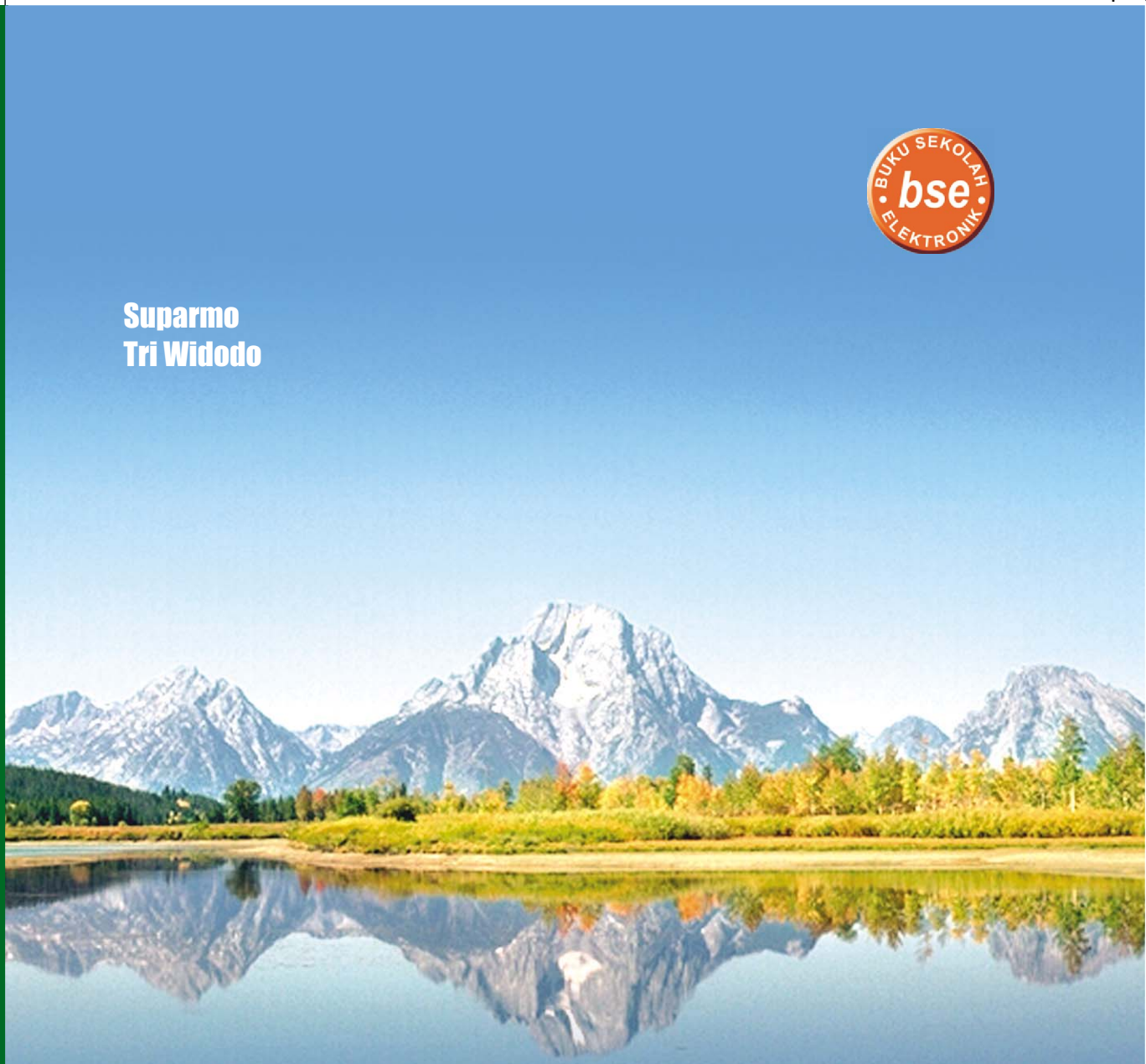
Suparmo
Tri Widodo

Panduan Pembelajaran Fisika XII

SMA & MA



Panduan Pembelajaran Fisika

Untuk SMA & MA

Kelas XII

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

PANDUAN BELAJAR

KIMIA

Untuk SMU & MA

PUSAT PERBUKUAN
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta Pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi oleh Undang-Undang

Panduan Pembelajaran
Fisika XII

Disusun oleh:
Suparmo, Tri Widodo

Editor:
Susilowati

Setting/Lay Out:
Ika widyaningsih E

Perwajahan:
Wahyudin Miftahul Anwar

Ilustrator:
Adi Wahyono, Purwanto

530.07
SUP SUPARMO
p Panduan Pembelajaran Fisika : untuk SMA & MA Kelas XII /penulis,Soparmo, Tri Widodo ; editor, Susilowati ; illustrator, Adi Wahyono, Purwanto . — Jakarta : Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional, 2009.
vi, 289 hlm, : ilus. ; 25 cm.

Bibliografi : hlm. 284
Indeks
ISBN 978-979-068-819-3 (No. Jil. Lengkap)
ISBN 978-979-068-822-3

1. Fisika-Studi dan Pengajaran I. Judul II. Tri Widodo III. Susilowati VI. Adi Wahyono V. Purwanto

Hak Cipta Buku ini dibeli oleh Departemen Pendidikan Nasional
dari Penerbit : CV. Karya Mandiri Nusantara

Diterbitkan oleh Pusat Perbukuan
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2009

Diperbanyak oleh : ...

Kata Sambutan

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2009, telah membeli hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis/penerbit untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui situs internet (*website*) Jaringan Pendidikan Nasional.

Buku teks pelajaran ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan dan telah ditetapkan sebagai buku teks pelajaran yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 9 Tahun 2009 tanggal 12 Februari 2009.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para penulis/penerbit yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para siswa dan guru di seluruh Indonesia.

Buku-buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*down load*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun, untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Diharapkan bahwa buku teks pelajaran ini akan lebih mudah diakses sehingga siswa dan guru di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para siswa kami ucapkan selamat belajar dan manfaatkanlah buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, Juni 2009

Kepala Pusat Perbukuan

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya bahwa Tim Penulis telah berhasil menyusun buku **Panduan Pembelajaran Fisika untuk Sekolah Menengah Atas dan Madrasah Aliyah Kelas XII**. Tim Penulis dan Editor berupaya semaksimal mungkin untuk berkarya dengan harapan buku kami dapat membantu pencapaian kompetensi siswa dalam rangka meningkatkan kualitas bangsa Indonesia. Buku ini dapat digunakan sebagai pegangan siswa maupun guru.

