m v^2 = e V$$

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 400}{9,11 \cdot 10^{-31}}}$$

$$= 1,21 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

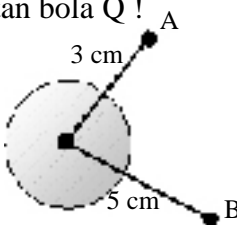
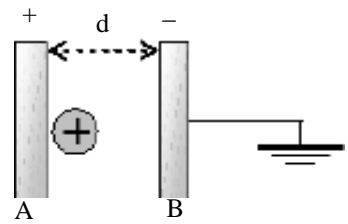
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dua keping sejajar masing-masing dihubungkan pada sumber tegangan 200 volt. Jarak antar keping 20 cm dan luas keping 15 cm². Sebuah proton $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C dan $m = 1,6 \cdot 10^{-27}$ kg dilepaskan dari keping yang bermuatan positif, tentukan :

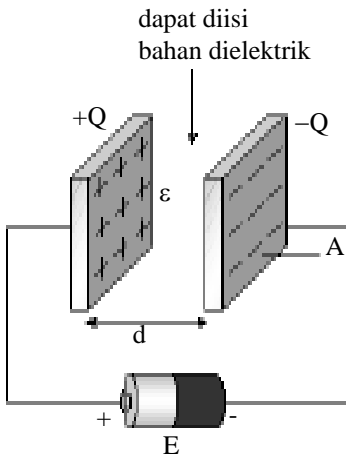
- kuat medan listrik diantara kedua keping,
- gaya yang dirasakan proton,
- perubahan energi potensial proton,
- kecepatan proton saat menumbuk keping!



ATIHAN 3

- Bola konduktor yang berdiameter 20 cm diberi muatan + 5 μC . Tentukan kuat medan listrik dan potensial listrik pada titik :
 - A yang berjarak 5 cm dari pusat,
 - B yang berjarak 12 cm dari pusat,
 - Dipermukaan bola!
- Bola konduktor terlihat seperti gambar di bawah. Bola bermuatan listrik + Q. Apabila beda potensial titik A dan B adalah 4,25. 10⁵ volt, maka tentukan besar muatan bola Q !
 
- Dua keping penghantar seluas 2 m² diletakkan sejajar satu sama lain pada jarak 10 cm. Penghantar yang satu diberi potensial + 50 volt dan penghantar yang lain - 50 volt. Berapakah besar gaya yang dialami sebuah muatan $q = 2 \cdot 10^{-2}$ C yang berada di antara kedua bidang tersebut ?
- Sebuah elektron dari keadaan diam kemudian bergerak dalam keping sejajar yang memiliki beda potensial 1000 V. Jika massa elektron 9,11 x 10⁻³¹ kg dan muatannya -1,6 x 10⁻¹⁹ C maka tentukan :
 - Penurunan energi potensial elektron
 - Usaha yang dilakukan medan listrik keping
- Proton yang bergerak dari keping A ke B seperti gambar di bawah. Saat menumbuk keping proton memperoleh kecepatan 5.10⁵ m/s. Jika antara dua keping vakum, d = 2 cm dan massa proton = 1,6.10⁻²⁷ kg, muatan proton = 1,6.10⁻¹⁹ C maka tentukan beda potensial keping sejajar tersebut !
 

D. Kapasitor



Gambar 4.21

Kapasitor merupakan komponen listrik yang dibuat dari pengembangan keping sejajar. Seperti pada sub bab sebelumnya, jika ada keping sejajar maka kedua kepingnya akan menyimpan muatan berlainan jenis sama besar. Dari sifatnya yang dapat menyimpan muatan inilah kapasitor banyak dimanfaatkan dalam dunia elektronik. Contoh pemanfaatan kapasitor adalah sebagai filter tegangan pada power suply, rangkaian tuning pada radio dan perata tegangan pada adaptor.

1. Penyimpan Muatan dan Energi

Seperti penjelasan di atas, kapasitor dapat menyimpan muatan. Muatan yang tersimpan itu sebanding dengan beda potensialnya. Lihat Gambar 4.22. Konstanta pembandingnya disebut *kapasitas kapasitor* dan disimbulkan C.

$$\begin{aligned} Q &\sim V \\ \text{dan } Q &= C V \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.14)$$

dengan : $Q =$ muatan yang tersimpan (C)

$V =$ beda potensial keping-keping

$C =$ kapasitas kapasitor (farad)

Kapasitas kapasitor ini ternyata nilainya sebanding dengan luas penampang keping, sebanding dengan permitivitas relatif bahan dielektrik dan berbanding terbalik dengan jarak kedua keping. Kesebandingan ini dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

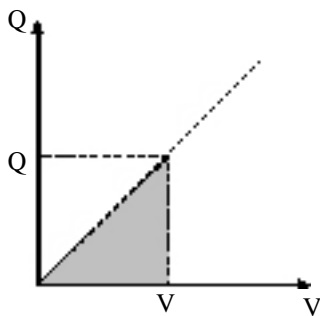
dengan : $C =$ kapasitas kapasitor (farad)

$\epsilon_r =$ permitivitas relatif bahan dielektrik

$\epsilon_0 =$ permitivitas ruang hampa ($8,85 \cdot 10^{-12}$ C²/Nm²)

$A =$ luas penampang (m²)

$d =$ jarak antar keping (m)



Gambar 4.22

Menyimpan muatan berarti pula menyimpan energi dalam bentuk energi potensial listrik. Berapa besar energi yang tersimpan kapasitor tersebut ? Besarnya dapat kalian hitung dari luas kurva terarsir pada Gambar 4.22. Luasnya berbentuk segitiga berarti memenuhi persamaan berikut.

$$W = \frac{1}{2} Q V \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

Persamaan energi yang disimpan kapasitor ini dapat dikembangkan dengan substitusi $Q = C V$ dari persamaan 4.14. Gunakan variasi persamaan itu saat menentukan energi yang tersimpan kapasitor pada suatu persoalan kapasitor.

CONTOH 4.9

Sebuah kapasitor luas penampang platnya $20 \times 20 \text{ cm}^2$ dan diantaranya hanya berjarak 2 mm. Jika ujung-ujung kapasitor itu dihubungkan pada beda potensial 10 volt maka tentukan :

- Kapasitas kapasitor,
- muatan yang tersimpan,
- energi yang tersimpan kapasitor!

Penyelesaian

$$A = 20 \times 20 = 400 \text{ cm}^2 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$d = 2 \text{ mm} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

$$V = 10 \text{ volt}$$

- Kapasitas kapasitor sebesar :

$$\begin{aligned} C &= \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \\ &= 1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3}} = 17,7 \cdot 10^{-11} \text{ F} \end{aligned}$$

- Muatan yang disimpan sebesar :

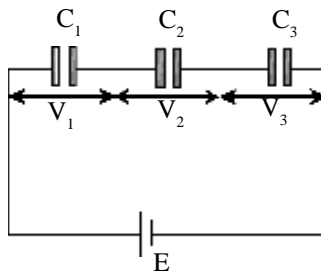
$$\begin{aligned} Q &= C V \\ &= 17,7 \cdot 10^{-11} \cdot 10 = 1,77 \cdot 10^{-9} \text{ C} \end{aligned}$$

- Energi yang tersimpan memenuhi :

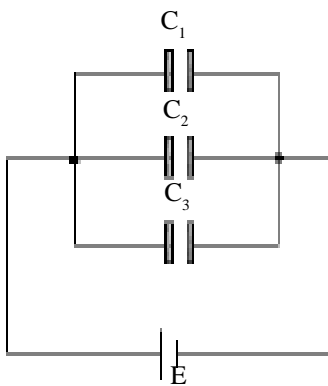
$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} Q V \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,77 \cdot 10^{-9} \cdot 10 = 8,85 \cdot 10^{-9} \text{ joule} \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Kapasitas keping sejajar luasnya 200 cm^2 dan jarak antar keping 8,85 mm. Bahan dielektriknya adalah hampa udara. Jika dihubungkan beda potensial 20 volt maka tentukan muatan dan energi kapasitor yang tersimpan!



Gambar 4.23
Rangkaian C seri



Gambar 4.24
Rangkaian C paralel

2. Rangkaian Kapasitor

a. Rangkaian seri

Dua kapasitor atau lebih dapat disusun dengan ujung yang disambung-sambungkan secara berurutan seperti pada *Gambar 4.23*. Pada rangkaian seri ini muatan yang tersimpan pada kapasitor akan sama, Q sama. Akibatnya beda potensial tiap kapasitor akan berbanding terbalik dengan kapasitas kapasitornya. Perhatikan persamaan 4.14, $Q = CV$.

Pada rangkaian seri beda potensial sumber E akan terbagi menjadi tiga bagian. Dari penjelasan ini dapat disimpulkan sifat-sifat yang dimiliki rangkaian seri sebagai berikut.

$$a. Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{\text{tot}}$$

$$b. E = V_1 + V_2 + V_3 \quad \dots\dots\dots (4.17)$$

$$V \sim \frac{1}{C}$$

$$c. \frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

b. Rangkaian paralel

Rangkaian paralel adalah gabungan dua kapasitor atau lebih dengan kutub-kutub yang sama menyatu seperti *Gambar 4.24*. Pada rangkaian ini beda potensial ujung-ujung kapasitor akan sama karena posisinya sama. Akibatnya muatan yang tersimpan sebanding dengan kapasitornya. Muatan total yang tersimpan sama dengan jumlah totalnya.

Perhatikan peringkasan sifat-sifat tersebut pada persamaan berikut.

$$a. E = V_1 + V_2 + V_3$$

$$b. Q_{\text{tot}} = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad \dots\dots\dots (4.18)$$

$$Q \sim C$$

$$c. C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

c. Rangkaian campuran

Rangkaian campuran adalah rangkaian gabungan dari rangkaian seri dan paralel. Penyelesaian soal ini menyelesaikan hubungan beberapa kapasitor yang dapat ditentukan seri atau paralelnya terlebih dahulu.

CONTOH 4.10

Tiga buah kapasitor dirangkai seperti *Gambar 4.25(a)* $C_1 = 300 \mu\text{F}$, $C_2 = 200 \mu\text{F}$ dan $C_3 = 400 \mu\text{F}$. Tentukan :

- kapasitas pengganti total,
- muatan yang tersimpan c,
- beda potensial b c,
- muatan yang tersimpan C_2 dan C_3 !

Penyelesaian

$$C_1 = 300 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 200 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 400 \mu\text{F}$$

$$E = 120 \text{ volt}$$

- Kapasitas penggantinya dapat ditentukan sebagai berikut.

- C_2 dan C_3 terhubung paralel sehingga dapat diganti C_p seperti pada *Gambar 4.25(b)*.

$$\begin{aligned} C_p &= C_2 + C_3 \\ &= 200 + 400 = 600 \mu\text{F} \end{aligned}$$

- C_p dan C_1 terhubung seri sehingga dapat diganti C_s seperti pada *Gambar 4.25(c)*. Nilai C_s memenuhi persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_s} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_p} \\ &= \frac{1}{300} + \frac{1}{600} = \frac{3}{600} \end{aligned}$$

$$C_s = \frac{600}{3} = 200 \mu\text{F}$$

dari nilai C_s inilah dapat diperoleh C_{tot} karena C_{tot} itu sama dengan C_s .

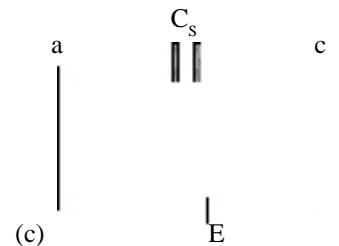
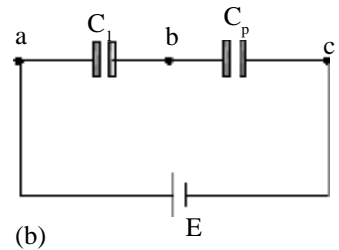
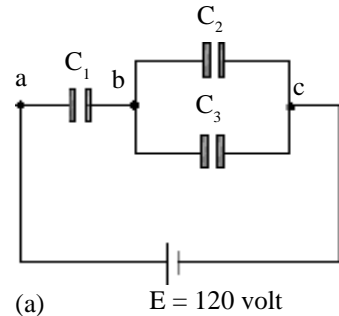
$$C_{\text{tot}} = C_s = 200 \mu\text{F}$$

- Muatan yang tersimpan pada C_1 memenuhi :

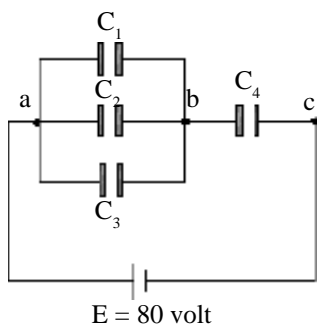
$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_{\text{tot}} \\ &= C_{\text{tot}} \cdot V_{\text{tot}} \\ &= (200 \cdot 10^{-6}) \cdot 120 = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ C} \end{aligned}$$

- Beda potensial bc dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} V_{bc} &= \frac{Q_{\text{tot}}}{C_p} \\ &= \frac{2,4 \cdot 10^{-2}}{600 \cdot 10^{-6}} = 40 \text{ volt} \end{aligned}$$



Gambar 4.25



Gambar 4.26

d. Muatan yang tersimpan di C_2 dan C_3 memenuhi :

$$Q_2 = C_2 V_{bc} \\ = 200 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 8 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

$$Q_3 = C_3 V_{bc} \\ = 400 \cdot 10^{-6} \cdot 40 = 16 \cdot 10^{-3} \text{ C}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

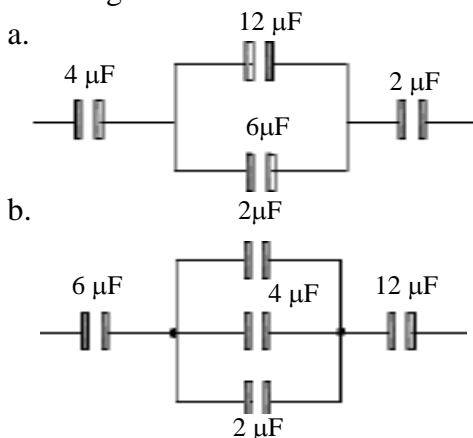
Empat buah kapasitor tersusun seperti Gambar 4.26. $C_1 = 300 \mu\text{F}$, $C_2 = 400 \mu\text{F}$, $C_3 = 500 \mu\text{F}$ dan $C_4 = 600 \mu\text{F}$. Jika rangkaian dihubungkan beda potensial 80 volt maka tentukan :

- Kapasitas pengganti,
- muatan yang tersimpan di masing-masing kapasitor,
- beda potensial V_{ab} dan V_{bc} ?



LATIHAN 4.4

- Sebuah kapasitor keping sejajar di udara memiliki kapasitansi C . Bila jarak kedua kepingnya diubah menjadi $\frac{1}{2}$ kali semula dan kedua keping dicelupkan ke dalam medium dengan konstanta dielektrikum 2, maka tentukan kapasitansinya sekarang !
- Tiga buah kapasitor masing-masing $2 \mu\text{F}$, $3 \mu\text{F}$ dan $6 \mu\text{F}$ dirangkai seri kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan 12 volt. Tentukan :
 - kapasitas penggantinya,
 - tegangan pada masing-masing kapasitor,
 - muatan yang disimpan masing-masing kapasitor !
- Kapasitor C_1 dan C_2 yang dipasang paralel masing-masing mempunyai kapasitas $2 \mu\text{F}$ dan $4 \mu\text{F}$. Jika tegangan ujung-ujung kapasitor adalah 12 volt maka tentukan :
 - Kapasitas pengganti kedua kapasitor,
 - Beda potensial masing-masing kapasitor,
 - Muatan listrik yang disimpan masing-masing kapasitor,
 - Energi yang tersimpan masing-masing kapasitor !
- Kapasitor $2 \mu\text{F}$ yang berpotensi 15 volt dihubungkan paralel dengan kapasitor $4 \mu\text{F}$ yang berpotensi 30 volt dengan dihubungkan ujung-ujung yang sama tanda muatannya, maka berapakah potensial gabungannya ?



Rangkuman Bab 4

1. Setiap dua muatan berdekatan akan mendapat gaya Coulomb :
Besarnya : $F = k \frac{Q_1 Q_2}{R^2}$

Arahnya : Sejenis tolak menolak dan berlainan jenis tarik menarik

2. Medan listrik adalah daerah yang masih dirasakan gaya Coulomb atau gaya elektrostatik.

Arahnya : meninggalkan muatan positif dan menuju muatan positif

Besarnya : $E = \frac{F}{Q} = k \frac{Q}{R^2}$

3. Energi potensial merupakan besaran skalar, besarnya memenuhi :

$$E_p = k \frac{Q_1 Q_2}{R}$$

4. Potensial listrik memenuhi :

$$V = \frac{E_p}{Q} = k \frac{Q}{R}$$

5. Pada bola konduktor bermuatan memenuhi :

a. di titik di dalam bola : $E = 0$ dan V sama dengan V di permukaan

b. di permukaan bola :

$$E = k \frac{Q}{R^2} \text{ dan } V = k \frac{Q}{R}$$

c. di luar bola ($r > R$)

$$E = k \frac{Q}{r^2} \text{ dan } V = k \frac{Q}{r}$$

6. Pada keping sejajar terdapat muatan listrik dan memenuhi hubungan :

a. $E = \frac{V}{d}$

b. gaya $F = q E$

c. berlaku kekekalan energi :

$$q V = \frac{1}{2} m v^2$$

Evaluasi Bab 4

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

1. Diketahui muatan listrik Q_1 positif dan Q_2 negatif.....
 (1) muatan Q_1 menarik muatan Q_2
 (2) gaya coulomb sebanding dengan Q_1 dan Q_2
 (3) gaya coulomb berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara Q_1 dan Q_2
 (4) kuat medan listrik di tengah-tengah antara Q_1 dan Q_2 nol
 yang benar adalah

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

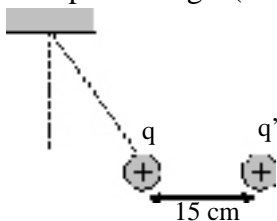
2. Dua muatan titik yang sejenis dan sama besar $q_A = q_B = 10^{-2} \mu\text{C}$ pada jarak 10 cm satu dari yang lain.

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$. Gaya tolak yang dialami kedua muatan itu (dalam Newton) adalah

- A. $9 \cdot 10^{-14}$ D. $9 \cdot 10^3$
 B. $9 \cdot 10^{-9}$ E. $9 \cdot 10^7$
 C. $9 \cdot 10^{-5}$

3. Sebuah benda bermassa 20 gram dan bermuatan $q = +0,5 \mu\text{C}$ digantungkan pada seutas tali ringan yang massanya dapat diabaikan. Tepat di sebelah kanan benda pada jarak 15 cm diletakkan muatan $q' = -1 \mu\text{C}$ yang menyebabkan posisi benda menjadi seperti gambar di bawah. Jika $g = 10 \text{ ms}^{-2}$ dan $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$, tegangan pada tali dekat pada harga (dalam newton)

- A. 0,20
 B. 0,24
 C. 0,28
 D. 0,32
 E. 0,40



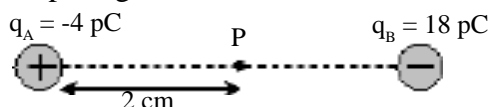
4. Kuat medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan listrik pada sebuah titik bergantung pada....

- (1) besarnya muatan
 (2) jaraknya dari muatan
 (3) jenis muatan
 (4) jenis medium antara muatan dan titik

yang benar adalah

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

5. Dua muatan titik berjarak 5 cm terlihat seperti gambar.

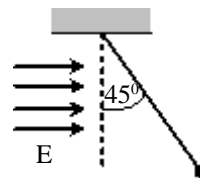


Besar medan listrik di titik P adalah

- A. 27 N/C D. 360 N/C
 B. 72 N/C E. 720 N/C
 C. 270 N/C

6. Sebuah partikel bermassa 0,3 gr diikat dengan benang tak bermassa. Kemudian dimasukkan ke dalam daerah bermedan listrik 500 N/C dan digantungkan ternyata membentuk sudut seperti pada gambar di bawah. Keadaan ini bisa terjadi apabila partikel itu bermuatan (dalam μC) sebesar

- A. 1
 B. 3
 C. $3\sqrt{2}$
 D. 6
 E. 6



7. Dua buah partikel A dan B masing-masing bermuatan $+20 \mu\text{C}$ dan $+45 \mu\text{C}$ terpisah dengan jarak 15 cm. Jika C adalah titik yang terletak di antara A dan B sedemikian sehingga kuat

medan di C sama dengan nol, maka letak C dari A (dalam cm) adalah....

- A. 2
 - B. 3
 - C. 4
 - D. 6
 - E. 9
8. Potensial di suatu titik yang berjarak r dari muatan Q adalah 600V. Intensitas medan di titik tersebut 400 N/C. Jika $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$, maka besar muatan Q adalah
- A. $1,50 \cdot 10^{-9} \text{ C}$
 - B. $2,25 \cdot 10^{-9} \text{ C}$
 - C. $4,40 \cdot 10^{-9} \text{ C}$
 - D. $7 \cdot 10^{-9} \text{ C}$
 - E. $1 \cdot 10^{-9} \text{ C}$
9. Pada setiap titik sudut sebuah segitiga sama sisi dengan sisi terdapat muatan positif q . Kuat medan dan potensial listrik di pusat segitiga ini, dengan k sebagai tetapan, berturut-turut adalah....
- A. $\frac{1}{2} k q$ dan 0
 - B. $\frac{1}{2} k q$ dan $k q$
 - C. $k q$ dan $k q$
 - D. 0 dan $k q$
 - E. 0 dan $k q$
10. Sebuah bola konduktor berjari – jari 9 cm diberi muatan 6 mC. Besar kuat medan listrik dan potensial listrik pada titik yang berjarak 3 cm dari pusat bola adalah
- A. sama – sama nol
 - B. $E = \text{nol}$, $V = 6 \cdot 10^5 \text{ volt}$
 - C. $E = 6 \cdot 10^7 \text{ N/C}$, $V = \text{nol}$
 - D. $E = 6 \cdot 10^7 \text{ N/C}$, $V = 6 \cdot 10^5 \text{ volt}$
 - E. $E = 6 \cdot 10^7 \text{ N/C}$, $V = 18 \cdot 10^5 \text{ volt}$
11. Sebuah bola konduktor diberi muatan $Q = 3 \mu\text{C}$. Diameter bola 20 cm. Jika muatan kecil $q = 2 \mu\text{C}$ ingin dipindahkan dari permukaan bola ke titik yang berjarak 5 cm dari pusat bola maka diperlukan usaha sebesar
- A. 2500 joule
 - B. 1300 joule
 - C. 500 joule
 - D. 25 joule
 - E. nol
12. Dua keping logam yang sejajar dan jaraknya 0,5 cm satu dari yang lain diberi muatan listrik yang berlawanan

(lihat gambar) hingga beda potensial 10000 Volt. Bila muatan elektron adalah $1,6 \times 10^{-19}$ C maka besar dan arah gaya coulomb pada sebuah elektron yang ada diantara kedua keping adalah

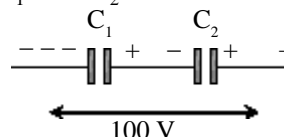
+ + + + +



- A. $0,8 \times 10^{-7}$ N ke atas
B. $0,8 \times 10^{-7}$ N ke bawah
C. $3,2 \times 10^{-13}$ N ke atas
D. $3,2 \times 10^{-13}$ N ke bawah
E. $12,5 \times 10^{24}$ N ke atas
13. Sebuah elektron (muatan $-1,6 \times 10^{-19}$ C) bergerak dari suatu titik dalam ruang ke titik lain yang potensialnya 1 V lebih tinggi. Energi kinetik yang diperoleh elektron dalam perpindahan kedudukan itu dapat dinyatakan sebagai..
(1) $1,6 \times 10^{-19}$ Joule
(2) 1 elektron volt
(3) $1,6 \times 10^{-19}$ coulomb volt
(4) 1 volt ampere
yang benar adalah
A. 1, 2, 3 dan 4 D. 2 dan 4
B. 1, 2 dan 3 E. 4
C. 1 dan 3
14. Sebuah elektron dengan massa $9,11 \times 10^{-31}$ kg dan muatan listrik $-1,6 \times 10^{-19}$ C, lepas dari katode menuju ke anode yang jaraknya 2 cm. Jika kecepatan awal elektron 0 dan beda potensial antara anode dan katode 200 V, maka elektron akan sampai di anode dengan kecepatan
A. $2,3 \times 10^5$ m/s
B. $8,4 \times 10^6$ m/s
C. $2,3 \times 10^7$ m/s
D. 3×10^7 m/s
E. $2,4 \times 10^8$ m/s
15. Kapasitas kapasitor dapat diperkecil dengan cara-cara sebagai berikut
(1) ruang antar lempeng diisi minyak

- (2) dengan pasangan seri beberapa kapasitor
 (3) jarak kedua lempeng diperkecil
 (4) luas lempengnya diperkecil.
 yang benar adalah
- A. 1, 2, 3 dan 4 D. 2 dan 4
 B. 1, 2 dan 3 E. 4
 C. 1 dan 3
16. Tiga buah kapasitor identik yang mula-mula belum bermuatan akan dihubung dengan baterai 15 V. Bila hanya salah satunya saja yang dihubungkan dengan baterai 15 V tersebut, energi yang tersimpan dalam kapasitor adalah $\frac{3}{2}E$. Energi yang akan tersimpan bila ketiga kapasitor tadi dihubungkan seri dengan baterai adalah
- A. $\frac{1}{4} E$ D. $2 E$
 B. $\frac{1}{2} E$ E. $4 E$
 C. E
17. Tiga kapasitor A, B, dan C masing-masing berkapasitas 4F, 6F, dan 12F disusun seri kemudian dihubungkan dengan tegangan 90V. Apabila muatan listrik masing-masing kapasitor q_A , q_B , dan q_C maka ...
- A. $q_C = 3 \times q_A$
 B. $q_A < q_B < q_C$
 C. $q_B = 0$
 D. $q_C = \frac{1}{3} \times q_A$
 E. $q_A = q_B = q_C$
18. Tiga buah kapasitor masing-masing $6 \mu\text{F}$, $12 \mu\text{F}$ dan $4 \mu\text{F}$ dirangkai seri kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan 8 volt. Tegangan pada kapasitor $4 \mu\text{F}$ adalah
- A. 8,0 volt D. 1,5 volt
 B. 4,0 volt E. 0,5 volt
 C. 2,0 volt
19. Dua kapasitor dengan kapasitas $C_1 = 30 \text{ pF}$ dan $C_2 = 60 \text{ pF}$ dihubungkan seri, lalu dipasang pada tegangan listrik 100 V, seperti pada gambar. Bila

muatan listrik dan beda potensial pada masing-masing kapasitor adalah : Q_1 , Q_2 , V_1 dan V_2 maka....



(1). $Q_1 = 2 \times 10^{-9} \text{ C}$

(2). $Q_2 = 2 \times 10^{-9} \text{ C}$

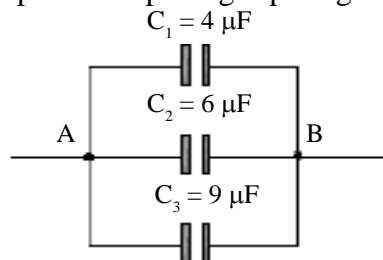
(3). $V_1 = 66,7 \text{ V}$

(4). $V_2 = 33,3 \text{ V}$

yang benar adalah

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

20. Kapasitor terpasang seperti gambar



Jika muatan yang tersimpan pada C_3 adalah $540 \mu\text{C}$, maka

- (1) muatan yang tersimpan $C_1 = 240 \mu\text{C}$
 (2) beda potensial ujung-ujung $C_2 = 60 \text{ V}$
 (3) beda potensial $AB = 60 \text{ V}$
 (4) jumlah muatan total = $360 \mu\text{C}$
21. Sebuah kapasitor dengan kapasitansi $2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$ yang pernah dihubungkan untuk beberapa saat lamanya pada beda potensial 500 V. Kedua ujungnya dihubungkan dengan ujung-ujung sebuah kapasitor lain dengan kapasitansinya $3 \cdot 10^{-5} \text{ F}$ yang tidak bermuatan. Energi yang tersimpan di dalam kedua kapasitor adalah
- A. 0,25 J D. 1,25 J
 B. 0,50 J E. 1,50 J
 C. 1,00 J

B A B

5

INDUKSI MAGNET



Sumber: indonetwork-co.id

Di SMP kalian telah dikenalkan dengan magnet batang. Apakah ada sumber lain yang dapat menghasilkan medan magnet selain batang magnet? Jawabnya dapat kalian lihat pada gambar di atas. Mengapa besi-besi tua itu dapat diangkat, bagaimana induksi magnet yang terjadi. Kejadian apa saja yang dapat menimbulkan gaya tarik magnet?

Semua hal di atas dapat kalian pelajari pada bab ini, oleh sebab itu setelah belajar bab ini kalian diharapkan dapat :

1. menentukan induksi magnet oleh kawat berarus,
2. menentukan gaya yang ditimbulkan oleh kawat berarus dalam medan magnet,
3. menentukan gaya yang ditimbulkan oleh muatan bergerak dalam medan magnet.

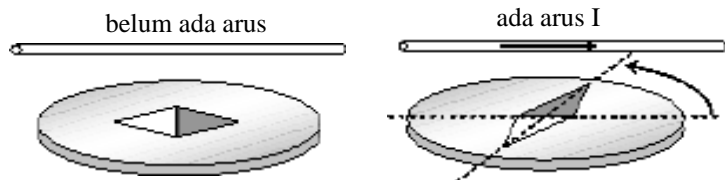
A. Medan Magnet oleh Kawat Berarus

Pada awalnya orang menemukan bahwa logam-logam tertentu dapat dibuat sebagai magnet. Magnet inilah yang dapat menimbulkan medan magnet. Magnet ini ada yang berbentuk batang, jarum dan ladam. Batang magnet ini memiliki dua kutub yaitu kutub utara U dan kutub selatan S. Dua kutub sejenis akan tolak menolak dan kutub tidak sejenis akan tarik menarik.

Pada tahun 1820 seorang ilmuwan Denmark, *Hans*

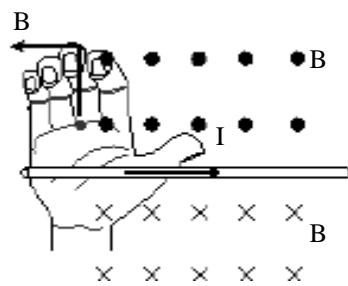
Gambar 5.1

Pengaruh kawat berarus terhadap kompas



Christian Oersted (1777-1857) menemukan suatu gejala yang menarik. Saat jarum kompas diletakkan di sekitar kawat berarus ternyata jarum kompas menyimpang. Kemudian disimpulkan bahwa di sekitar kawat berarus timbul medan magnet. Medan magnet oleh kawat berarus inilah yang dinamakan induksi magnet.

Induksi magnet merupakan besaran vektor arahnya dapat ditentukan dengan menggunakan kaedah tangan kanan. Lihat *Gambar 5.2*. Ibu jari sebagai arah arus I dan empat jari lain sebagai arah induksi magnet B . Sedangkan besaran induksi magnetnya dipengaruhi oleh kuat arusnya I , jarak titik ke penghantar dan bentuk penghantarnya. Perhatikan penjelasan berikut.



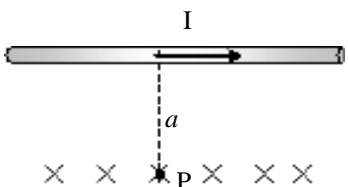
Gambar 5.2

Kaidah tangan kanan. Arah induksi magnet masuk bidang, gambar disimbolkan \otimes dan keluar bidang, gambar disimbolkan \odot

1. Kawat Lurus Panjang Berarus

Induksi magnet di sekitar kawat lurus panjang sebanding dengan kuat arus I dan berbanding terbalik dengan jaraknya a . Konstanta pembandingnya adalah

$\frac{\mu_0}{2\pi}$. Perhatikan persamaan berikut.



$$B_p = \frac{\mu_0 i}{2\pi a} \dots\dots\dots (5.1)$$

Gambar 5.3

Kawat lurus panjang berarus. Di titik P, induksi masuk bidang gambar (X)

dengan : B_p = induksi magnet di titik P (wb/m²)

i = kuat arus listrik (A)

a = jarak titik P ke kawat (m)

μ_0 = permeabilitas hampa ($4\pi \cdot 10^{-7}$ wb/Am)

CONTOH 5.1

Dua kawat lurus panjang berarus listrik sejajar dengan jarak 15 cm. Kuat arusnya searah dengan besar $I_A = 10$ A dan $I_B = 15$ A. Tentukan induksi magnet di suatu titik C yang berada diantara kedua kawat berjarak 5 cm dari kawat I_A .