Buku ini disajikan dengan pendekatan pembelajaran sistem CTL *(Contextual Teaching and Learning)* agar siswa dan guru mendapatkan arahan dalam melaksanakan proses pembelajaran baik di dalam maupun di luar kelas. Soal-soal pilihan ganda dan uraian ditempatkan pada bagian akhir setiap bab untuk mengetahui sejauh mana siswa mencapai kompetensi yang diharapkan. Hal ini dimaksudkan agar siswa dapat belajar secara tuntas dengan memahami materi yang disajikan dan dapat menerapkannya untuk memecahkan soal-soal latihan.

Semoga buku ini dapat menjadi panduan bagi siswa dan guru dalam melaksanakan pendidikan yang berbasis kompetensi, dan tidak lupa kami ucapkan terima kasih dan rasa penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para siswa dan guru yang menggunakan buku ini. Kritik dan saran akan sangat membantu kami dalam melakukan revisi untuk kesempurnaan edisi berikutnya.

Jakarta, Juni 2007

Penulis

Daftar Isi

Katalog Dalam Terbitan ii
Kata Sambutan iii
Kata Pengantar iv
Daftar Isi v
Bab I Gejala Gelombang 1
A. Rambatan Gelombang 3
B. Gelombang Transversal dan Gelombang Longitudinal 4
C. Kecepatan Merambat Gelombang 5
D. Persamaan Gelombang Berjalan 7
E. Interferensi Gelombang 9
F. Cepat Rambat Gelombang pada Dawai 14
G. Polarisasi Gelombang 18
Evaluasi 22
Bab II Gelombang Elektromagnetik 27
A. Radar 29
B. Interferensi pada Celah Ganda 32
C. Difraksi 34
D. Polarisasi Gelombang Elektromagnetik 36
Evaluasi 42
Bab III Bunyi 45
A. Kuat Nada dan Tinggi Nada 47
B. Cepat Rambat Bunyi 47
C. Intensitas Bunyi dan Taraf Intensitas Bunyi 51
D. Nada yang Ditimbulkan oleh Dawai 56
E. Nada yang Ditimbulkan oleh Pipa Organa 60
F. Peristiwa Pelayangan Gelombang 64
G. Resonansi 65
H. Efek Dopler 68
Evaluasi 72
Bab IV Potensial Listrik dan Energi Listrik 75
A. Interaksi Elektrostatik 77
B. Elektroskop 81
C. Generator Van de Graaf 84

D. Medan Listrik 84
E. Manfaat Benda Bermuatan 92
F. Energi Potensial Listrik 93
G. Penerapan Medan Listrik, Potensial Listrik, dan Energi Potensial Listrik pada Kapasitor ... 99
Evaluasi 112
Bab V Medan Magnet 117
A. Penemuan Oersted 119
B. Induksi Magnetik pada Kawat Penghantar Melingkar Berarus Listrik 124
C. Gaya Lorentz 129
D. Gaya Magnetik pada Dua Penghantar yang Berarus Listrik 134
Evaluasi 138
Bab VI Induksi Elektromagnetik 143
A. Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi 145
B. Penerapan Hukum Faraday pada Produk Teknologi 150
C. Harga Efektif 159
D. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Hambatan Murni 161
E. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Induktor 163
F. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Kapasitor 166
G. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Resistor, Induktor, dan Kapasitor yang Disusun Seri 169
H. Pemanfaatan Sifat Resonansi 172
I. Daya 172
Evaluasi 176

Evaluasi Semester Gasal 180

Bab VII Radiasi Benda Hitam 185
A. Pancaran Benda Hitam 187
B. Teori Kuantum Planck 190
Evaluasi 192

Bab VIII Fisika Atom 195
A. Pendapat Demokritus 197
B. Teori Atom Dalton 197
C. Model Atom Thomson 197
D. Model Atom Rutherford 198
E. Model Atom Bohr 203
F. Bilangan Kuantum 208
G. Prinsip Eksklusi 212
H. Sifat Kimiawi Atom 213
Evaluasi 218
Bab IX Relativitas Khusus 221
A. Percobaan Michelson dan Morley 223
B. Transformasi Galileo 226
C. Postulat Einstein 229
D. Transformasi Lorentz 232
E. Kontraksi Panjang Lorentz 235
F. Dilatasi Waktu 237
G. Massa Benda Menurut Teori Relativitas 239
H. Energi Menurut Teori Relativitas 240
I. Momentum Benda 242
Evaluasi 244
Bab X Fisika Inti dan Radioaktivitas 249
A. Inti Atom 251
B. Pancaran Radioaktif 253
C. Deret Radioaktif 259
D. Energi yang Tersimpan pada Reaksi Inti 259
E. Manfaat Unsur Radioaktif bagi Manusia 261
F. Reaksi Termonuklir 264
Evaluasi 266
Evaluasi Semester Genap 270
Evaluasi Akhir 274

Glosarium 280
Daftar Pustaka 284
Indeks 285
Lampiran 287

Bab I

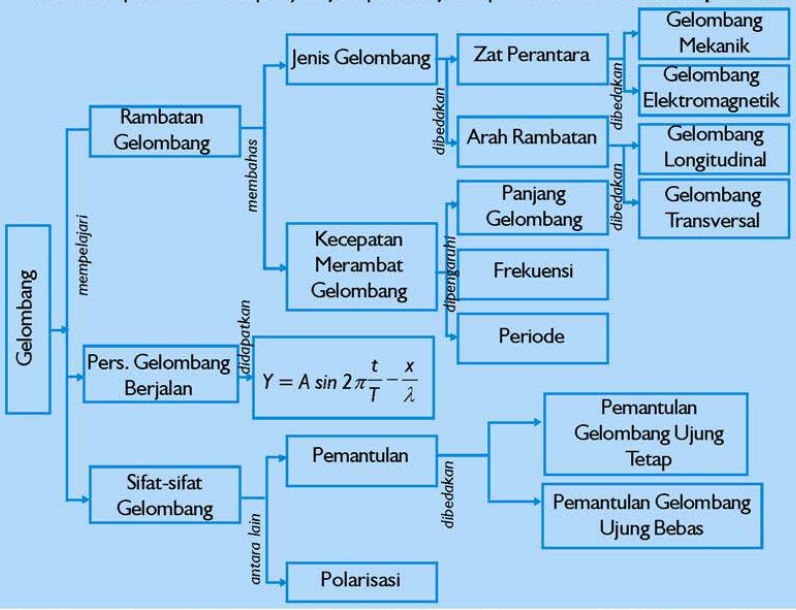
Gejala Gelombang

Sumber gambar: *Indonesian Heritage*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan gejala dan ciri-cir gelombang secara umum.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Gelombang
2. Panjang gelombang
3. Persamaan gelombang
4. Gelombang stasioner
5. Cepat rambat gelombang
6. Polarisasi gelombang

Sumber gambar:
Indonesian Heritage

Gambar. *Tetesan air menyebabkan terjadinya gelombang*

Kita dapat menikmati alunan musik dan lagu-lagu karena gelombang. Kita bisa berkomunikasi dengan orang lain juga melalui perantaraan gelombang.