Penyelesaian

$$I_A = 10 \text{ A}$$

$$I_B = 15 \text{ A}$$

$$a_A = 5 \text{ cm}$$

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

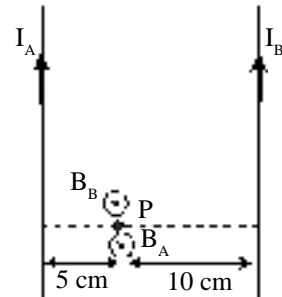
Letak titik C dapat dilihat seperti pada Gambar 5.4. Sesuai kaedah tangan kanan arah induksi magnetnya berlawanan arah sehingga memenuhi :

$$B_C = B_A - B_B$$

$$= \frac{\mu_0 I_A}{2\pi a_A} - \frac{\mu_0 I_B}{2\pi a_B}$$

$$= \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{I_A}{a_A} - \frac{I_B}{a_B} \right)$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \left(\frac{10}{5 \cdot 10^{-2}} - \frac{15}{10^{-1}} \right) = 10^{-5} \text{ wb/m}^2$$

**Gambar 5.4**

Induksi magnet di suatu titik oleh dua kawat berarus. B_B keluar bidang dan B_A masuk bidang.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

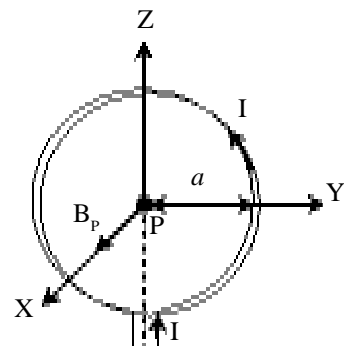
Dua kawat lurus panjang A dan B berjarak 10 cm satu sama lain. Keduanya dialiri arus sebesar $I_A = 2$ A dan $I_B = 3$ A. Tentukan :

- Induksi magnet di titik tengah antara kedua kawat,
- letak titik yang induksi magnetnya nol!

2. Kawat Melingkar Berarus

Perhatikan Gambar 5.5. Sebuah kawat dilingkar-lingarkan kemudian dialiri arus, jari-jari a dan terdapat N lilitan. Sesuai kaedah tangan kanan, induksi magnet di pusat lingkaran P arahnya ke sumbu X positif. Besarnya induksi magnet sebanding dengan kuat arus I dan berbanding terbalik dengan a . Konstanta pembandingnya $\frac{\mu_0}{2}$.

$$B_p = \frac{\mu_0 i}{2a} \text{ N} \dots\dots\dots (5.2)$$

**Gambar 5.5**

Induksi magnet di pusat lingkaran.

CONTOH 5.2

Kawat melingkar terdiri dari 50 lilitan dialiri arus sebesar 5 A. Jari-jari lingkaran 15 cm. Tentukan besar induksi magnet di pusat lingkaran tersebut.

Penyelesaian

$$I = 5 \text{ A}$$

$$N = 50$$

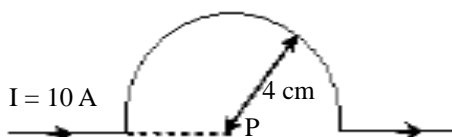
$$a = 15 \text{ cm} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Induksi magnet di pusat lingkaran memenuhi :

$$\begin{aligned} B_p &= \frac{\mu_0 i}{2a} N \\ &= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5}{2 \cdot 15 \cdot 10^{-2}} \cdot 50 = 3,3\pi \cdot 10^{-4} \text{ wb/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

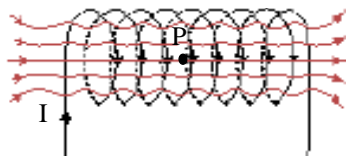
Sebuah kawat dibuat setengah lingkaran seperti gambar di bawah. Jika dialiri arus 10 A maka tentukan arah dan besar induksi magnet di titik P.

**3. Solenoida Berarus**

Solenoida adalah nama lain dari kumparan yang dipanjangkan, lihat *Gambar 5.6*. Kuat medan magnet pada titik yang berada di pusat sumbu solenoida memenuhi persamaan berikut.

$$B_p = \mu_0 i n$$

$$\text{dan } n = \frac{N}{\ell} \dots\dots\dots (5.3)$$



Gambar 5.6
Solenoida berarus

CONTOH 5.3

Sebuah solenoida jari-jarinya 2 mm dan panjangnya 50 cm memiliki 400 lilitan. Jika dialiri arus 2 A maka tentukan induksi magnet di titik tengah suatu solenoida!

Penyelesaian

$$\ell = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$N = 400$$

$$I = 2 \text{ A}$$

Induksi magnet di titik tengah suatu solenoida sebesar :

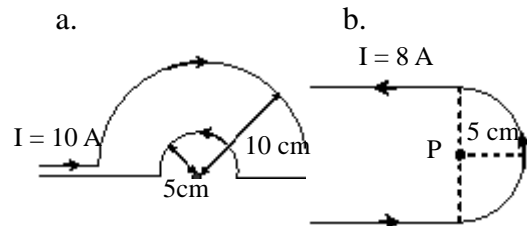
$$\begin{aligned} B &= \mu_0 i n \\ &= 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot \left(\frac{400}{0,5} \right) \\ &= 6,4\pi \cdot 10^{-4} \text{ wb/m}^2 \end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

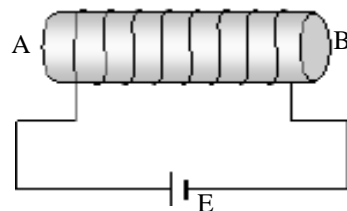
Kuat arus 5 A dialirkan pada solenoida yang memiliki kerapatan lilitan 1000 lilitan/m. Tentukan kuat medan magnet di titik tengah suatu solenoida.

**LATIHAN 5.1**

- Kawat lurus panjang berarus listrik 5 A diarahkan mendatar dari selatan ke utara. Tentukan arah dan besar induksi magnet pada titik yang berjarak 4 cm di :
 - atas kawat,
 - bawah kawat,
 - di timur kawat,
 - di barat kawat.
- Dua kawat lurus panjang berjarak 8 cm satu dengan yang lain. Kedua kawat dialiri arus $I_1 = 5 \text{ A}$ dan $I_2 = 6 \text{ A}$. Tentukan kuat medan listrik di titik yang berjarak 2 cm dari I_1 dan 6 cm dari I_2 .
- Kawat A berarus 6 A dan kawat B berarus 8 A dipasang sejajar pada jarak 14 cm. Tentukan letak suatu titik yang memiliki kuat medan magnet nol jika :
 - arusnya searah,
 - arusnya berlawanan arah!
- Tentukan induksi magnet di titik P pada kawat-kawat berarus seperti di bawah.



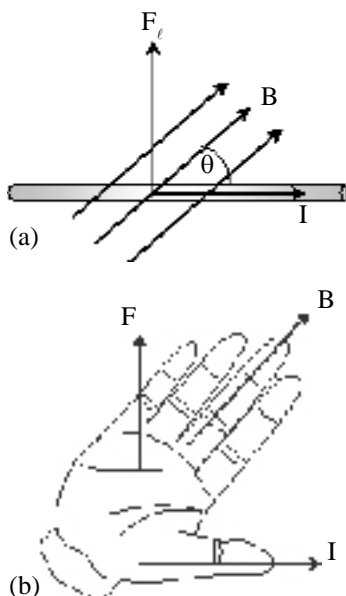
- Sebuah solenoida dihubungkan dengan sumber arus seperti gambar di bawah. Solenoida itu dapat menjadi magnet. Tentukan kutub-kutub magnet yang terjadi !



- Suatu solenoid memiliki panjang 1,5 meter dengan 500 lilitan dan jari-jari 5 mm. Bila solenoid itu dialiri arus sebesar 0,2 A, tentukanlah induksi magnet di tengah solenoid ! ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb / Am}$)

B. Gaya Lorentz

Sudah tahukah kalian dengan gaya Lorentz ? Di SMP kalian sudah belajar gaya ini. Gaya Lorentz merupakan nama lain dari gaya magnetik yaitu gaya yang ditimbulkan oleh medan magnet. Kapan akan timbul bila ada interaksi dua medan magnet, contohnya adalah kawat berarus dalam medan magnet, kawat sejajar berarus dan muatan yang bergerak dalam medan magnet. Cermati penjelasan berikut.



Gambar 5.7

1. Kawat Berarus dalam Medan Magnet

Pada setiap kawat berarus yang diletakkan dalam daerah bermedan magnet maka kawat tersebut akan merasakan gaya magnet. Gaya magnet atau gaya Lorentz merupakan besaran vektor. Arahnya dapat menggunakan kaedah tangan kanan seperti pada Gambar 5.7. Ibu jari sebagai arah I , empat jari lain sebagai arah B dan arah gaya Lorentz sesuai dengan arah telapak.

Besarnya gaya Lorentz sebanding dengan kuat arus I , induksi magnet B dan panjang kawat ℓ . Jika B membentuk sudut θ terhadap I akan memenuhi persamaan berikut.

$$F_L = B I \ell \sin \theta \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

dengan : F_L = gaya Lorentz (N)
 B = induksi magnet (wb/m²)
 I = kuat arus listrik (A)
 ℓ = panjang kawat (m)
 θ = sudut antara B dengan I

CONTOH 5.4

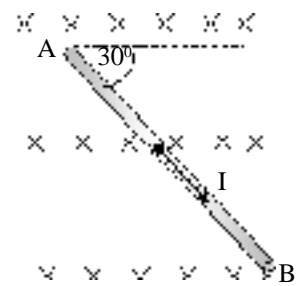
Sebuah kawat yang dialiri arus 3 A berada dalam medan magnet 0,5 tesla yang membentuk sudut 30°. Berapakah besar gaya Lorentz yang dirasakan kawat tersebut sepanjang 5 cm?

Penyelesaian

$I = 3 \text{ A}$
 $B = 0,5 \text{ tesla (1 tesla = 1 wb/m}^2\text{)}$
 $\theta = 30^\circ$
 $\ell = 5 \text{ cm} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}$
 Gaya Lorentz memenuhi :
 $F_L = B I \ell \sin 30^\circ$
 $= 0,5 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1}{2}$
 $= 3,75 \cdot 10^{-2} \text{ N}$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah kawat berada dalam medan magnet seperti *Gambar 5.8*. Medan magnet homogen $2 \cdot 10^{-3} \text{ wb/m}^2$ masuk bidang gambar. Jika kawat dialiri arus 6 A dan panjang $AB = 60 \text{ cm}$ maka tentukan besar dan arah gaya Lorentz yang dirasakan kawat AB.



Gambar 5.8

2. Kawat sejajar berarus

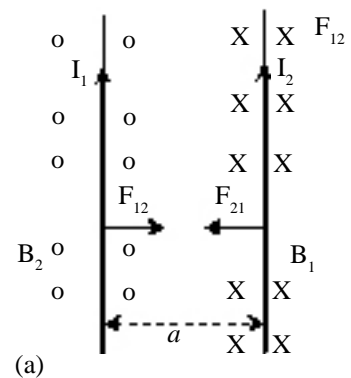
Di sekitar kawat berarus timbul induksi magnet. Apa yang akan terjadi jika kawat berarus lain didekatkan kawat pertama? Keadaan ini berarti ada dua kawat sejajar. Kawat kedua berada dalam induksi magnet kawat pertama, sehingga akan terjadi gaya Lorentz. Begitu juga pada kawat kedua akan menimbulkan gaya Lorentz pada kawat pertama. Gaya itu sama besar dan memenuhi persamaan berikut.

$$F_{21} = i_2 \ell B_1$$

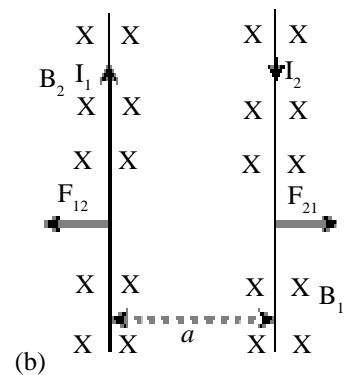
$$\text{dan } B_1 = \frac{\mu_0 i_1}{2\pi a}$$

$$F_{21} = F_{12} = i_2 \ell \left(\frac{\mu_0 i_1}{2\pi a} \right) \dots\dots\dots (5.5)$$

Bagaimanakah arahnya? Kawat sejajar yang diberi arus searah akan tarik menarik dan diberi arus berlawanan akan tolak menolak. Perhatikan *Gambar 5.9*. Bagaimana hal ini bisa terjadi? Tentukan dengan menggunakan kaedah tangan kanan.



(a)



(b)

Gambar 5.9

Gaya Lorentz pada kawat sejajar.

CONTOH 5.5

Diketahui dua buah kawat sejajar dialiri arus $I_A = 2 \text{ A}$ dan $I_B = 6 \text{ A}$ dengan arah berlawanan dan berjarak 8 cm. Tentukan gaya Lorentz yang dirasakan oleh kawat I_B sepanjang 20 cm karena pengaruh I_A !

Penyelesaian

$$I_A = 2 \text{ A}$$

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

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$l = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

Gaya Lorentz I_B oleh I_A memenuhi :

$$F_{BA} = i_B \ell B_A$$

$$\begin{aligned}
 &= i_B \ell \left(\frac{\mu_0 i_A}{2\pi a} \right) \\
 &= 6 \cdot 0,2 \left(\frac{4 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 8 \cdot 10^{-2}} \right) = 6 \cdot 10^{-6} \text{ N}
 \end{aligned}$$

Arahnya adalah tolak menolak karena arah arusnya sama.

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Dua kawat sejajar lurus panjang berjarak 20 cm satu sama lain. Kedua kawat dialiri arus masing-masing $I_1 = 10\text{A}$ dan $I_2 = 20\text{A}$ dengan arah berlawanan. Tentukan arah dan besar gaya Lorentz yang dialami kawat I_2 sepanjang 50 cm!

3. Gaya Lorentz pada Muatan Bergerak

Muatan bergerak dapat disamakan dengan arus listrik. Berarti saat ada muatan bergerak dalam medan magnet juga akan timbul gaya Lorentz. Arus listrik adalah muatan yang bergerak dan muatan yang dimaksud adalah muatan positif.

Gaya Lorentz yang dirasakan muatan positif dapat ditentukan dengan kaedah tangan kanan. Perhatikan Gambar 5.10. Ibu jari menunjukkan arah v , 4 jari lain menjadi arah B dan telapak arah gaya Lorentz. Bagaimana dengan muatan negatif? Coba kalian pikirkan!

Gaya Lorentz yang dirasakan oleh muatan bergerak tersebut memenuhi persamaan berikut.

$$F = q v B \sin \theta \quad \dots\dots\dots (5.6)$$

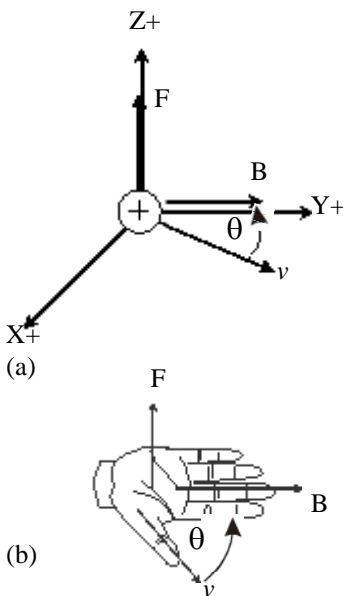
dengan : F = gaya Lorentz (N)

q = muatan (C)

v = kecepatan muatan (m/s)

B = induksi magnet (wb/m²)

θ = sudut antara v dan B



Gambar 5.10

(a) Pengaruh gaya Lorentz pada muatan bergerak (b) kaedah tangan kanan.

CONTOH 5. 6

Sebuah partikel bermuatan $+5\text{ }\mu\text{C}$ bergerak membentuk sudut 30° terhadap medan magnet homogen $0,5\text{ Wb/m}^2$ dan kecepatan partikel $4 \cdot 10^5\text{ m/s}$ maka tentukan gaya Lorentz yang bekerja pada partikel!

Penyelesaian

$$q = +5\text{ }\mu\text{C} = 5 \cdot 10^{-6}\text{ C}$$

$$\begin{aligned}v &= 4 \cdot 10^5 \text{ m/s} \\ \theta &= 30^\circ \\ B &= 0,5 \text{ Wb/m}^2\end{aligned}$$

Besar gaya Lorentz pada muatan itu memenuhi :

$$\begin{aligned}F &= q v B \sin \theta \\ &= 5 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot \sin 30^\circ = 0,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

Sebuah elektron ($e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) bergerak dengan kecepatan 2000 m/s pada arah tegak lurus medan magnet 0,8 tesla. Tentukan gaya Lorentz yang dirasakan elektron tersebut!

Pengaruh Nilai θ

Perhatikan nilai gaya Lorent pada muatan yang bergerak. $F = qvB \sin \theta$. Nilai θ ini memiliki tiga kemungkinan. Perhatikan ketiga kemungkinan tersebut.

(a) Nilai $\theta = 0$.

Nilai $\theta = 0$ terjadi jika v sejajar B akibatnya nilai $F = 0$. Karena tidak dipengaruhi gaya maka muatannya akan bergerak *lurus beraturan (GLB)*.

(b) Nilai $\theta = 90^\circ$.

Nilai $\theta = 90^\circ$ terjadi jika v tegak lurus B . Nilai $F = q v B$ dan selalu tegak lurus dengan v . Keadaan ini menyebabkan akan terjadi *gerak melingkar beraturan (GMB)*. Jari-jarinya memenuhi persamaan berikut. Coba kalian pikirkan dari manakah dapat diperoleh.