Kita dapat mendengar berita yang ditayangkan oleh televisi, atau bahkan internet, berhubungan dengan gelombang. Gelombang merupakan sesuatu yang tidak terpisahkan dalam kehidupan. Oleh karena itu untuk mengetahui karakteristik gelombang yang berupa, interaksi dan penerimaanya menjadi penting agar kita dapat mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari.

A. Rambatan Gelombang

Untuk memahami apakah sebenarnya gelombang itu, kita saksikan peristiwa-peristiwa berikut.

1. Jika kalian menjatuhkan sebuah batu pada permukaan air yang tenang, kalian akan melihat gelombang yang merambat ke segala jurusan yang berpusat pada tempat jatuhnya yang berpusat pada batu tersebut.
2. Jika sebuah tali yang cukup panjang, kemudian salah satu ujungnya kalian getarkan naik turun akan terjadi gelombang pada tali.

Info Sains

Kompor gelombang mikro (*microwave*) semakin biasa terdapat dalam dapur rumah. Gelombang mikro memasak makanan, bahkan makanan yang beku, dalam sekejap. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang membawa energi dalam rambatannya. Akan tetapi, ada beberapa laporan tentang bahaya gelombang mikro terhadap kesehatan.

Sumber. *Kamus Visual*

Dari contoh-contoh peristiwa itu dapat kita amati bahwa semua bagian-bagian air bergerak naik turun di tempatnya masing-masing, begitu pula semua bagian-bagian tali bergerak naik turun di tempatnya masing-masing. Hal ini dapat kita buktikan dengan menempatkan sepotong kertas pada permukaan air, atau pada tali tadi. Kertas tersebut juga akan bergerak naik turun. Kita dapat menikmati siaran dari radio atau televisi kesayangan. Stasiun radio atau televisi memancarkan gelombang. Gelombang merambat di udara. Antena dari pesawat radio atau televisi merangkap gelombang itu. Akhirnya, kita menikmati suara atau gambar tayangan. Akan tetapi, apabila radio tersebut diletakkan pada ruang hampa, kita tidak dapat lagi mendengar suara radio.

Dari contoh-contoh peristiwa tadi dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

1. Gelombang merupakan peristiwa pemindahan energi yang tidak diikuti dengan pemindahan materi.
2. Gelombang merupakan getaran yang merambat.

Berdasarkan medium yang dilewati kita dapat menggolongkan dalam 2 jenis gelombang yang berbeda. Pada gelombang air dan gelombang bunyi, dalam perambatannya memerlukan medium gelombang yang demikian dikenal sebagai gelombang mekanik. Jenis gelombang yang kedua adalah gelombang elektromagnetik,

gelombang merambat dengan tidak harus ada medium. Gelombang elektromagnetik dapat merambat meskipun dalam ruang hampa. Informasi tentang matahari maupun bintang yang sampai pada kita disebabkan melalui gelombang elektromagnetik. Kita memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk berkomunikasi dengan cara menumpangkan gelombang suara kita kepada gelombang elektromagnetik (peristiwa ini disebut modulasi gelombang).

Aksi Fisika *"Ayo kembangkan keingintahuan kalian!"*

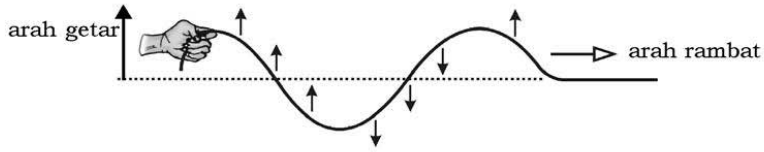
Setelah kalian memahami pengertian gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Coba berikan contoh gelombang mekanik dan 5 contoh gelombang elektromagnetik yang ada di lingkungan sekitar kalian. Sertakan alasan dari masing-masing contoh yang kalian dapatkan!

B. Gelombang Transversal dan Gelombang Longitudinal

Ditinjau dari arah getaran dan arah rambatnya gelombang dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal.

1. Gelombang Transversal

Gelombang transversal dapat ditunjukkan dengan demonstrasi sebagai berikut.

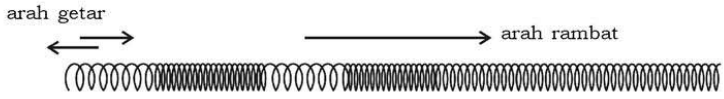


Gambar 1.1 *Gelombang transversal*

Seutas tali yang cukup panjang, salah satu ujungnya digetarkan tegak lurus arah panjang tali. Pada tali terbentuk gelombang yang merambat dari ujung tali yang satu ke ujung yang lain. Jika kita amati tiap-tiap bagian ternyata bagian-bagian tadi hanya bergetar ke atas dan ke bawah saja yang tegak lurus arah rambatan gelombang. Gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya disebut gelombang transversal.

2. Gelombang Longitudinal

Gelombang longitudinal dapat ditunjukkan dengan sebuah slinki.



Sumber: *Fisika X, Nyoman Kertiyasa*

Gambar 1.2 *Gelombang longitudinal*

Rentangkan slinki seperti gambar 1.2! Getarkan salah satu ujungnya searah dengan panjang slinki, sehingga ujung slinki merapat dan merenggang. Ternyata rapatan dan renggangan tidak hanya terjadi di ujung slinki, tetapi merambat sepanjang slinki. Gelombang yang arah getarnya searah dengan arah rambatnya disebut gelombang longitudinal. Gelombang ini biasa merambat pada benda gas.

"Ayo kembangkan kecakapan vokasional kalian!"

Dimensi Fisika

Sumber: *Oxford Ensiklopedi Pelajar*

Perhatikan gambar di samping. Sebuah penggaris yang digetarkan. Coba kalian praktikkan seperti pada gambar di samping! Setelah kalian praktikkan, apakah gerakan penggaris tersebut menimbulkan bunyi? Jika jawaban kalian ya atau tidak, berikan alasannya mengapa bisa demikian! Gelombang yang berasal dari getaran penggaris tersebut termasuk jenis gelombang apa? Berikan pendapat dan argumentasi kalian! Lakukan dan kerjakan dengan kelompok belajar kalian!