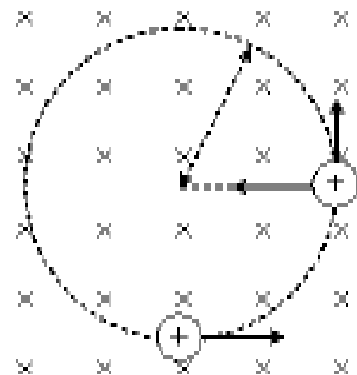
$$R = \frac{m v}{B q} \dots\dots\dots (6.11)$$

(c) Nilai $0 < \theta < 90^\circ$.

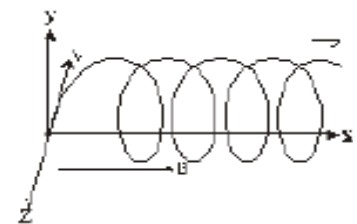
Nilai kemungkinan ketiga ini dapat menyebabkan terjadi perpaduan gerak GLB dan GMB dan terjadi gerak *helix*.

Muatan bergerak di sekitar kawat berarus

Masih ingat induksi magnet ? Kawat yang dialiri arus dapat menimbulkan medan magnet berarti muatan yang bergerak di sekitar kawat berarus sama dengan bergerak dalam medan magnet yaitu akan merasakan gaya Lorentz. Untuk memahaminya dapat kalian perhatikan contoh berikut.



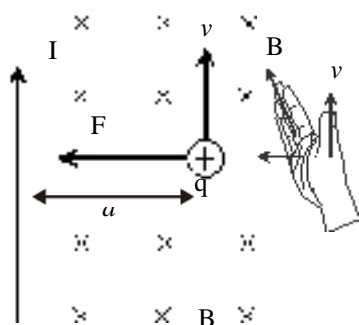
(a)



(b)

Gambar 5.11

- (a) Muatan bergerak melingkar dalam medan magnet.
(b) Muatan positif bergerak helix karena pengaruh B searah sumbu X



Gambar 5.12

CONTOH 5.7

Sebuah kawat lurus panjang dialiri arus listrik 2 A. Jika terdapat sebuah proton bergerak dengan kecepatan 4×10^4 m/s searah arus dalam kawat pada jarak 2 cm dan muatan proton $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, maka tentukan besar dan arah gaya Lorentz pada proton tersebut!

Penyelesaian

$$i = 2 \text{ A}$$

$$v = 4 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$a = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

Arah gaya Lorentz dapat menggunakan kaedah tangan kanan dan hasilnya seperti pada Gambar 5.12.

Besar gaya Lorentz memenuhi :

$$F = q v B$$

$$= q v \left(\frac{\mu_0 i}{2a} \right)$$

$$= 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^4 \left(\frac{4 \cdot 10^{-7}}{2 \cdot 0,02} \right)$$

$$= 1,28 \cdot 10^{-19} \text{ N (mendekati kawat)}$$

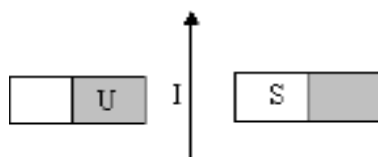
Setelah memahami contoh di atas dapat kalian coba soal berikut.

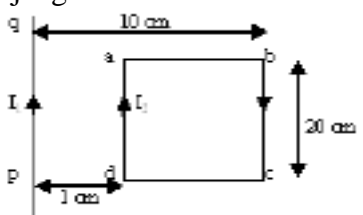
Sebuah penghantar lurus panjang dialiri arus listrik 4 A. Sebuah elektron bergerak dengan kecepatan 2×10^4 m/s berlawanan arah arus dalam penghantar dengan jarak 0,05 m dari penghantar itu. Jika muatan elektron $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C, maka tentukan besar dan arah gaya Lorentz pada elektron tersebut!

**LATIHAN 5.2**

1. Arus listrik sebesar 4 A mengalir melalui kawat penghantar. Kawat tersebut tegak lurus suatu medan magnetik $1,2 \text{ Wb/m}^2$. Berapakah gaya Lorentz yang dirasakan pada kawat sepanjang 20 cm !
2. Diantara dua buah kutub magnet U dan S ditempatkan sebuah kawat

berarus listrik I. Kawat tersebut akan mendapat gaya Lorentz, tentukan arah gaya Lorentz tersebut!



3. Pada dua buah kawat sejajar yang masing-masing dialiri arus listrik yang sama besar, timbul gaya yang besarnya $2 \cdot 10^{-7}$ N/m. Jarak antara kedua kawat itu 1 meter. Berapakah besar arus dalam setiap kawat tersebut ?
 4. Pada gambar di bawah terlukis bahwa kawat panjang lurus pq dilalui arus listrik sebesar $I_1 = 10$ A dan kawat empat persegi panjang abcd dilalui arus $I_2 = 5$ A. Berapakah resultan gaya yang dialami kawat empat persegi panjang abcd ?
- 
5. Sebuah elektron bergerak dengan kecepatan 2×10^5 ms⁻¹ searah sumbu Y+ memotong medan magnet $0,8$ mWb/m² yang searah sumbu X+. Jika $e = 1,6 \times 10^{-19}$ C, maka tentukan besar dan arah gaya yang bekerja pada electron tersebut !
 6. Suatu partikel alpha ($m = 6,4 \cdot 10^{-27}$ kg dan $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ C) bergerak tegak lurus terhadap medan magnet B yang arahnya masuk bidang gambar. Jika $B = 0,5$ T dan kecepatan partikel $4 \cdot 10^3$ m/s, maka tentukan jari-jari lintasannya !
 7. Sebuah partikel bermuatan $+ 8 \mu\text{C}$ bergerak sejajar dengan kawat berarus listrik 10 A. Jika jarak partikel ke kawat 5 cm dan laju partikel 5 m/s searah arusnya, maka tentukan besar dan arah gaya yang dialami partikel !

Rangkuman Bab 5

1. Di sekitar kawat berarus timbul induksi magnet. Arahnya sesuai kaedah tangan kanan. Besarnya memenuhi :
 - a. Di sekitar kawat lurus panjang $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$
 - b. Di pusat lingkaran : $B = \frac{\mu_0 I}{2a}$
 - c. Di tengah sumbu solenoida : $B = \mu_0 I n$
2. Gaya Lorentz adalah gaya yang timbul akibat medan magnet.
 - a. Pada kawat berarus dalam medan magnet.

$$F = B i \ell \sin \theta$$
 - b. Pada kawat sejajar berarus

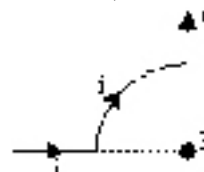
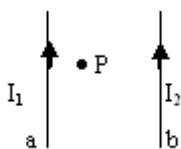
$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \ell$$
 - c. Muatan yang bergerak dalam medan magnet.

$$F = B q v \sin \theta$$

Evaluasi Bab 5

Pilihlah jawaban yang benar pada soal – soal berikut dan kerjakan di buku tugas kalian.

- Medan magnet disekitar penghantar panjang lurus berarus, berbanding terbalik dengan
A. Kuat arus listrik
B. Tegangan listrik
C. Induktansi diri
D. Jumlah lilitan kumparan
E. Jarak titik dari penghantar
- Arus listrik sepanjang kawat listrik tegangan tinggi dari selatan ke utara. Arah medan magnet yang diakibatkan arus listrik di atas kawat tersebut adalah ke
A. Selatan
B. Utara
C. timur
D. barat
E. tenggara
- Sebuah kawat lurus yang panjang berarus listrik 10 ampere. Sebuah titik berada 4 cm dari kawat. Jika $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Amp m}$, maka kuat medan magnet di titik tersebut adalah
A. $0,5 \times 10^{-4} \text{ weber / m}^2$
B. $1,0 \times 10^{-4} \text{ weber / m}^2$
C. $3,14 \times 10^{-4} \text{ weber / m}^2$
D. $4,0 \times 10^{-4} \text{ weber / m}^2$
E. $5,0 \times 10^{-4} \text{ weber / m}^2$
- Dua kawat a dan b diletakkan sejajar pada jarak 8 cm satu sama lain (gambar di bawah). Tiap kawat dialiri arus sebesar 20 A. Jika $\mu_0/4\pi = 10^{-7} \text{ Tm/A}$, maka induksi magnet di titik P yang terletak di antara kedua kawat pada jarak 2 cm dari kawat a dalam mT adalah
A. 0,1
B. 0,13
C. 0,2
D. 0,25
E. 0,3
- Dua kawat yang sangat panjang dipasang vertikal sejajar dengan jarak d. Kawat pertama dialiri arus sebesar I ke atas. Pandang titik P (dalam bidang kedua kawat itu) yang terletak diantaranya dan berjarak $1/3 d$ dari kawat pertama. Jika induksi magnet di titik P sama dengan nol, berarti arus yang mengalir dalam kawat kedua
A. $1/3 I$ ke bawah
B. $1/2 I$ ke bawah
C. $3 I$ ke atas
D. $2 I$ ke atas
E. $2 I$ ke bawah
- Kuat medan magnetik (induksi magnetik) di pusat kawat yang melingkar berjari-jari R meter dan berarus I ampere, bila $m_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ weber ampere}^{-1} \text{ meter}^{-1}$ adalah ... (dalam tesla)
A. $\mu_0 i / (2R)$
B. $\mu_0 i / (2R^2)$
C. $\mu_0 i / (2\pi R)$
D. $\mu_0 i / (4\pi R)$
E. $\mu_0 i / (4\pi R^2)$
- Kawat $1/4$ lingkaran dengan jari-jari 3 meter dialiri arus 6 ampere. Maka besar induksi magnet pada pusat lingkaran (P) adalah ... (dalam tesla)
A. $\pi \times 10^{-5}$
B. $\pi \times 10^{-7}$
C. $4\pi \times 10^{-5}$
D. $4\pi \times 10^{-7}$
E. $7\pi \times 10^{-7}$
- Kawat lurus panjang dan kawat melingkar dialiri arus sama besar 4 A. Keduanya



didekatkan tanpa bersentuhan seperti gambar. Jari-jari lingkaran 4 cm. Besar induksi magnet total yang timbul di pusat lingkaran (titik P) adalah



- A. $3,14 \cdot 10^{-5}$ tesla
 B. $4,14 \cdot 10^{-5}$ tesla
 C. $4,28 \cdot 10^{-5}$ tesla
 D. $5,28 \cdot 10^{-5}$ tesla
 E. $8,28 \cdot 10^{-5}$ tesla
9. Diantara besaran berikut :
 (1) jumlah kumparan lilitan
 (2) arus dalam kumparan
 (3) panjang kumparan
 (4) besar tegangan sumber
 Yang menentukan nilai induksi magnetik dalam kumparan adalah....
 A. 1, 2 dan 3 D. 1 dan 4
 B. semua E. 2 dan 4
 C. 1 dan 3
10. Induksi magnetik pada solenoida menjadi bertambah besar, bila....
 A. jumlah lilitannya diperbanyak, arusnya diperkecil
 B. jumlah lilitannya dikurangi, arusnya diperbesar
 C. jumlah lilitan diperbanyak, arus diperbesar
 D. solenoidanya diperpanjang, arusnya diperbesar
 E. solenoidanya diperpanjang, arusnya diperkecil
11. Perhatikan gambar berikut ini. Kawat yang panjangnya 50 cm, berarus listrik 2 A diletakkan pada medan magnet $B = 5 \cdot 10^{-4}$ tesla. Gaya yang bekerja pada kawat adalah

- A. $2,5 \cdot 10^{-4}$ N x x x x x x x x x
 B. $2,5\sqrt{2} \cdot 10^{-4}$ N x x **I = 2A** x x x
 C. $5 \cdot 10^{-4}$ N x **B** x x x x x x x
 D. $5\sqrt{2} \cdot 10^{-4}$ N x x x x x x x x x
 E. $5\sqrt{3} \cdot 10^{-4}$ N x x x **45°** x x x x x

12. Dua buah kawat sejajar yang dilalui arus listrik yang sama besar dan arahnya akan....
 A. saling tarik menarik
 B. saling tolak menolak
 C. tidak saling mempengaruhi
 D. arus listriknya menjadi nol
 E. arus listriknya menjadi dua kali lipat
13. Bila $I_1 = I_3 = 4A$ dan $I_2 = 3A$, maka besar gaya Lorentz per satuan panjang pada kawat yang berarus I_2 adalah



- A. $8/3 \times 10^{-5}$ N/m
 B. 10^{-5} N/m
 C. $1/3 \times 10^{-5}$ N/m
 D. 10^{-4} N/m
 E. 2×10^{-4} N/m
14. Sebuah kumparan empat persegi panjang dengan ukuran 24 cm x 10 cm memiliki 40 lilitan dan dialiri arus sebesar 3 ampere berada dalam suatu medan magnet serba sama sebesar $0,5 \text{ W/m}^2$. Besar momen kopel bila bidang kumparannya sejajar medan magnet adalah....
 A. $144 \times 10^0 \text{ Nm}$ D. $144 \times 10^{-3} \text{ Nm}$
 B. $144 \times 10^{-1} \text{ Nm}$ E. $144 \times 10^{-4} \text{ Nm}$
 C. $144 \times 10^{-2} \text{ Nm}$
15. Sebuah partikel dengan muatan sebesar $1\mu\text{C}$ bergerak membentuk sudut 30° terhadap medan magnet homogen $B = 10^{-4}$ tesla yang mempengaruhinya.

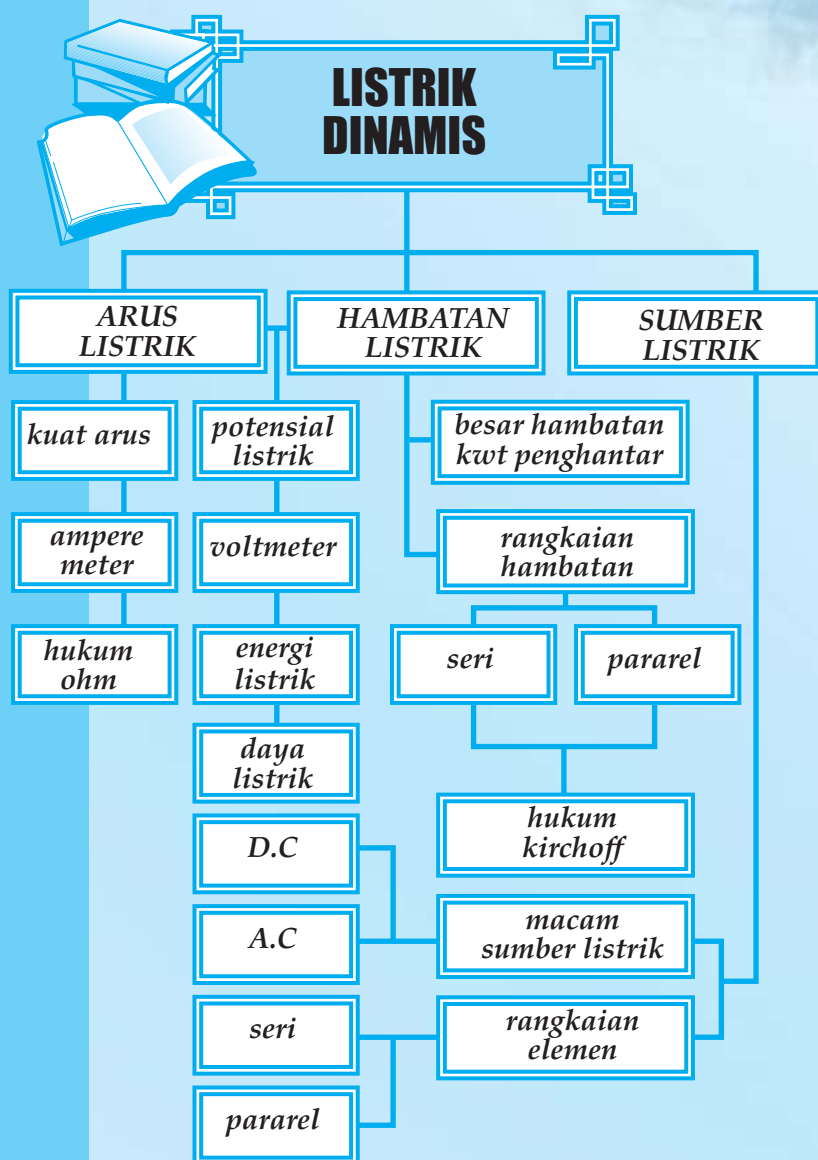
Kecepatan partikel tersebut 2000 m/s, maka gaya Lorentz yang dialaminya adalah

- A. nol D. 10^{-7} N
B. 2×10^{-6} N E. 10^{-8} N
C. 4×10^{-6} N
16. Sebuah elektron bergerak dengan kecepatan $4 \times 10^5 \text{ ms}^{-1}$ searah sb. X+ memotong medan magnet $5 \times 10^{-4} \text{ Wb m}^2$ searah sb. Z+. Bila $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, besar dan arah gaya yang bekerja pada elektron adalah
A. $3,2 \times 10^{-17} \text{ N}$ searah sb. Y-
B. $3,2 \times 10^{-17} \text{ N}$ searah sb. Y+
C. $8 \times 10^{-22} \text{ N}$ searah sb. Y-
D. $8 \times 10^{-22} \text{ N}$ searah sb. Y+
E. $2 \times 10^{-28} \text{ N}$ searah sb. Y-
17. Sebuah zarah bermuatan listrik bergerak dan masuk ke dalam medan magnet sedemikian rupa sehingga lintasannya berupa lingkaran dengan jari-jari 10 cm. Jika zarah lain bergerak dengan laju 1,2 kali zarah pertama, maka jari-jari lingkarannya 20 cm. Ini berarti bahwa perbandingan antara massa per muatan zarah pertama dengan zarah kedua adalah sebagai
A. 3 : 5 D. 5 : 6
B. 4 : 5 E. 5 : 4
C. 1 : 2
18. Partikel α bergerak dengan kecepatan $v \text{ m/s}$ tegak lurus arah medan magnet B, lintasan yang dilalui berjari-jari R m. Partikel H^1 bergerak
-
A. 4 R m D. $\frac{1}{4} \text{ R m}$
B. 2 R m E. $\frac{1}{2} \text{ R m}$
C. R m
19. Sebuah muatan uji positif bergerak dekat kawat lurus panjang yang dialiri arus listrik I. Suatu gaya yang mempunyai arah menjauhi dari kawat akan terjadi pada muatan uji tersebut apabila arah gerakannya
A. searah dengan arah arus
B. berlawanan dengan arah arus
C. mendekati kawat secara tegak lurus
D. menjauhi kawat secara tegak lurus
E. tegak lurus baik terhadap arah arus maupun terhadap arah menuju kawat
20. Sebuah penghantar lurus panjang dialiri arus listrik 1,5A. Sebuah elektron bergerak dengan kecepatan $5 \times 10^4 \text{ ms}^{-1}$ searah arus dalam penghantar, pada jarak 0,1 m dari penghantar itu. Jika muatan electron itu $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$, maka besar gaya pada electron oleh arus dalam penghantar itu adalah
A. $1,5 \times 10^{-20} \text{ N}$
B. $2,4 \times 10^{-20} \text{ N}$
C. $3,2 \times 10^{-19} \text{ N}$
D. $4,2 \times 10^{-19} \text{ N}$
E. $5,0 \times 10^{-19} \text{ N}$

5

LISTRIK DINAMIS

Setelah mempelajari materi "Listrik Dinamis" diharapkan Anda dapat menggunakan amperemeter dan voltmeter, mampu memformulasikan besaran kuat arus dalam rangkaian tertutup sederhana, besaran hambatan dalam rangkaian seri, serta besaran tegangan dalam rangkaian tertutup sederhana menggunakan hukum Kirchoff I dan II. Selanjutnya diharapkan dapat mengidentifikasi penerapan arus listrik searah dan bolak-balik dalam kehidupan sehari-hari.



Masalah listrik dan manfaatnya saat ini bukanlah hal yang asing bagi manusia, sebab saat ini tidak hanya orang-orang kota saja yang dapat merasakan manfaat listrik, tetapi orang-orang yang berada di pelosok desa juga dapat merasakan manfaat listrik. Walaupun demikian sebenarnya tidak ada yang tahu siapa yang memulai menemukan listrik walaupun listrik sudah dikenal oleh bangsa Yunani kuno dan pengkajian listrik secara intensif sudah dimulai sejak abad ke-16.

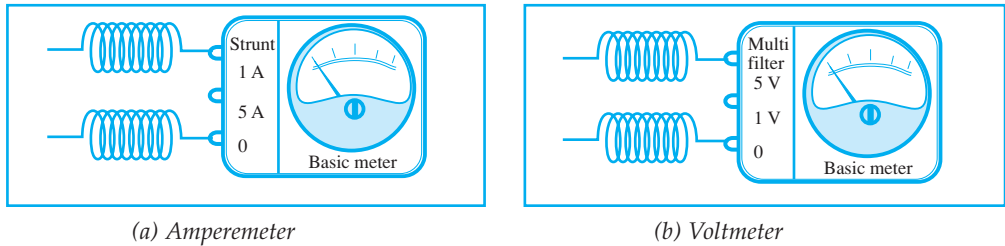
Listrik mengalir dihasilkan oleh sumber listrik dan tidak jarang listrik yang kita gunakan sumber listriknya berada pada tempat yang jauh dari kita. Dengan demikian dalam mentransmisi energi listrik jarak jauh perlu dilakukan dengan tegangan yang sangat tinggi. Untuk itu diperlukan alat yang dapat menaikkan sekaligus menurunkan tegangan listrik yang disebut dengan transformator.

A. ARUS LISTRIK DAN PENGUKURANNYA

Arus listrik adalah aliran muatan-muatan listrik yang melalui suatu penghantar. Dalam suatu rangkaian listrik, dapat terjadi arus listrik jika terdapat beda potensial listrik (beda tegangan listrik).

Semakin banyak muatan listrik yang mengalir tiap satuan waktu dikatakan semakin besar (kuat) arus listriknya. Arah arus listrik dalam suatu rangkaian listrik yaitu dari potensial tinggi ke potensial rendah.

Kuat arus listrik dapat diukur dengan alat amperemeter, yang dapat dirakit dari alat basic meter yang dipasang dengan Shunt. Beda potensial listrik dapat diukur dengan alat voltmeter, yang dapat dirakit dari alat basic meter yang dipasang dengan Multiflier.

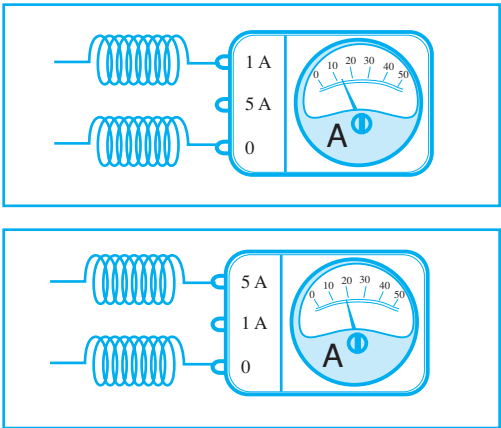


Gambar 5.1 Alat ukur listrik

1. Cara membaca skala hasil ukur amperemeter dan voltmeter

Sebelum Anda mempraktikkan penggunaan amperemeter dan voltmeter, perhatikan contoh membaca hasil ukur dengan amperemeter dan voltmeter berikut.

a. Alat ukur amperemeter



Gambar 5.2 Amperemeter

Keterangan:

Batas ukur maks = 1A

Hasil ukur = $\frac{12}{50} \times 1A$

= 0,24 A

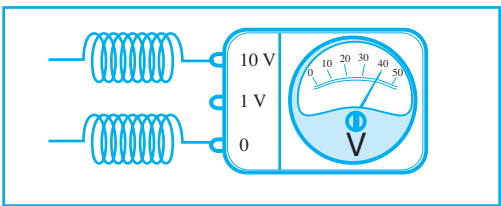
Keterangan:

Batas ukur maks = 5A

Hasil ukur = $\frac{19}{50} \times 5A$

= 1,9 A

b. Alat ukur voltmeter



Gambar 5.3 Voltmeter

Keterangan:

Batas ukur maks = 10V

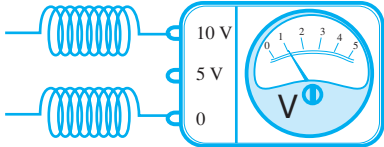
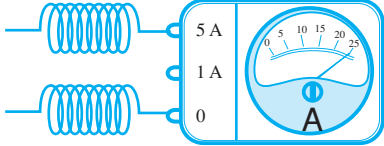
Hasil ukur = $\frac{40}{50} \times 10V$

= 8 V

Kegiatan 5.1

Tentukan batas ukur maksimum dan hasil ukur dari alat-alat ukur yang menunjukkan suatu nilai ukur tertentu berikut!

No.	Alat ukur	Batas ukur maks dan hasil ukur
1.		
2.		

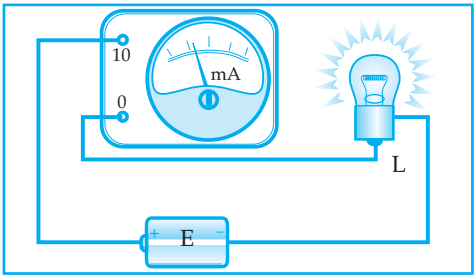
No.	Alat ukur	Batas ukur maks dan hasil ukur
3.		
4.		

2. Dalam Rangkaian alat listrik

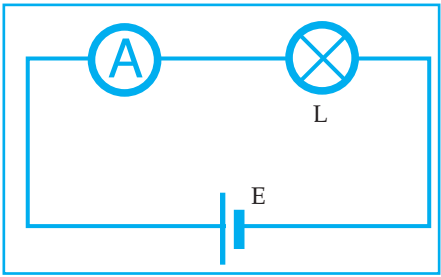
Dalam serangkaian alat diperlukan cara tertentu. Untuk amperemeter harus dipasang secara seri dengan alat listrik, sedangkan voltmeter harus dipasang secara paralel dengan alat listrik. Perhatikan dibawah ini.

a. Rangkaian amperemeter

Rangkaian sebenarnya



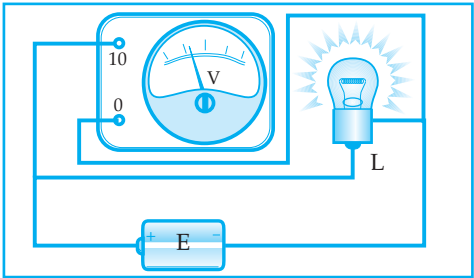
Bagan rangkaian



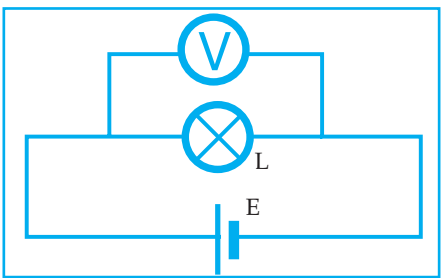
Gambar 5.4 Rangkaian amperemeter

b. Rangkaian voltmeter

Rangkaian sebenarnya



Bagan rangkaian

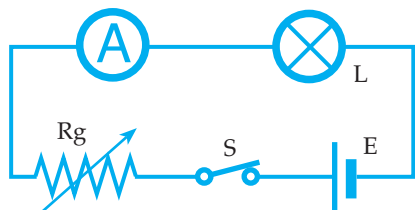


Gambar 5.5 Rangkaian voltmeter

Agar Anda lebih terampil menggunakan amperemeter dan voltmeter, maka lakukan percobaan di bawah ini.



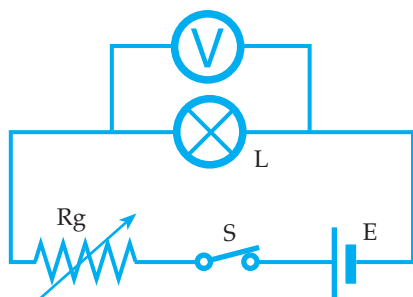
Percobaan 5.1: Mengukur kuat arus listrik



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar *S* dan catat besar kuat arus yang mengalir. Ulangi kegiatan ini sampai 2 kali dengan mengubah-ubah posisi tombol hambatan geser dan masukkan hasilnya pada tabel.



Percobaan 5.2: Mengukur beda potensial listrik



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar *S* dan catat beda potensial listrik. Ulangi kegiatan ini sampai 2 kali dengan mengubah-ubah posisi tombol hambatan geser dan masukkan hasilnya pada tabel.

* Kuat arus listrik (*I*)

Kuat arus adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir melalui suatu penghantar tiap detik.

$$I = \frac{Q}{t}$$

I = kuat arus listrik (ampere)

Q = muatan listrik (coulomb)

t = waktu (sekon)

Besarnya kuat arus yang mengalir melalui rangkaian listrik dapat diukur dengan alat amperemeter.

Contoh soal 5.1

1. Dalam waktu 5 detik muatan listrik sebanyak 20 coulomb dapat mengalir melalui kawat penghantar.

Berapakah kuat arus listrik tersebut?

Penyelesaian:

Diketahui: $t = 5$ detik

$$Q = 20^{\circ} \text{ C}$$

Ditanya: $I = \dots?$

Jawab :

$$I = \frac{Q}{t} \\ = \frac{20}{5}$$

$$I = 4 \text{ ampere}$$

2. Arus listrik 8 mA mengalir melalui sebuah kawat penghantar. Berapakah banyaknya elektron yang mengalir melalui penghantar tersebut selama 10 sekon jika muatan elektron $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

Penyelesaian:

Diketahui: $i = 8 \text{ mA} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ A}$

$t = 10$ sekon

$$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Ditanya: $N = \dots?$

Jawab:

$$Q = i \cdot t$$

$$Q = 8 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 8 \cdot 10^{-2} \text{ C}$$

$$N = \frac{Q}{q_e}$$

$$N = \frac{8 \cdot 10^{-2}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{17} \text{ elektron}$$

B. HUKUM OHM PADA PENGHAMBAT TETAP

Di awal bab ini telah dijelaskan bahwa penyebab adanya arus listrik karena adanya beda potensial listrik. George Simon Ohm, orang yang pertama kali menemukan hubungan kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar yang berhambatan tetap dengan beda potensial ujung-ujung penghantar tersebut.

Menurut George Simon Ohm menyatakan “Besarnya beda potensial listrik ujung-ujung penghantar yang berhambatan tetap sebanding dengan kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut selama suhu penghantar tersebut dijaga tetap”.

$$V \sim i \quad \text{atau} \quad \frac{V}{I} = \text{Konstan}$$

Dari penyelidikan lebih lanjut dengan menggunakan penghantar yang berhambatan R , ternyata diperoleh:

$$\frac{V}{I} = R \quad \text{atau} \quad V = I \cdot R$$

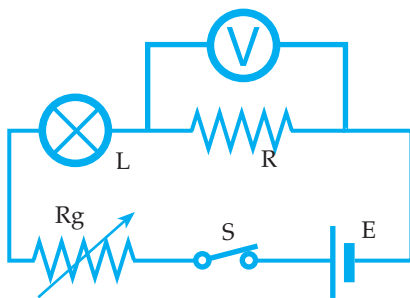
V = beda potensial (volt)

i = kuat arus (ampere)

R = hambatan kawat penghantar (Ohm)

Untuk lebih jelasnya mengenai kebenaran hukum ohm, lakukan percobaan dibawah ini.

Percobaan 5.3: Hukum Ohm



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar S dan catat besar kuat arus yang mengalir dan beda potensial listrik. Ulangi kegiatan ini sampai 2 kali dengan mengubah-ubah posisi tombol hambatan geser dan masukkan hasilnya pada tabel. Adapun susunan kolom pada tabel yang dibuat adalah beda potensial (v) volt, kuat arus listrik (I) ampere, dan $\frac{V}{I}$

Bagaimana hubungan antara V dan I ? Berapa nilai rata-rata dari $\frac{V}{I}$? Bagaimana nilai $\frac{V}{I}$ rata-rata dan nilai R ? Apakah kesimpulan yang Anda dapatkan!

Contoh soal 5.2

1. Jika ujung-ujung sebuah penghantar yang berhambatan 5 Ohm diberi beda potensial 1,5 volt, maka berapakah kuat arus listrik yang mengalir?

Penyelesaian:

Diket: $R = 5 \text{ ohm}$

$V = 1,5 \text{ volt}$

Ditanya: $i = \dots?$

Jawab:

$$i = \frac{V}{R}$$

$$i = \frac{1,5}{5} = 0,3 \text{ A}$$

2. Pada saat ujung-ujung sebuah penghantar yang berhambatan 50 ohm diberi beda potensial, ternyata kuat arus listrik yang mengalir 50 mA. Berapakah beda potensial ujung-ujung penghantar tersebut?

Penyelesaian:

Diket: $R = 50 \text{ ohm}$

$i = 50 \text{ mA} = 0,05 \text{ A}$

Ditanya: $V = \dots?$

Jawab:

$$V = i \times R$$

$$V = 0,05 \times 50$$

$$V = 2,5 \text{ volt}$$

Uji Pemahaman 5.1

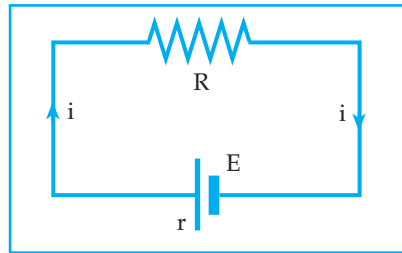
Kerjakan soal berikut!

1. Dalam waktu 4 sekon dapat mengalir elektron sebanyak 10^{20} melalui suatu penghantar yang berhambatan 20 ohm. Jika muatan elektron $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Coulomb}$. Hitunglah:
 - a. kuat arus yang melalui penghantar.
 - b. beda potensial ujung-ujung penghantar.
2. Suatu penghantar pada saat diberi beda potensial 4 volt ternyata arus yang mengalir 3 mA, maka berapakah arus yang mengalir pada penghantar tersebut bila diberi beda potensial 6 volt

C. ARUS LISTRIK DALAM RANGKAIAN TERTUTUP

Rangkaian tertutup adalah rangkaian yang ujung dan pangkal rangkaian bertemu. Di dalam sumber listrik pada umumnya terdapat hambatan yang disebut hambatan dalam yang diberi lambang r .