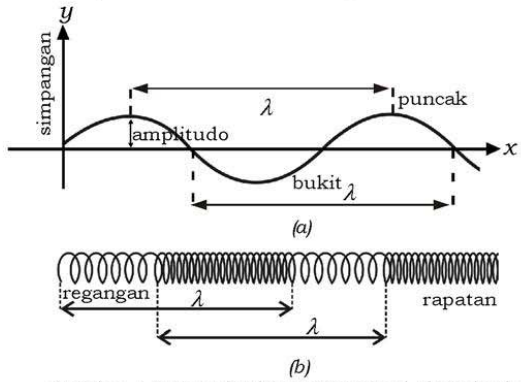
C. Kecepatan Merambat Gelombang

Sudah kita bicarakan di muka bahwa gelombang adalah getaran yang merambat. Kecepatan perambatannya tergantung pada seberapa kuat kita memberikan getaran. Kita lihat pula adanya gerakan yang periodik. Kita akan membahas keterikatan antar getaran itu. Marilah kita bahas hubungan antara kecepatan, frekuensi, dan periode.

1. Panjang Gelombang

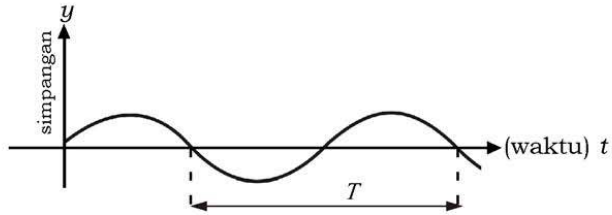
Pada gelombang transversal (gambar 1.3), jarak antara dua titik puncak (bukit) gelombang berturutan atau satu bukit dan satu lembah disebut satu panjang gelombang dan diberi simbol λ (lambda).

Pada gelombang longitudinal, yang dimaksud satu panjang gelombang adalah jarak antara dua rapatan atau dua regangan berurutan.



Gambar 1.3 *(a) Gelombang transversal, (b) Gelombang longitudinal*

2. Hubungan antara Panjang Gelombang dan Kecepatan Merambat Gelombang



Gambar 1.4 *Hubungan antara λ, v dan T*

Sudah kita ketahui, bahwa besar kecepatan adalah jarak yang ditempuh setiap satuan waktu $\left(v = \frac{S}{t}\right)$. Dari gambar 1.4 telihat bahwa untuk satu panjang gelombang ditempuh selama T sekon dengan T adalah periode. Maka hubungan antara λ, v dan T adalah:

$$v = \frac{\lambda}{T} \qquad \text{atau} \qquad v = \lambda f \qquad (\text{karena } f = \frac{1}{T})$$

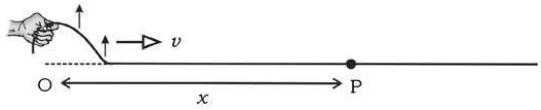
dengan
v = kecepatan merambat gelombang (ms^{-1})
λ = panjang gelombang (m)
T = periode (s)
f = frekuensi (Hz)

Latihan 1.1

Sebuah pemancar radio bekerja pada frekuensi 9 mega hertz. Hitung panjang gelombangnya, jika kecepatan gelombang elektromagnet adalah 3×10^8 ms^{-1}!

D. Persamaan Gelombang Berjalan

Gelombang transversal berjalan dapat ditimbulkan dengan menggetarkan secara periodik salah satu ujung tali yang sangat panjang.



Gambar 1.5 *Gelombang berjalan*

Gelombang merambat dari O ke P dengan kecepatan v. Waktu yang diperlukan untuk bergerak dari O ke P adalah $\frac{x}{v}$ sekon.

Apabila O sudah bergetar selama t sekon, P baru bergetar $\left(t - \frac{x}{v}\right)$ sekon sehingga persamaan getaran di titik P adalah:

$$y_p = A \sin 2\pi \frac{t_p}{T}$$

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

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

Secara umum persamaan getaran di sembarang titik pada gelombang ditulis:

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

atau

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

Persamaan di atas disebut persamaan gelombang berjalan.
dengan

y = simpangan pada titik yang berjarak x dari sumber getar (m)
A = amplitudo gelombang (m)
x = jarak dari sumber getar (m)
T = periode gelombang (s)
λ = panjang gelombang (m)
t = lamanya sumber getar bergetar (s)
$\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ = fase getaran titik yang berada di x
$\frac{x}{\lambda}$ = fase getaran sumber getar dengan titik yang dimaksud pada $t = 0$
v = cepat rambat gelombang (ms^{-1})
$\frac{t}{T}$ = fase getaran sumber getar di titik $x = 0$

Contoh Soal 1.1

Suatu gelombang mempunyai persamaan $y = 22 \sin (8\pi t - 2{,}4\pi x)$. Tentukan amplitudo dan cepat rambat gelombang tersebut, jika y dalam satuan cm!

Penyelesaian:

Diketahui: $y = 22 \sin (8\pi t - 2{,}4\pi x)$
Ditanya: $A = \ldots?$
$v = \ldots?$
Jawab:

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

Persamaan gelombang yang diketahui:
$y = 22 \sin (8\pi t - 2{,}4\pi x)$

Dari persamaan diperoleh:
$A = 22$ cm

$$\frac{2\pi t}{T} = 8\pi t \rightarrow \frac{2\pi}{T} \rightarrow T = \frac{1}{4} \text{ sekon}$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = 2{,}4\pi x \rightarrow \frac{2\pi}{\lambda} = 2{,}4\pi \rightarrow \lambda = \frac{2}{2{,}4} \rightarrow \frac{10}{12} \text{m}$$

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\frac{10}{12}}{\frac{1}{4}} = 3\frac{1}{3} \text{ ms}^{-1}$$

Latihan 1.2

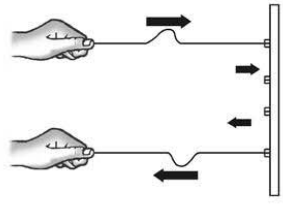
Gelombang berjalan dengan persamaan $y = 8 \sin (6\pi t - 3{,}6\pi x)$. Jika y dalam cm dan x dalam m, hitunglah:

a. amplitudo gelombang,
b. periode gelombang,
c. panjang gelombang,
d. kecepatan merambat gelombang!

E. Interferensi Gelombang

Gambar 1.6 (a) menunjukkan pemantulan muka gelombang datar pada suatu bidang pantul. Pada gambar 1.6 (b) terlihat bahwa pada tali menjalar dua gelombang, gelombang datang dan gelombang pantul. Paduan antara gelombang ini dikenal sebagai interferensi.

a) Interfernesi gelombang di permukaan air



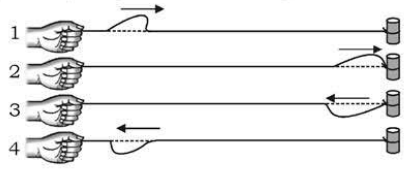
b) Interferensi gelombang pada tali

Gambar 1.6 *Interferensi gelombang*

Gelombang transversal pada seutas tali. Ada dua jenis pemantulan gelombang yang akan kita bahas, yaitu pemantulan gelombang pada ujung tetap dan pemantulan gelombang pada ujung bebas.

1. Interferensi Gelombang Tali Ujung Terikat

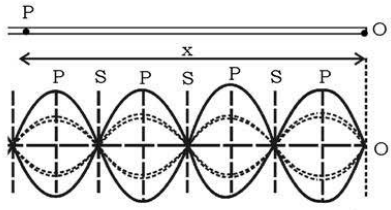
Seutas tali yang cukup panjang dan tebal, salah satu ujungnya diikatkan pada sebuah tonggak erat-erat, ujung yang lain dipegang dan tali sedikit ditarik agar tidak kendor. Kemudian ditimbulkan sebuah pulsa pada tali yang dipegang dengan cara menyentakkan tali ke atas. Apakah yang kalian lihat pada tali?



Gambar 1.7 *Pemantulan gelombang pada ujung tetap*

Pada tali terbentuk pulsa setelah pulsa sampai di ujung tali akan dipantulkan kembali. Ketika pulsa sampai di ujung tali yang terikat maka dikerjakan gaya ke atas pada ikatan, dan timbul gaya reaksi yang arahnya ke bawah, mengakibatkan pulsa terpantul kembali tetapi dengan simpangan ke bawah. Dengan kata lain pulsa terpantul dengan beda sudut fase = 180° atau π rad. Atau dengan beda fase $\frac{1}{2}$.

Jika ujung tali yang dipegang digetarkan terus-menerus maka gelombang datang dan gelombang pantul akan saling berinterferensi. Pada tali akan terbentuk gelombang seperti pada gambar 1.8 berikut!



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 1.8 *Gelombang berdiri*

Gelombang semacam ini disebut gelombang stasioner atau gelombang tegak atau gelombang berdiri. Pada gelombang stasioner ada titik-titik tali yang sama sekali tidak bergetar. Titik-titik tersebut

dinamakan simpul gelombang (S). Ada pula titik-titik yang bergetar dengan simpangan terbesar, yang dinamakan perut gelombang (P). Jarak dua simpul berurutan (S – S) atau dua perut berurutan (P – P) merupakan setengah panjang gelombang ($\frac{1}{2}\ \lambda$).

Titik O adalah ujung tali yang diikat erat-erat. Ujung tali yang lain digetarkan terus-menerus dengan amplitudo A. Gelombang merambat dengan kecepatan v. Titik P berjarak x dari O sehingga jarak OP ditempuh selama $\frac{x}{v}$ sekon. Oleh karena $v = \frac{\lambda}{T}$ maka persamaan simpangan dari gelombang datang sebesar:

$$y_1 = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)$$

dan simpangan dari gelombang pantul:

$$y_2 = -A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

Simpangan di titik P:

$$\begin{aligned} y_p &= y_1 + y_2 \\ &= A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right) - A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \end{aligned}$$

dengan menggunakan persamaan trigonometri

$$\sin \alpha \pm \sin \beta = 2 \sin (\alpha \pm \beta) \cos (\alpha \mp \beta)$$

Diperoleh:

$$y_p = 2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

Persamaan tersebut merupakan persamaan gelombang stasioner pada pemantulan ujung tetap. $2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda}$ merupakan amplitudo gelombang stasioner pada pemantulan ujung tetap.

Titik simpul terjadi jika $2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} = 0$,
jadi,

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = n\pi, (n = 0, 1, 2, \ldots)$$

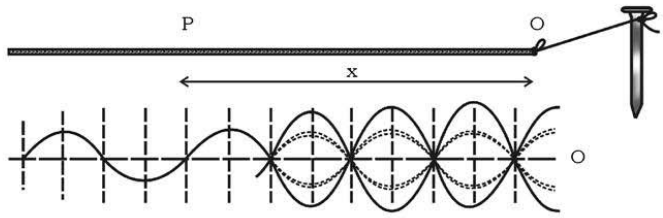
dengan

A = amplitudo sumber gelombang
x = jarak titik P dari titik pantul (m)
λ = panjang gelombang (m)

Untuk titik pantul (x = 0), nilai $2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} = 0$, jadi titik pantul merupakan simpul gelombang.

2. Interferensi Gelombang Tali Ujung Bebas

Seutas tali yang cukup panjang dan tebal, salah satu ujungnya diikatkan pada benang yang tipis kemudian diikatkan pada paku.



Gambar 1.9 *Pemantulan pada ujung bebas*

Dalam hal ini O merupakan titik pantul yang dapat bergerak bebas maka gelombang dipantulkan dengan fase sama. Dan titik pantul O merupakan perut gelombang.

Simpangan dari gelombang datang:

$$y_1 = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)$$

Simpangan dari gelombang pantul:

$$y_2 = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

Simpangan titik P:

$$y_p = y_1 + y_2$$

$$y_p = 2A \cos 2\pi\frac{x}{\lambda} \sin 2\pi\frac{t}{T}$$

$2A \cos 2\pi\frac{x}{\lambda}$ merupakan amplitudo gelombang stasioner pada pemantulan ujung bebas.

Untuk titik pantul ($x = 0$), nilai $2A \cos 2\pi\frac{x}{\lambda} = 2A \cos 0 = 2A$.

Jadi, titik pantul mempunyai simpangan paling besar yang merupakan perut gelombang.

Contoh Soal 1.2

Seutas tali PQ panjangnya 8 m, ujung Q diikat erat-erat pada sebuah paku. Ujung P digetarkan terus-menerus dengan amplitudo 5 cm, frekuensi 2 Hz. Jika gelombang merambat dengan kecepatan 8 ms^{-1}, hitunglah simpangan gelombang pada titik R yang berjarak 6 m dari ujung P!

Penyelesaian:

Gelombang yang terjadi adalah gelombang stasioner dengan persamaan:

$$y_R = 2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos 2\pi \frac{t}{T}$$

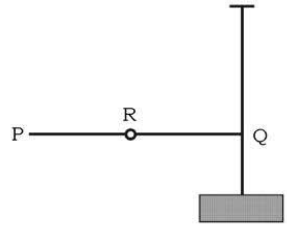
$x = 8 - 6 = 2$ m

$f = 2$ Hz

$v = 8$ ms^{-1}

$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{8}{2} = 4$ m

$A = 5$ cm



Simpangan gelombang pada titik R:

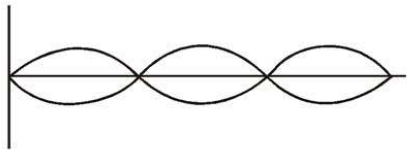
$$y = 2A \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} = 2 \times 5 \sin 2\pi \frac{2}{4} = 0.$$

Jadi, titik R merupakan simpul gelombang.