Gambar 5.6 di bawah adalah rangkaian tertutup sederhana yang terdiri atas hambatan luar R , elemen yang ber GGL = E , dan berhambatan dalam r yang dihubungkan dengan kawat penghantar.



Gambar 5.6 Rangkaian tertutup

Besar kuat arus listrik yang mengalir dalam rangkaian tertutup tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$i = \frac{E}{R + r}$$

i = kuat arus listrik (dalam ampere)
 E = GGL baterai (dalam volt)
 R = hambatan luar (dalam ohm)
 r = hambatan dalam (dalam ohm)

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan lagi:

$$E = i(R + r)$$

$$E = iR + ir$$

$i \cdot R$ disebut tegangan jepit (V_j), sehingga

$$V_j = i \cdot R$$

$i \cdot r$ disebut tegangan polarisasi (E_{pol}) sehingga

$$E_{pol} = i \cdot r$$

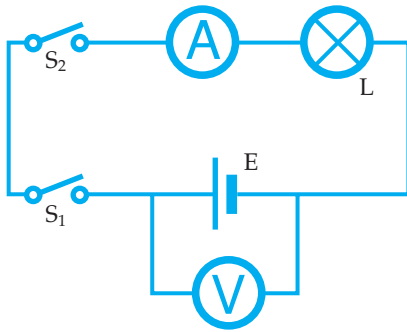
Jadi

$$E = V_j + E_{pol}$$

Untuk memahami pengertian GGL baterai (sumber listrik) dan tegangan jepit baterai, maka lakukan percobaan di bawah ini.



Percobaan 5.4: GGL dan tegangan jepit



Rangkailah alat-alat seperti di atas. Tutup saklar S_1 dan saklar S_2 dalam keadaan terbuka. Berapakah nilai dari beda potensialnya. Bagaimana keadaan lampu?

Tutup saklar S_1 dan S_2 . Berapakah nilai dari beda potensialnya? Bagaimana keadaan lampu?

Informasi:

1. Pengukuran beda potensial pada langkah percobaan b adalah kegiatan pengukuran GGL (gaya gerak listrik).
2. Pengukuran beda potensial pada langkah percobaan c adalah kegiatan pengukuran tegangan jepit.

Diskusi

- a. Apakah yang dimaksud GGL?
- b. Apakah yang dimaksud tegangan jepit?
- c. Bagaimana nilai dari GGL dan tegangan jepit? Mengapa?

Contoh soal 5.3

1. Sebuah lampu yang berhambatan $9,8 \text{ ohm}$ dinyalakan dengan sebuah baterai yang ber-GGL $1,5 \text{ volt}$ dan berhambatan dalam $0,2 \text{ ohm}$.

Hitunglah: a. kuat arus yang mengalir dalam rangkaian
b. tegangan jepit baterai
c. tegangan polarisasi baterai

Penyelesaian:

Diketahui: $R = 9,8 \text{ } \Omega$; $r = 0,2 \text{ } \Omega$
 $E = 1,5 \text{ V}$

- Ditanya: a. $i = \dots?$
 b. $V_j = \dots?$
 c. $E_{\text{pol}} = \dots?$

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } i &= \frac{E}{R + r} \\ &= \frac{1,5}{9,8 + 0,2} = 0,15\text{A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } V_j &= i \cdot R \\ &= 0,15 \times 9,8 \\ &= 1,47 \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } E_{\text{pol}} &= i \cdot r \\ &= 0,15 \times 0,2 \\ E_{\text{pol}} &= 0,03 \text{ volt} \end{aligned}$$

2. Suatu penghantar pada saat ujung-ujungnya diberi beda potensial v arus yang mengalir 50 mA.

Berapakah arus listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut jika diberi beda potensial 1,5 V.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } V_1 &= V ; & i_1 &= 50 \text{ mA} \\ V_2 &= 1,5\text{V} \end{aligned}$$

Ditanya: $i_2 = \dots?$

Jawab:

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{i_1} &= \frac{V_2}{i_2} \\ \frac{V}{50} &= \frac{1,5\text{V}}{i_2} \\ i_2 &= 75 \text{ mA} \end{aligned}$$

3. Sebuah alat listrik yang berhambatan 19,8 dihubungkan dengan baterai yang ber-GGL = E volt dan berhambatan dalam 0,2 Ω . Jika tegangan jepit baterai = 1,98 volt, maka berapa nilai dari E tersebut?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: } R &= 19,8 \Omega ; & r &= 0,2 \Omega \\ V_j &= 1,98 \text{ volt} \end{aligned}$$

Ditanya: $E = \dots?$

Jawab:

$$V_j = i \cdot R$$

$$1,98 = i \cdot 19,8$$

$$i = 0,1 \text{ A}$$

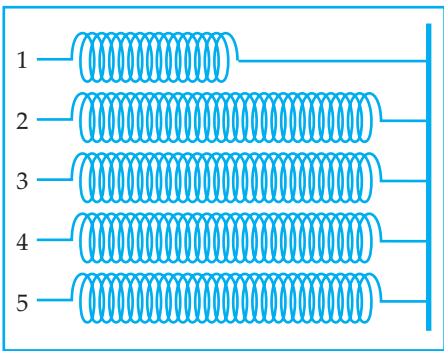
$$E = i (R + r)$$

$$E = 0,1 (19,8 + 0,2) = 2 \text{ volt}$$

D. HAMBATAN SEPOTONG KAWAT PENGHANTAR

Kawat penghantar ada yang berukuran besar atau kecil, ada juga yang panjang atau pendek serta dapat dibuat dari berbagai jenis logam.

Ternyata hal-hal tersebut berpengaruh pada nilai hambatan kawat penghantar tersebut. Untuk lebih jelasnya diskusikan hasil pengukuran hambatan beberapa jenis kawat penghantar di bawah ini.



Gambar 5.5 Kawat penghantar

Keterangan:

- 1 adalah kawat nikelin dengan panjang 0,5 m dan luas penampangnya 0,1 mm².
- 2 adalah kawat nikelin dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,1 mm².
- 3 adalah kawat nikelin dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,2 mm².
- 4 adalah kawat nikrom dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,1 mm².
- 5 adalah kawat tembaga dengan panjang 1 m dan luas penampangnya 0,1 mm².

Jika masing-masing kawat penghantar tersebut di atas diukur dengan ohm meter diperoleh hasil seperti pada tabel di bawah ini.

No.	Kawat ke-	Besar hambatan (dalam ohm)
1.	1	12,5
2.	2	25
3.	3	12,5
4.	4	45
5.	5	8,5

Kegiatan 5.2

Diskusikan dengan kelompok Anda!

Dari keterangan gambar 5.5 dan hasil pengukuran yang tertera pada tabel halaman 138, apakah yang dapat Anda simpulkan dari:

- 1) data nomor 1 dan nomor 2?
- 2) data nomor 2 dan nomor 3?
- 3) data nomor 2, nomor 4 dan nomor 5?

Secara matematis, besar hambatan kawat penghantar dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

R = hambatan kawat penghantar (ohm)
 ρ = hambatan jenis kawat (ohm meter)
 ℓ = panjang kawat (m)
 A = luas penampang kawat (m^2)

Contoh soal 5.4

1. Kawat penghantar dengan panjang 50 meter dan luas penampang 2 cm^2 , serta hambatan jenis kawat $4 \cdot 10^{-4} \Omega\text{m}$. Hitunglah besar hambatan kawat tersebut!

Penyelesaian:

Diketahui: $\ell = 50 \text{ m}$

$$A = 2 \text{ cm}^2 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\rho = 4 \cdot 10^{-4} \Omega\text{m}$$

Ditanya: $R = \dots?$

Jawab:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

$$R = 4 \cdot 10^{-4} \frac{50}{2 \cdot 10^{-4}} = 100 \Omega$$

2. Sebuah kawat penghantar dengan panjang 2ℓ dan luas penampang $\frac{1}{2}A$ mempunyai hambatan 50Ω . Jika diambil kawat lain yang sejenis dengan panjang 8ℓ dan luas penampang $\frac{1}{4}A$, maka berapakah besar hambatannya?

Penyelesaian:

$$\text{Diketahui: } \ell_1 = 2 \ell \quad ; \quad A_1 = \frac{1}{2}A \quad ; \quad R_1 = 50 \Omega$$

$$\ell_2 = 8 \ell \quad ; \quad A_2 = \frac{1}{4}A \quad ; \quad \rho_1 = \rho_2$$

Ditanya: $R_2 = \dots?$

Jawab:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1 \ell_1}{A_1} \times \frac{A_2}{\rho_1 \ell_1}$$

$$\frac{50}{R_2} = \frac{2\ell}{\frac{1}{2}A} \times \frac{\frac{1}{4}A}{8\ell}$$

$$R_2 = 400 \, \Omega$$

Uji Pemahaman 5.2

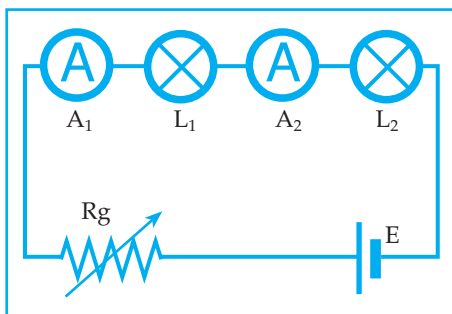
Kerjakan soal berikut!

- Sebuah lampu yang berhambatan 2,9 ohm dinyalakan dengan sebuah baterai yang ber-GGL 1,5 volt. Ternyata kuat arus yang mengalir dalam rangkaian sebesar 0,5 Ampere. Hitunglah:
 - hambatan dalam baterai
 - tegangan jepit baterai.
- Sebuah kawat tembaga mempunyai panjang 200 m dan luas penampang 20 mm². Jika hambatan jenis tembaga 1,7 · 10⁻⁸ Ωm, berapakah hambatan kawat tembaga tersebut?

E. RANGKAIAN LISTRIK

Rangkaian listrik ada dua macam, yaitu rangkaian listrik tidak bercabang dan rangkaian listrik bercabang.

1. Rangkaian Listrik Tidak Bercabang



Gambar 5.7 Rangkaian tidak bercabang

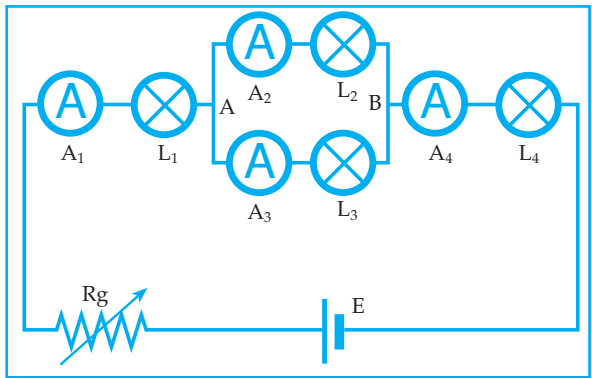
Keterangan:

Rangkaian di samping adalah rangkaian tidak bercabang.

- A₁ dan A₂ adalah amperemeter.
- L₁ dan L₂ adalah lampu.
- R_g adalah hambatan geser.
- E adalah elemen (baterai).

Setelah nilai hambatan geser diubah-ubah ternyata angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 1 dan amperemeter 2 selalu sama. Jadi “besar kuat arus listrik yang mengalir melalui rangkaian tidak bercabang dimana-mana sama besar.”

2. Rangkaian Listrik Bercabang



Keterangan:

Rangkaian di atas adalah rangkaian bercabang.

Titik A dan titik B disebut titik cabang.

Gambar 5.8 Rangkaian bercabang

Setelah nilai hambatan geser diubah-ubah ternyata angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 1 sama dengan jumlah angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 2 dan amperemeter 3 sama dengan angka yang ditunjukkan oleh amperemeter 4. Jadi “Kuat arus listrik yang masuk titik percabangan sama dengan kuat arus yang keluar dari titik percabangan tersebut.”

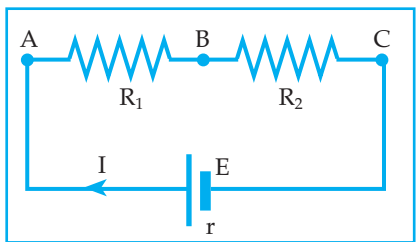
Pernyataan tersebut dikenal dengan *hukum I Kirchoff*.

F. RANGKAIAN HAMBATAN

1. Rangkaian Hambatan Seri

Jika terdapat beberapa hambatan dirangkai seri, kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan, maka masing-masing hambatan itu dialiri arus listrik yang sama besar.

Dari rangkaian hambatan di bawah ini diperoleh:



Gambar 5.9 Hambatan seri

1. besar hambatan pengganti (R_s):

$$R_s = R_1 + R_2$$

2. besar kuat arus yang mengalir (I):

$$I = \frac{E}{R_s + r}$$

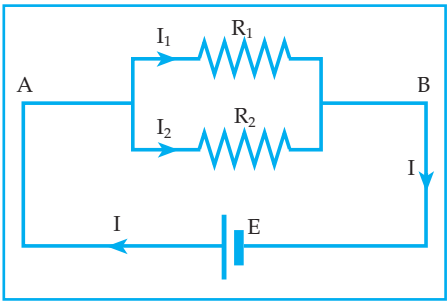
3. $V_{AC} = V_{AB} + V_{BC}$

$$I \cdot R_s = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$$

2. Rangkaian Hambatan Paralel

Jika terdapat beberapa hambatan dirangkai paralel, kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan, maka masing-masing hambatan itu mempunyai beda potensial yang sama.

Dari rangkaian hambatan di bawah ini diperoleh:



Gambar 5.10 Hambatan paralel

a. besar hambatan pengganti (R_p):

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

b. besar kuat arus yang mengalir (I):

$$I = \frac{E}{R_p + r}$$

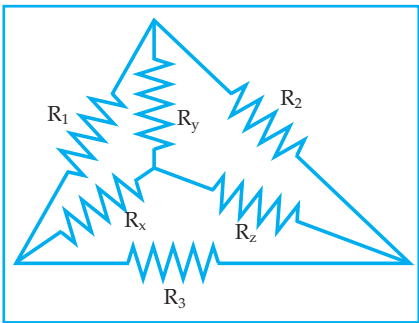
c. $I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}$

$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}$$

$$I = I_1 + I_2$$

Catatan:

Jika terdapat rangkaian hambatan yang sulit, gunakan cara segitiga hambatan.



Gambar 5.11 Segitiga hambatan

$$R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_y = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_z = \frac{R_2 \times R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

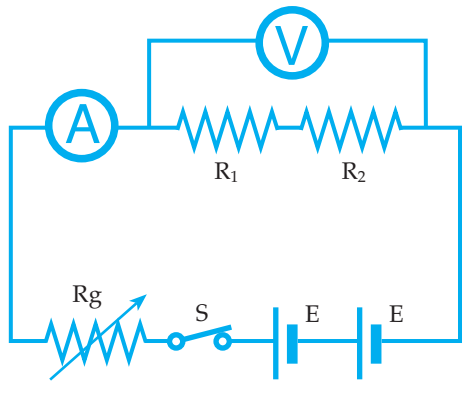
Untuk lebih jelasnya mengenai nilai pengganti rangkaian hambatan, maka lakukan percobaan di bawah ini!



Percobaan 5.5: Rangkaian hambatan

Kegiatan I

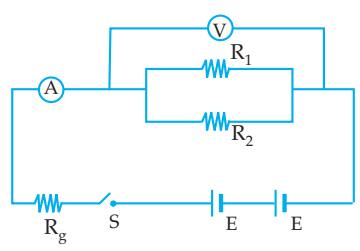
Rangkaian seri hambatan



Rangkailah alat-alat seperti gambar di atas. Tutup saklar *S* dan catatlah skala yang ditunjukkan oleh amperemeter dan voltmeter dan hasilnya masukkan pada tabel. Ulangi kegiatan ini dengan mengubah posisi tombol hambatan geser. Hasil penunjukan skala amperemeter dan voltmeter masukkan pada tabel. Adapun kolom pada tabel yang dibuat adalah: V , I , $R_s = \frac{V}{I}$, dan $R_1 + R_2$

Kegiatan II

Rangkaian paralel hambatan

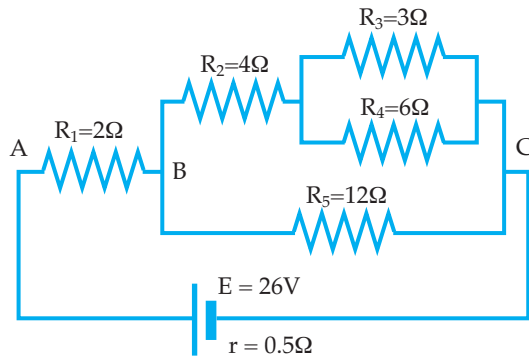


Rangkai alat-alat seperti gambar di atas. Tutup saklar *S* dan catatlah skala yang ditunjukkan oleh amperemeter dan voltmeter dan hasilnya masukkan pada tabel. Ulangi kegiatan ini dengan mengubah tombol hambatan geser. Hasil penunjukan amperemeter dan voltmeter, masukkan pada tabel. Adapun kolom pada tabel yang dibuat adalah V , I , $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{V}$, dan $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

Dari rangkaian seri hambatan dan paralel hambatan, tulislah kesimpulan yang Anda dapatkan!

Contoh soal 5.5

1.



Dari rangkaian listrik di samping maka tentukan:

- hambatan pengganti antara A dan C
- kuat arus yang keluar dari elemen
- V_{AB} , V_{BC} dan V_{AC}
- kuat arus yang melalui R_2 dan R_5

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \text{a.} \quad \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \\
 \frac{1}{R_{p1}} &= \frac{2+1}{6} \\
 R_{p1} &= \frac{6}{3} = 2 \, \Omega \\
 R_{s1} &= R_2 + R_{p1} \\
 R_{s1} &= 4 + 2 = 6 \, \Omega \\
 \frac{1}{R_{p2}} &= \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_5} \\
 \frac{1}{R_{p2}} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} &= \frac{2+1}{12} \\
 R_{p2} &= \frac{12}{3} = 4 \, \Omega \\
 R_t &= R_1 + R_{p2} \\
 R_t &= 2 + 4 = 6 \, \Omega
 \end{aligned}$$

- b) misalnya kuat arus yang keluar dari elemen = i , maka:

$$\begin{aligned}
 i &= \frac{E}{R_t + r} \\
 i &= \frac{26}{6 + 0,5} = 4 \text{ A}
 \end{aligned}$$

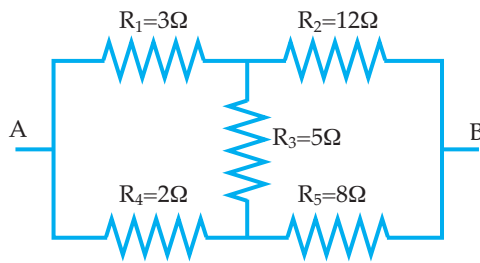
- c) $V_{AB} = i \cdot R_1 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ volt}$
 $V_{BC} = i \cdot R_{p2} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ volt}$
 $V_{AC} = i \cdot R_t = 4 \cdot 6 = 24 \text{ volt}$

- d) Misal kuat arus yang melalui R_2 adalah i_1 dan yang melalui R_5 adalah i_2 maka:

$$\begin{aligned}
 i_1 &= \frac{V_{BC}}{R_{s1}} = \frac{16}{6} = 2,67 \text{ A} \\
 i_2 &= \frac{V_{BC}}{R_5} = \frac{16}{12} = 1,33 \text{ A}
 \end{aligned}$$

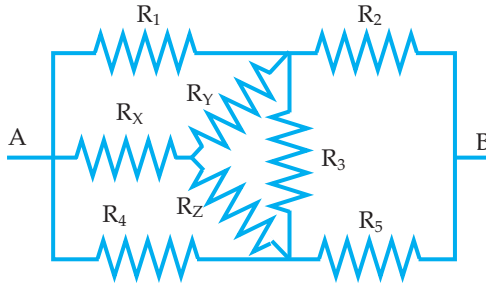
Jadi hambatan pengganti antara A dan C = $R_t = 6 \, \Omega$

2.



Dari rangkaian di samping hitung hambatan pengganti antara A dan B!

Penyelesaian:



$$R_x = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{6}{10} = 0,6 \, \Omega$$

$$R_y = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{15}{10} = 1,5 \, \Omega$$

$$R_z = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_1 + R_3 + R_4} = \frac{10}{10} = 1 \, \Omega$$

$$R_{s1} = R_y + R_2 = 1,5 + 12 = 13,5 \, \Omega$$

$$R_{s2} = R_z + R_5 = 1 + 8 = 9 \, \Omega$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{13,5} + \frac{1}{9} = \frac{22,5}{121,5}$$

$$R_p = \frac{121,5}{22,5} = 5,4 \, \Omega$$

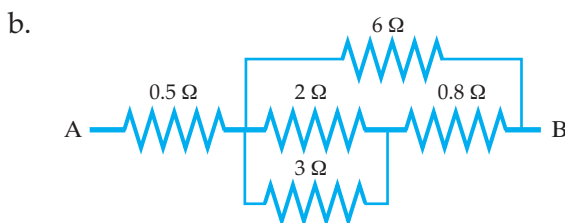
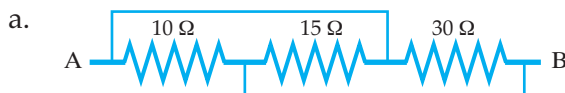
$$R_t = R_x + R_p = 0,6 + 5,4 = 6 \, \Omega$$

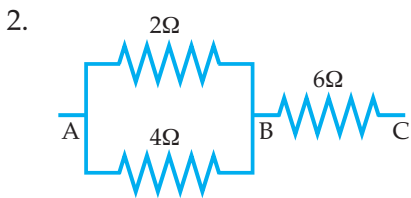
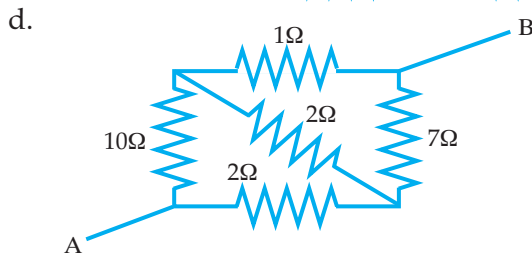
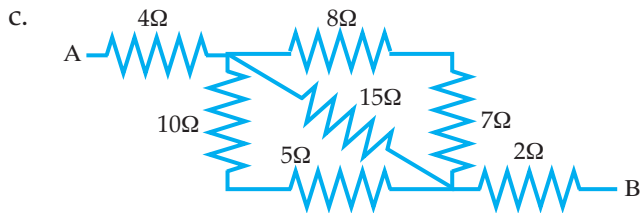
Jadi hambatan pengganti antara A dan B = $R_t = 6 \, \Omega$

Uji Pemahaman 5.3

Kerjakan soal berikut!

1. Berapakah besar hambatan pengganti antara A dan B dari hambatan-hambatan di bawah ini:





Jika kuat arus yang masuk titik A = 9 mA, hitunglah:

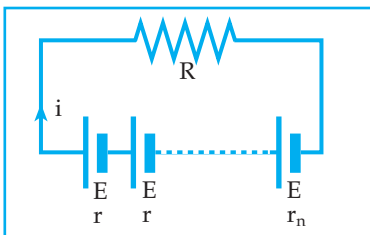
a. kuat arus yang mengalir melalui masing-masing hambatan.

b. V_{AB} , V_{BC} , dan V_{AC}

G. GABUNGAN SUMBER TEGANGAN LISTRIK

Hubungan beberapa elemen identik dalam suatu rangkaian seri atau paralel dapat mempengaruhi besar kuat arus yang mengalir melalui rangkaian tersebut.

1. Rangkaian Seri Elemen

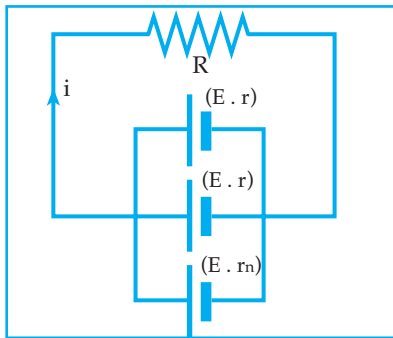


Gambar 6.12 Elemen dirangkai seri

$$i = \frac{nE}{R + nr}$$

n = jumlah elemen

2. Rangkaian Paralel Elemen



Gambar 6.13 Elemen dirangkai paralel

$$i = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$$

n = jumlah elemen

Contoh soal 5.7

1. Empat buah baterai yang masing-masing ber-GGL 1,5 V dan berhambatan dalam $1\ \Omega$ dirangkai dan dihubungkan dengan sebuah lampu yang berhambatan $10\ \Omega$. Berapa kuat arus listrik yang mengalir melalui rangkaian jika baterai itu dirangkai secara:

a) seri

b) paralel

Diketahui: $n = 4$

$$r = 1 \text{ } \Omega$$
$$E = 1,5 \text{ V}$$
$$R = 10 \, \Omega$$

Ditanya: i jika rangkaian baterai:

a) seri

b) paralel

Jawab:

$$\begin{aligned} \text{a. } i &= \frac{nE}{R + nr} \\ i &= \frac{4 \times 1,5}{10 + (4 \times 1)} = \frac{6}{14} \\ i &= 0,429 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } i &= \frac{nE}{R + r_n} \\ i &= \frac{1,5}{10 + \frac{1}{4}} = \frac{1,5}{10,25} \\ i &= 0,146 \text{ A} \end{aligned}$$

H. HUKUM II KIRCHOFF

Menurut hukum II Kirchoff: dalam suatu rangkaian tertutup, jumlah aljabar GGL dan penurunan beda potensial ($I \cdot R$) sama dengan nol.

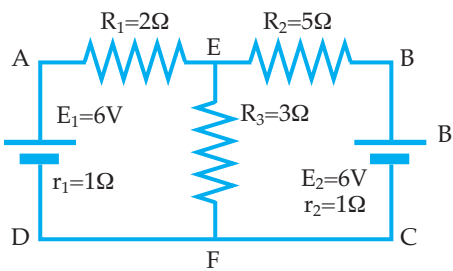
$$\Sigma E + \Sigma I R = 0$$

Perjanjian tanda E dan i:

- jika arah arus searah dengan arah loop, maka i bertanda positif
- jika arah loop bertemu dengan kutub positif sumber tegangan, maka E bertanda positif.

Contoh soal 5.8

1.

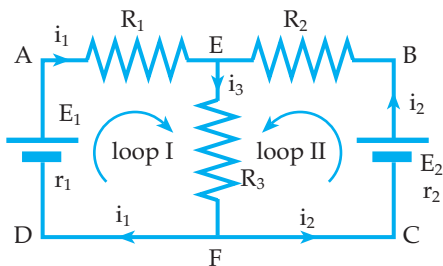


Dari rangkaian listrik di samping hitunglah:

- kuat arus pada masing-masing cabang
- beda potensial antara titik E dan F juga antara E dan C

Penyelesaian:

a.



Menurut Hk. I Kirchoff:

$$i_1 + i_2 = i_3 \dots\dots\dots (1)$$

Loop I (AEFDA):

$$\begin{aligned} \Sigma IR + \Sigma E &= 0 \\ i_1 (R_1 + r_1) + i_3 \cdot R_3 - E_1 &= 0 \\ 3 i_1 + 3 i_3 - 6 &= 0 \\ 3 i_1 + 3 i_3 &= 6 \\ i_1 + i_3 &= 2 \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

Loop II (BEFCB):

$$\begin{aligned} \Sigma IR + \Sigma E &= 0 \\ i_2 (R_2 + r_2) + i_3 \cdot R_3 - E_2 &= 0 \\ 6 i_2 + 3 i_3 - 6 &= 0 \\ 2 i_2 + i_3 &= 2 \\ 2(i_3 - i_1) + i_3 &= 2 \\ -2 i_1 + 3 i_3 &= 2 \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2 \times (2): \quad 2 i_1 + 2 i_3 &= 4 \\ (3): \quad -2 i_1 + 3 i_3 &= 2 \quad + \\ \hline 5 i_3 &= 6 \\ i_3 &= 1,2 \text{ A} \\ i_1 + i_3 &= 2 \end{aligned}$$

Jadi :

$$\begin{aligned} i_1 &= 0,8 \text{ A} \\ i_2 &= 0,4 \text{ A} \\ i_3 &= 1,2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$i_1 + 1,2 = 2$$

$$i_1 = 0,8 \text{ A}$$

$$i_2 = i_3 - i_1$$

$$i_2 = 1,2 - 0,8 = 0,4 \text{ A}$$

b. $V_{EF} = \Sigma IR + \Sigma E$

$$V_{EF} = i_3 R_3 + 0 = 1,2 \times 3 = 3,6 \text{ volt}$$

$$V_{EC} = \Sigma IR + \Sigma E$$

$$V_{EC} = -i_2 (R_2 + r_2) + E_2$$

$$V_{EC} = -0,4 (6) + 6 = 3,6 \text{ volt}$$

Uji Pemahaman 5.4

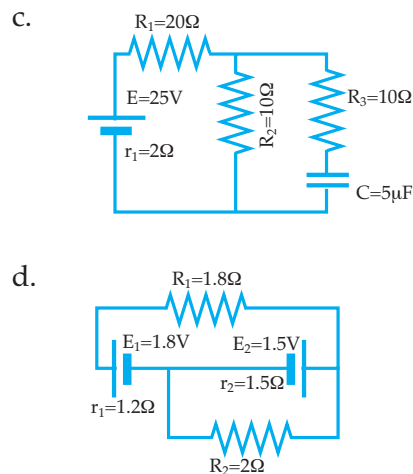
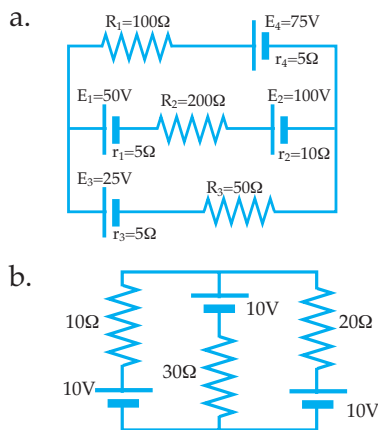
Kerjakan soal berikut!

1. Tiga buah elemen dengan GGL masing-masing 1,5 volt dan hambatan dalam 0,1 ohm disusun paralel dan dihubungkan dengan alat dengan hambatan $9 \frac{29}{30}$ ohm.

Tentukan: a. kuat arus

b. tegangan jepit

2. Hitunglah kuat arus pada masing-masing cabang dari rangkaian di bawah ini!

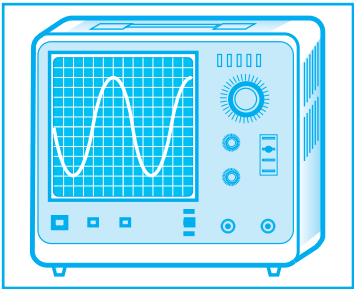


I. SUMBER ARUS

Sumber arus listrik adalah alat yang dapat menghasilkan arus listrik.

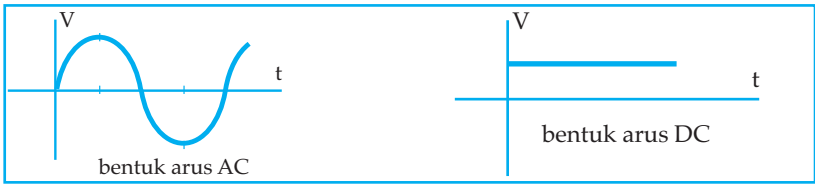
Sumber arus listrik dikelompokkan menjadi dua, yaitu sumber arus listrik

searah atau sumber DC (*Direct Current*) dan sumber arus listrik bolak-balik atau sumber AC (*Alternating Current*). Alat yang dapat menunjukkan bentuk arus DC dan bentuk arus AC adalah Osiloskop.



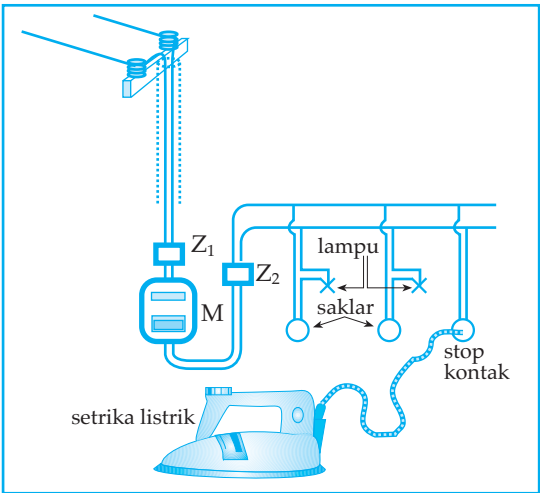
Gambar 5.13 Osiloskop

Bentuk arus DC dan bentuk arus AC yang terlihat melalui osiloskop seperti pada gambar 5.14 di bawah ini.



Gambar 5.14 Bentuk arus DC dan AC

Sumber arus bolak-balik adalah sumber arus yang menghasilkan arus bolak-balik, misalnya dinamo sepeda, generator arus bolak-balik, stop kontak arus bolak-balik. Pemasangan alat-alat listrik di rumah yang menggunakan arus listrik bolak-balik harus terpasang secara paralel. Perhatikan gambar 5.15 di bawah ini.