Latihan 1.3

1. Persamaan gelombang stasioner $y = 8 \sin 20\pi x \cos 10\pi t$. Jika y dalam cm dan x dalam m, hitung:
   a. amplitudo gelombang,
   b. panjang gelombang,
   c. frekuensi gelombang,
   d. kecepatan merambat gelombang!
2. Untuk pertanyaan yang sama seperti pada no. 1, jika persamaan gelombang $y = 16 \cos 8\pi x \sin 4\pi t$.
3. Buatlah sketsa:
   a. Gelombang transversal dengan panjang gelombang 30 cm dan amplitudo 5 cm.
   b. Gelombang transversal dengan panjang gelombang 25 cm dan amplitudo 10 cm.
   c. Gabungan kedua gelombang pada a) dan b).

4. Suatu gelombang diam pada tali di gambarkan seperti berikut.

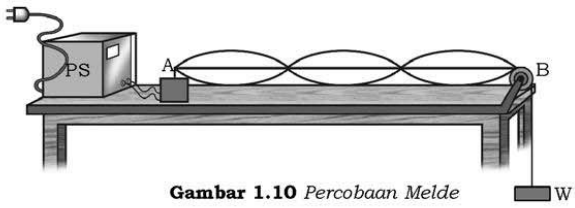


Jika jarak simpul pertama dengan simpul keempat adalah 24 cm. Hitung panjang gelombang pada tali tersebut!

F. Cepat Rambat Gelombang pada Dawai

Untuk menentukan cepat rambat gelombang pada seutas dawai, kita lakukan percobaan Melde sebagai berikut.

Salah satu ujung dawai kita ikatkan pada sebuah vibrator yang dihubungkan dengan sumber tegangan yang sesuai. Ujung yang lain diberi beban melalui katrol. Rentangkan dawai tersebut dengan salah satu ujungnya terikat pada vibrator dan ujung lainnya melalui katrol digantungkan beban 25 gr!



Gambar 1.10 *Percobaan Melde*

Setelah vibrator dihidupkan/digetarkan, pada dawai terjadi interferensi antara gelombang datang dan gelombang pantul. Dengan mengatur besar kecilnya beban, terbentuklah gelombang stasioner pada dawai. Dengan mengubah-ubah besar kecilnya beban pada satu jenis dawai dan mengubah-ubah jenis dawai pada satu jenis beban (berarti massa dawai tiap satuan panjang berubah). Melde memperoleh kesimpulan bahwa cepat rambat gelombang pada dawai berbanding lurus dengan akar tegangan dan berbanding terbalik dengan akar massa persatuan panjang. Ditulis dengan persamaan:

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

dengan
v = kecepatan gelombang pada benang/tali/dawai/senar (ms^{-1})
F = tegangan (N)

$\mu = \frac{m}{\ell}$ = massa benang tiap meter (kgm^{-1})

Untuk membuktikannya kita dapat menggunakan analisis dimensi. Dimensi v adalah $[L][T]^{-1}$, dimensi F adalah $[M][L][T]^{-2}$ dan dimensi μ adalah $[M][L]^{-1}$. Satu-satunya cara untuk mendapatkan kecepatan adalah dengan menjabarkan dimensi F dan

$\mu \rightarrow \frac{F}{\mu} = [L]^2[T]^{-2}$

$\sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{[L]^2[T]^{-2}} = [L][T]^{-1}$, yang merupakan dimensi dari v.

Contoh Soal 1.3

1. Sebuah gelombang stasioner terjadi pada seutas kawat yang panjangnya 2,50 m dan massanya 250 gr. Pada kawat terbentuk 5 perut gelombang. Jika tegangan kawat 250 N, hitunglah:
   a. cepat rambat gelombang pada kawat,
   b. frekuensi gelombang, jika g = 10 ms^{-2}!

   Penyelesaian:

   Diketahui: F = 250 N
   λ = 2,50 m
   m = 250 gr
   Ditanya: a) v ...?
   b) f ...?
   Jawab:

   a. $\mu = \frac{m}{\ell} = \frac{0{,}25}{2{,}50} = 0{,}1\ kgm^{-1}$

   $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{250}{0{,}1}} = 50\ ms^{-1}$

b. Pada kawat terbentuk 5 perut maka membentuk $2\frac{1}{2}\lambda$.

$$2\frac{1}{2}\lambda = 2{,}5 \text{ m}$$
$$\lambda = 1 \text{ m}$$
$$f = \frac{v}{\lambda}$$
$$= \frac{50}{1} = 50 \text{ Hz}$$

2. Suatu senar (dawai) yang panjangnya A meter ditegangkan oleh gaya sebesar B newton digetarkan sehingga memperoleh nada dasar. Apa yang terjadi apabila:
   a) panjang dawai dua kali jika gaya dibuat tetap.
   b) baris dawai dan gaya diubah ¼ kali.

Penyelesaian

Diketahui: λ = A meter
F = B newton

Ditanya: a) f_o = ...?
b) f_o' = ...?

Jawab:

nada dasar dawai $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$

nada dasar dawai diperoleh dari

$$f_n = \frac{(n+1)\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{2L} \text{ dengan } n = 0 \text{ maka } f_0 = \frac{\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{2L}$$

a. Apabila panjang dawai dua kali dan dibuat gaya tetap maka $F' = F$; $L' = 2L$

$$f_0 = \sqrt{\frac{\frac{F'}{\mu}}{2L'}}$$
$$= \frac{\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{2 \times 2L} = \frac{1}{2} f_0$$

frekuensi ½ dari nada dasar.

b. F' = ¼ F
L' = ¼ L
maka

$$f_0' = \sqrt{\frac{\frac{1}{4}F}{\frac{\mu}{2\times\frac{1}{4}L}}}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{\frac{1}{4}\times 2L}$$

$$= \frac{2\times\sqrt{\frac{F}{\mu}}}{2L} = 2f_0$$

diperoleh frekuensi 2 kali lebih besar dari nada dasar.

Latihan 1.4

1. Hitung cepat rambat gelombang transversal pada seutas dawai yang panjangnya 30 m, massa 50 gram yang ditegangkan dengan gaya 2 N!
2. Seutas tali panjang 40 cm digetarkan transversal. Laju rambat gelombang transversal pada tali tersebut 50 m/s. Jika gaya tegangan pada tali tersebut 2,5 N. Hitung massa tali tersebut!
3. Seutas tali bila diberi tegangan 100 N dan digetarkan, frekuensi yang timbul adalah f_o. Berapa besar tegangan yang dibutuhkan agar dawai tersebut bergetar dengan frekuensi $2f_o$?

G. Polarisasi Gelombang

Untuk mengetahui peristiwa polarisasi gelombang kita lakukan percobaan sebagai berikut.

Percobaan I.1

Tujuan pembelajaran:

1. Peserta didik mampu menerangkan gejala polarisasi.
2. Menerapkan cara-cara polarisasi pada beberapa masalah.

Konsep:

1. Gelombang transversal (misalnya gelombang cahaya) mempunyai banyak arah getar yang tegak lurus arah merambatnya.
2. Gelombang polarisasi atau gelombang terkutub adalah gelombang transversal yang hanya mempunyai satu arah getar saja.

Saran penyajian:

1. Gelombang longitudinal dapat lolos pada dua celah yang saling menyilang tegak lurus.
2. Gelombang transversal pada tali lolos pada celah yang sejajar dengan arah getar, tetapi tidak lolos pada celah yang tegak lurus arah getar.

Alat-alat yang diperlukan:

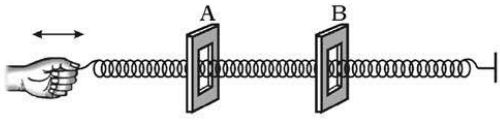
1. Tali dari plastik diameter ± 1 cm dengan panjang (1,5 meter).
2. Slinki (kumparan pegas) 1 buah.
3. Bingkai yang berbentuk persegi panjang 2 buah.

Persiapan percobaan:

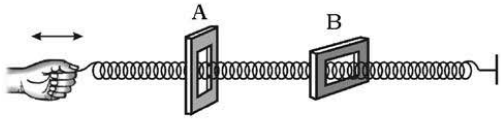
1. Pasanglah kedua bingkai A dan B sejajar pada jarak kurang lebih 40 cm (lebih pendek dari panjang slinki)!
2. Masukkan slinki pada bingkai A dan bingkai B!

Langkah-langkah percobaan:

1. Getarkan slinki dengan getaran searah panjang slinki (getaran longitudinal). Amatilah apakah gelombang dapat lolos bingkai A dan B!

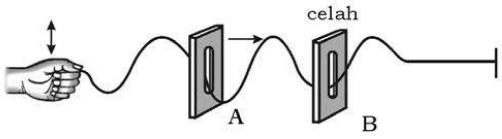


2. Pasanglah bingkai B menyilang tegak lurus A, getarkan slinki dengan getaran searah panjang slinki!



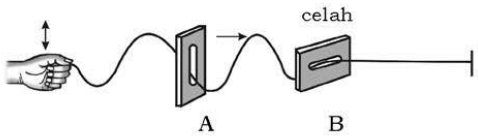
Amatilah apakah gelombang tersebut lolos dari bingkai A dan bingkai B!

3. Pasang bingkai A sejajar bingkai B! Getarkan tali dengan arah getaran sejajar dengan bingkai A!



Amatilah apakah gelombang dapat lolos pada bingkai A dan bingkai B!

4. Pasanglah bingkai B menyilang tegak lurus bingkai A!



Amatilah apakah gelombang dapat lolos bingkai A dan bingkai B!

Hasil pengamatan:

Tuliskan hasil pengamatan kalian pada tabel berikut!

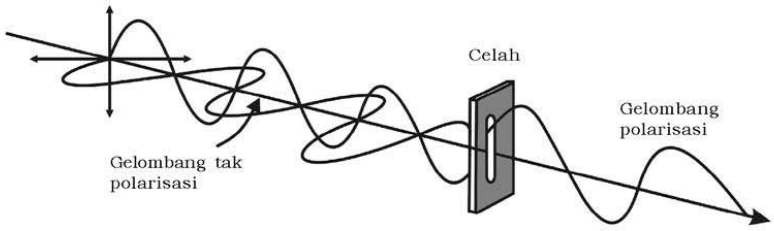
Tabel hasil pengamatan

No.	Jenis gelombang	Kedudukan bingkai	Perjalanan gelombang
1.	Longitudinal	A // B A ⊥ B	Lolos A dan B Lolos A dan B
2.	Transversal	A // B A ⊥ B	....

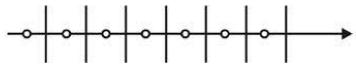
Kesimpulan:

Dari percobaan ini dapat disimpulkan bahwa gelombang longitudinal tidak dipengaruhi oleh arah celah bingkai, hanya gelombang transversal yang dipengaruhi arah celah bingkai.

Gambar di bawah ini menunjukkan gelombang transversal yang mempunyai banyak arah getar (di sini hanya digambar dua arah getar yang saling tegak lurus). Gelombang yang dapat lolos dari celah hanya mempunyai satu arah getar. Gelombang yang demikian disebut gelombang polarisasi sedangkan sebelum lewat celah disebut gelombang wajar. Perhatikan gambar 1.11 berikut!
Selanjutnya simbol gelombang wajar dan gelombang polarisasi digambarkan seperti pada gambar 1.12.



Gambar1.11 *Gelombang tak polarisasi dan polarisasi*



Gelombang wajar

Gelombang polarisasi

Gambar1.12 *Simbol gelombang wajar dan gelombang polarisasi*

Setelah mempelajari polarisasi pada gelombang mekanik, kita akan membahas peristiwa polarisasi pada cahaya. Polarisasi cahaya disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu pemantulan dan pembiasan, bias kembar, absorpsi selektif, serta pemutaran bidang polarisasi. Semuanya akan kita pelajari pada materi pokok gelombang elektromagnetik.

Rangkuman

1. Gelombang adalah getaran yang merambat.
2. Gelombang mekanik adalah gelombang yang membutuhkan medium untuk merambat.
3. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak membutuhkan medium untuk merambat.
4. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah getarnya tegak lurus dengan arah rambatnya.
5. Gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getarnya searah dengan arah rambatnya.
6. Kecepatan gelombang:

$$v = \lambda \times f$$

7. Persamaan gelombang berjalan:

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

8. Persamaan gelombang stasioner pada ujung tetap:

$$y_p = 2A \sin 2\pi\frac{x}{\lambda} \cos 2\pi\frac{t}{T}$$

9. Persamaan gelombang stasioner pada ujung bebas:

$$y_p = 2A \cos 2\pi\frac{x}{\lambda} \sin 2\pi\frac{t}{T}$$

10. Cepat rambat gelombang pada dawai:

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

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Pahami pernyataan berikut!
   1) Gelombang adalah rambatan getaran
   2) Gelombang merupakan rambatan energi yang disertai dengan pemindahan materi
   3) Gelombang merambat harus ada zat perantara

   Dari pernyataan itu yang benar adalah . . . .
   a. 1, 2, dan 3
   b. 1 dan 2
   c. 1 dan 3
   d. 1
   e. 3

2. Besaran yang dimiliki getaran dan juga dimiliki gelombang adalah . . . .
   a. amplitudo dan frekuensi
   b. panjang gelombang dan cepat rambat
   c. panjang gelombang dan amplitudo
   d. periode dan cepat rambat
   e. cepat rambat dan amplitudo

3. Persamaan gelombang transversal yang merambat sepanjang tali yang sangat panjang adalah $y = 6 \sin (0{,}02\pi x + 4\pi t)$. y dan x dalam cm dan t dalam sekon maka:
   1) Amplitudo gelombang 6 cm
   2) Panjang gelombang 100 cm
   3) Frekuensi gelombang 2 Hz