Gambar 5.15 Rangkaian alat listrik di rumah

Sumber arus searah adalah sumber yang menghasilkan arus searah, misalnya elemen volta, elemen Daniell, elemen basah, elemen kering (baterai) dan aki.

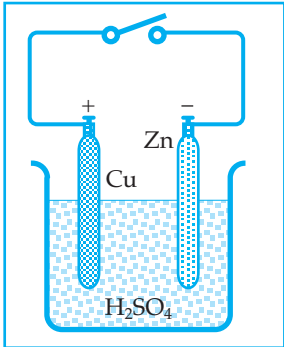
Sumber arus searah di atas disebut juga dengan elemen elektrokimia, reaksi kimia berlangsung di dalam sumber listrik tersebut.

Elemen primer, yaitu elemen yang memerlukan pengganti bahan pereaksi setelah sejumlah energi dibebaskan melalui rangkaian elemen.

Elemen sekunder adalah elemen yang dapat memperbarui bahan pereaksi setelah dialiri arus dari sumber lain yang arahnya berlawanan dengan arus yang dihasilkan elemen itu, misalnya akki.

Beberapa contoh sumber arus searah, yaitu sebagai berikut.

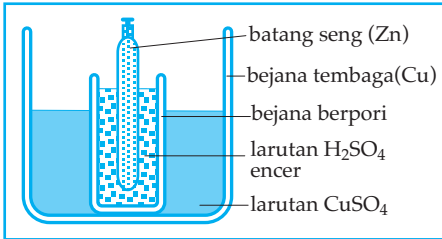
1. Elemen Volta



Gambar 5.16 Elemen volta

- Larutan elektrolit : H_2SO_4
- Kutub positif : Cu (tembaga)
- Kutub negatif : Zn (seng)
- Selama elemen digunakan pada lempeng tembaga (Cu) timbul pembentukan gas hidrogen (peristiwa polarisasi)
- Beda potensialnya ± 1 volt.

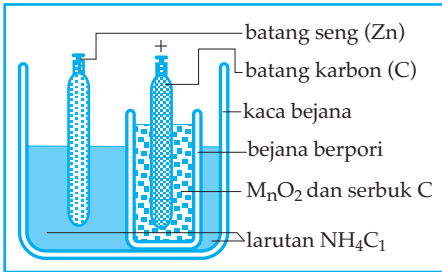
2. Elemen Daniell



Gambar 5.17 Elemen Daniell

Ciri khas: memiliki depolarisator (untuk mencegah terjadinya pembentukan gas hidrogen). Di sini depolarisator (CuSO_4) akan mengikat gas hidrogen. Akibatnya alat ini dapat dipakai lebih lama. GGL elemen ini sekitar 1 volt.

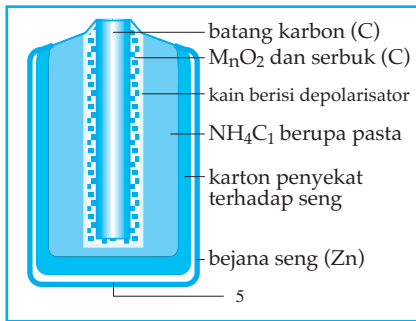
3. Elemen Leclanche Basah



Gambar 5.18 Elemen Leclanche basah

Elektrolitnya adalah NH_4Cl dan depolarisatornya mangandioksida (MnO_2). Reaksi pengikatan hidrogen dengan MnO_2 ini berlangsung kurang cepat sehingga lama kelamaan terjadi juga polarisasi. GGL akan turun dari harga GGL semula (1,5 volt).

4. Elemen Kering (Elemen Leclanche Kering)

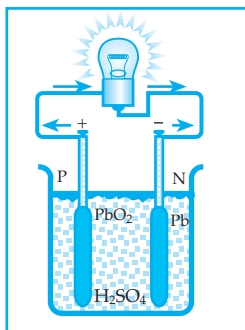


Gambar 5.19 Elemen kering

Elemen Leclanche kering terdiri dari:

- sebuah bejana seng, sekaligus sebagai kutub negatif
- karton penyekat terhadap seng
- elektrolit yang berupa campuran pasta NH_4Cl dengan serbuk kayu, tepung atau getah
- batang karbon, sebagai kutub positif
- GGL elemen kering $\pm 1,5 \text{ V}$

5. Elemen Sekunder



Gambar 5.20 Elemen sekunder

- Larutan elektrolitnya : H_2SO_4
- Kutub positifnya : PbO_2
- Kutub negatifnya : Pb
- Selama accu digunakan PbO_2 maupun Pb akhirnya berubah menjadi PbSO_4 .
- Beda potensialnya $\pm 2 \text{ volt}$

J. ENERGI DAN DAYA LISTRIK

1. Energi Listrik (W)

Energi listrik adalah kemampuan arus listrik untuk melakukan usaha.

Besar energi listrik dapat dirumuskan:

- $W = V \cdot I \cdot t$
- $W = I^2 \cdot R \cdot t$
- $W = V^2 \cdot \frac{t}{R}$

- W = energi listrik \longrightarrow (Joule)
 V = beda potensial \longrightarrow (Volt)
 I = kuat arus \longrightarrow (ampere)
 R = hambatan \longrightarrow (ohm)
 t = waktu \longrightarrow (sekon)

2. Energi Kalor (Q)

Dalam suatu penghantar energi listrik diubah menjadi energi kalor.

Dengan demikian besar energi kalor dapat dirumuskan:

$$Q = 0,24 V \cdot I \cdot t \text{ kalori}$$

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

3. Daya Listrik (P)

Daya listrik adalah energi listrik tiap detik.

$$1. P = \frac{W}{t}$$

$$2. P = V \cdot I$$

$$3. P = I^2 \cdot R$$

$$4. P = \frac{V^2}{R}$$

Satuan dari daya listrik (P) adalah joule/sekon atau watt.

Satuan yang lain: Kilo Watt (KW), Mega Watt (MW).

$$1 \text{ KW} = 1.000 \text{ W}$$

$$1 \text{ MW} = 1.000.000 \text{ W}$$

Satuan untuk energi listrik (W) selain joule adalah:

watt sekon (Ws), watt jam (WH), kilo watt jam (KWH).

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ joule}$$

$$1 \text{ WH} = 3.600 \text{ joule}$$

$$1 \text{ KWH} = 1.000 \text{ WH}$$

$$1 \text{ KWH} = 3.600.000 \text{ joule}$$

Contoh soal 5.9

1. Kuat arus listrik sebesar 0,5 A mengalir melalui penghantar yang ber hambatan 20 ohm selama 5 menit. Berapakah daya listrik pada penghantar selama itu?

Penyelesaian:

Diketahui: $i = 0,5 \text{ A}$

$$R = 20 \text{ ohm}$$

$$t = 5 \text{ menit} = 300 \text{ detik}$$

Ditanya: $P = \dots?$

Jawab:

$$P = i^2 \cdot R$$

$$= 0,25 \cdot 20$$

$$P = 5 \text{ watt}$$

2. Lampu listrik yang tertulis 25 W, 110 V dinyalakan selama 10 jam. Jika 1 KWh berharga Rp. 500,00, maka berapakah biaya yang harus dibayar selama itu?

Penyelesaian:

Diketahui: $P = 25 \text{ W}$

$$V = 110 \text{ volt}$$

$$t = 10 \text{ jam}$$

$$1 \text{ KWh} = \text{Rp. } 500,00$$

Ditanya: Besar biaya = ...?

Jawab:

$$W = P \cdot t$$

$$= 25 \cdot 10 = 250 \text{ Wh}$$

$$W = 0,25 \text{ KWh}$$

$$\text{Jadi biayanya} = 0,25 \times \text{Rp. } 500,00$$

$$= \text{Rp. } 12.500,00$$

Uji Pemahaman 5.5

Kerjakan soal berikut!

1. Sebuah lampu listrik tertulis 100 W, 220 V dihubungkan pada sumber tegangan listrik 110 V selama 10 jam. Jika 1 KWh berharga Rp 150,00, maka berapa biaya yang harus dibayar selama itu?
2. Dua buah lampu listrik yang masing-masing berhambatan 15Ω dan 10Ω dirangkai paralel dan dihubungkan dengan aki yang ber-GGL 12 V dan berhambatan dalam 2Ω . Hitunglah:
 - a. daya yang muncul pada masing-masing lampu
 - b. energi yang digunakan kedua lampu selama 10 menit.

Rangkuman

- Arus listrik adalah aliran muatan-muatan listrik.
- Penyebab mengalirnya arus listrik karena adanya beda potensial listrik.
- Alat ukur kuat arus listrik adalah amperemeter.
- Alat ukur beda potensial listrik adalah voltmeter.
- Kuat arus listrik: $I = \frac{Q}{t}$
- Hukum ohm: $v \sim i$ atau $v = i \cdot R$
- Arus listrik dalam rangkaian tertutup
$$i = \frac{E}{R + r} \quad V_j = i \cdot R$$
$$E = V_j + E_{\text{pol}} \quad E_{\text{pol}} = i \cdot r$$
- Hambatan sepotong kawat penghantar: $R = \rho \frac{\ell}{A}$

- Rangkaian hambatan
 - a. seri : $R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$
 - b. paralel: $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$
- Gabungan sumber tegangan listrik
 - a. seri: $i = \frac{nE}{R + nr}$
 - b. paralel: $i = \frac{E}{R + \frac{r}{n}}$
- Hukum II Kirchoff: $\Sigma E + \Sigma iR = 0$
- Sumber tegangan listrik ada dua macam yaitu sumber arus searah (DC) dan sumber arus bolak-balik (AC)
- Energi listrik

$$W = v.i.t = i^2.R.t = \frac{v^2 t}{R}$$
- Daya listrik

$$P = \frac{W}{t} = v.i = i^2.R = \frac{v^2}{R}$$

KATA KUNCI

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| - arus listrik | - tegangan polarisasi |
| - kuat arus | - hambatan seri |
| - beda potensial | - hambatan paralel |
| - amperemeter | - energi listrik |
| - voltmeter | - energi kalor |
| - hambatan penghantar | - daya listrik |
| - tegangan jepit | |



KOMPETENSI

A. Pilih satu jawaban yang paling benar!

1. Arus listrik dapat mengalir dalam suatu penghantar listrik jika terdapat
 - a. potensial listrik pada setiap titik pada penghantar tersebut
 - b. elektron dalam penghantar tersebut
 - c. beda potensial listrik pada ujung-ujung penghantar tersebut
 - d. muatan positif dalam penghantar tersebut
 - e. muatan positif dan negatif dalam penghantar tersebut
2. Besar hambatan listrik suatu kawat penghantar tergantung pada:
 - (1) panjang kawat
 - (2) luas penampang kawat
 - (3) jenis kawat
 - (4) kuat arus listrik yang mengalir pada kawat

Pernyataan yang benar adalah

- a. (1), (2), (3), (4)
 - b. (1), (2), (3)
 - c. (1), (3)
 - d. (2), (4)
 - e. (4) saja
3. Semakin besar beda potensial ujung-ujung kawat penghantar maka semakin:
 - (1) besar muatan listrik yang mengalir melalui penghantar
 - (2) besar kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar
 - (3) besar nilai hambatan jenis penghantar

Pernyataan yang benar adalah

- a. (1), (3)
 - b. (2), (3)
 - c. (1), (2)
 - d. (1), (2), (3)
 - e. (3)
4. Seutas kawat dengan panjang 8 m, luas penampang $0,5 \text{ mm}^2$ serta memiliki hambatan jenis $2,5 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m}$. Jika kawat dialiri arus listrik hingga ujung-ujungnya mempunyai beda potensial 8 volt, maka kuat arus listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut adalah
 - a. 0,2 A
 - b. 0,02 A
 - c. 0,002 A
 - d. 2 A
 - e. 20 A
 5. Nilai hambatan jenis dari suatu kawat penghantar tergantung:
 - (1) panjang kawat
 - (2) luas penampang kawat
 - (3) jenis kawat
 - (4) bentuk kawatPernyataan yang benar adalah
 - a. (1), (2), (3)
 - b. (1), (3)
 - c. (2), (4)
 - d. (3) saja
 - e. (4) saja
 6. Aki termasuk elemen sekunder sebab
 - a. dapat digunakan setiap saat
 - b. beda potensialnya sekitar 2 volt
 - c. terjadi reaksi kimia pada larutan asam sulfatnya
 - d. bila aliran listrik habis dapat dilakukan penyetruman lagi
 - e. bila aliran listrik habis tidak dapat digunakan lagi

7. Titik A dan B diberi beda potensial listrik tertentu. Pada saat titik A dan B dihubungkan dengan penghantar yang berhambatan 15 ohm arus listrik yang mengalir 20 mA.

Dengan demikian jika titik A dan B dihubungkan dengan penghantar yang berhambatan 10 ohm arus listrik yang mengalir

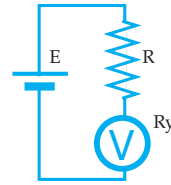
- 15 mA
 - 20 mA
 - 10 mA
 - 30 mA
 - 25 mA
8. Tiga buah penghantar masing-masing berhambatan 6 ohm dirangkai. Yang tidak mungkin sebagai nilai penghambat pengganti dari ketiga hambatan tersebut adalah
- 10 ohm
 - 2 ohm
 - 4 ohm
 - 9 ohm
 - 12 ohm
9. Alat pemanas listrik A dengan tegangan listrik V dapat mendidihkan 1 liter air dalam waktu 10 menit. Alat listrik B dengan tegangan v dapat mendidihkan 1 liter air dalam waktu 15 menit. Jika alat pemanas listrik A dan B dirangkai paralel dan diberi tegangan listrik v digunakan untuk mendidihkan 1 liter air diperlukan waktu

- 25 menit
- 6 menit
- 5 menit
- 150 menit
- 1,5 menit

10. Bola lampu 60 w, 120 v dipasang pada beda potensial 80 v, maka kuat arus yang melalui bola lampu sebesar

- 0,5 A
- 0,75 A
- 0,33 A
- 3 A
- 2 A

11.



Hambatan yang sangat besar diukur dengan voltmeter, jika $E = 12$ volt dan $R_v = 20$ k Ω serta

voltmeter menunjukkan 2 volt, maka hambatan itu bernilai

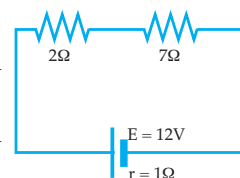
- 10 k Ω
- 24 k Ω
- 40 k Ω
- 100 k Ω
- 440 k Ω

12. Untuk rangkaian di bawah ini, energi yang timbul tiap detiknya dalam tahanan 2 Ω adalah

- 18 watt
- 12 watt
- 9 watt
- 6 watt
- 2,88 watt

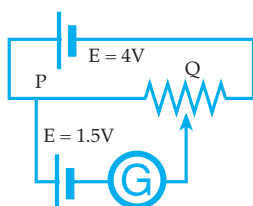
13. Pada elemen volta elektrolit yang dipakai adalah H_2SO_4 di mana elektrolit ini selalu terurai menjadi ion $2H^+$ dan SO_4^{2-} , ion $2H^+$ akan bergerak menuju

- elektroda Zn
- elektroda Cu
- elektroda Pb



- elektroda C
- elektroda PbO_2

14.



Jika di dalam rangkaian listrik ini, jarum galvanometer tidak menyimpang, maka tegangan antara P dan Q adalah

- a. 5,5 V
- b. 4 V
- c. 2 V
- d. 1,5 V
- e. 0,75 V

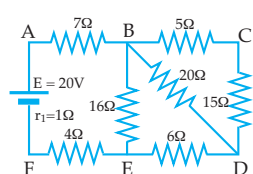
15. Beda potensial kutub-kutub baterai, selama baterai tidak mengalirkan arus listrik disebut ... baterai.

- a. tegangan jepit
- b. GGL
- c. tegangan rugi
- d. tegangan polarisasi
- e. selisih tegangan

B. Kerjakan soal di bawah ini!

1. Kuat arus listrik 100 mA mengalir melalui suatu kawat penghantar. Berapakah besar muatan listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut selama 20 menit?
2. Sebuah baterai pada saat ditutup dengan hambatan luar 9 ohm mengalirkan arus 1,5 A, tetapi jika ditutup dengan hambatan luar 19 ohm mengalirkan arus 0,75 A. Hitunglah GGL dan hambatan dalam baterai tersebut!

3.



Dari rangkaian di samping hitunglah:

- a. hambatan pengganti antara A dan F
 - b. kuat arus pada masing-masing hambatan!
4. Kompor listrik yang bertuliskan 500 W, 220 V digunakan untuk memanaskan 300 gram air dari 20°C sampai 100°C. Jika kalor jenis air = 1 kal/gr °C, maka berapa lama waktu yang diperlukan?
 5. Sebuah alat ukur kuat arus listrik yang berhambatan 500 Ω hanya dapat dilalui arus 0,1 A. Agar alat tersebut dapat dilalui arus sebesar 0,6 A, berapakah besar hambatan yang harus dipasang paralel dengan alat tersebut?