   Pernyataan yang benar adalah . . . .
   a. 1, 2, dan 3
   b. 1 dan 2
   c. 2 dan 3
   d. 1 dan 3
   e. 1

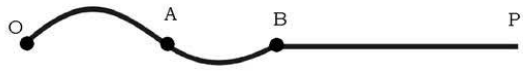
4. Persamaan gelombang yang berjalan pada tali adalah $y = 2 \sin \pi\left(50t - \frac{x}{5}\right)$ (x dan y bersatuan cm dan t bersatuan sekon), kecepatan merambat gelombang adalah . . . .
   a. 3,5 ms^{-1}
   b. 3,0 ms^{-1}
   c. 2,5 ms^{-1}
   d. 2,0 ms^{-1}
   e. 1,5 ms^{-1}

5. Persamaan gelombang $y = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin \frac{2\pi t}{T}$, merupakan gelombang . . . .
   a. berjalan dengan amplitudo A
   b. tegak, terjadi pada pemantulan ujung tetap
   c. tegak, terjadi pada pemantulan ujung bebas
   d. stasioner, terjadi pada pemantulan ujung tetap
   e. berjalan dengan frekuensi $\frac{1}{T}$

6. Kecepatan rambat gelombang dalam dawai dapat diperbesar dengan cara:
   1) memperkecil massa jenis dawai
   2) memperpendek panjang dawai
   3) memperbesar tegangan dawai
   4) memperbesar luas penampang dawai

   Pernyataan yang benar adalah . . . .
   a. 1, 2, 3, dan 4
   b. 1, 2, dan 3
   c. 1 dan 3
   d. 2 dan 4
   e. 4

7. Gelombang merambat dari O ke P, AB = 0,2 m, diperlukan waktu 0,2 sekon. Maka cepat rambat gelombang . . . .



a. 1 ms^{-1}
b. 2 ms^{-1}
c. 3 ms^{-1}
d. 4 ms^{-1}
e. 5 ms^{-1}

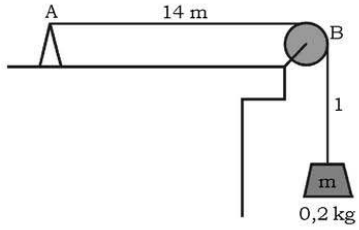
8. Seutas dawai bila diberi tegangan 100 N dan digetarkan maka frekuensi yang timbul adalah f_0. Besar tegangan yang dibutuhkan agar dawai tersebut bergetar dengan frekuensi 2 f_0 adalah sebesar . . . .
a. 25 N
b. 50 N
c. 100 N
d. 200 N
e. 400 N

9. Dari titik simpul $2A \sin \pi \frac{x}{\lambda} = 0, 2\pi \frac{x}{\lambda} = n\pi$, harga n terendah yang memenuhi adalah . . . .
a. 0
b. 1
c. 2
d. 3
e. 5

10. Jika $2A \sin \frac{\pi x}{\lambda} = 0$ maka hasil pantulan merupakan . . . .
a. perut gelombang
b. simpul gelombang
c. resonansi gelombang
d. titik ayun gelombang
e. frekuensi terendah gelombang

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Benda massa 0,2 kg diikat dengan seutas tali melalui katrol (perhatikan gambar). Panjang tali 15 m dan massa tali 0,3 kg, g = 10 ms^{-2}. Jika ujung A digetarkan terus-menerus dengan frekuensi 50 Hz, hitung kecepatan merambat gelombang pada tali!



2. Jelaskan yang dimaksud dengan fase gelombang!
3. Diketahui sebuah gelombang berjalan dengan amplitudo 12 cm, panjang gelombang 8 cm, dan periode 0,05 sekon. Tuliskan persamaan gelombang!
4. Apakah perbedaan antara:
   a. gelombang transversal dan gelombang longitudinal,
   b. gelombang elektromagnetik dan gelombang mekanik?
5. Sebuah tali yang panjangnya 2,5 m direntangkan. Salah satu ujung dihubungkan dengan vibrator yang frekuensinya 50 Hz. Ujung yang lain melalui katrol dihubungkan dengan beban 16 N. Jika massa tali tiap meter adalah 0,04 kgm^{-1} dan panjang tali dari katrol sampai beban 0,5 m, tentukan jumlah perut pada tali!

Aplikasi:

"Ayo kembangkan daya saing dan etos kerja kalian."

Kalian pasti masih ingat dengan peristiwa Tsunami dan gempa bumi dahsyat yang terjadi di Nangroe Aceh Darussalam akhir tahun 2004 kemarin, begitu banyak saudara kita yang menjadi korban. Ditinjau dari ilmu fisika Gelombang Tsunami dan gempa bumi dihasilkan oleh kedua gelombang transversal dan longitudinal. Untuk mengetahui dan menambah pengetahuan kalian. Bentuklah kelompok belajar yang terdiri dari 2 - 3 siswa. Kemudian buatlah kliping yang mengambil tema tentang gelombang tsunami dan gempa bumi ditinjau dari penyebabnya, yaitu gelombang.

Bab II

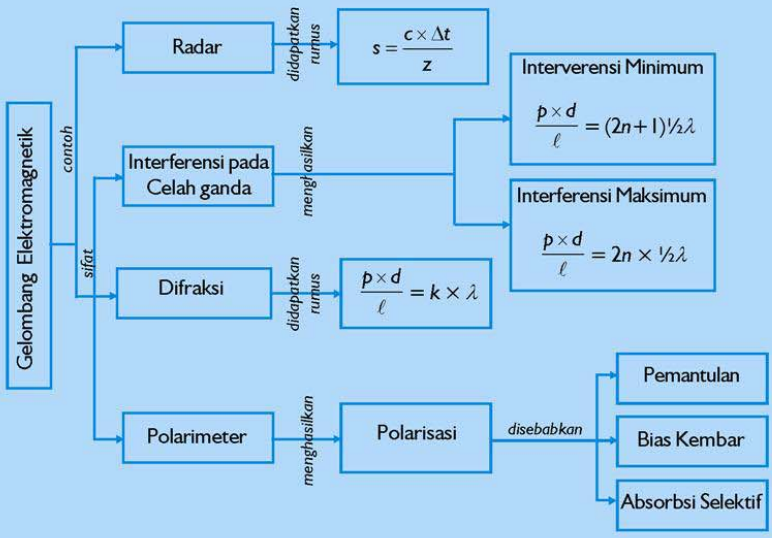
Gelombang Elektromagnetik

Sumber gambar: *www.climate.met.psu.ed*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan serta menerapkan konsep dan prinsip gelombang cahaya dalam teknologi.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



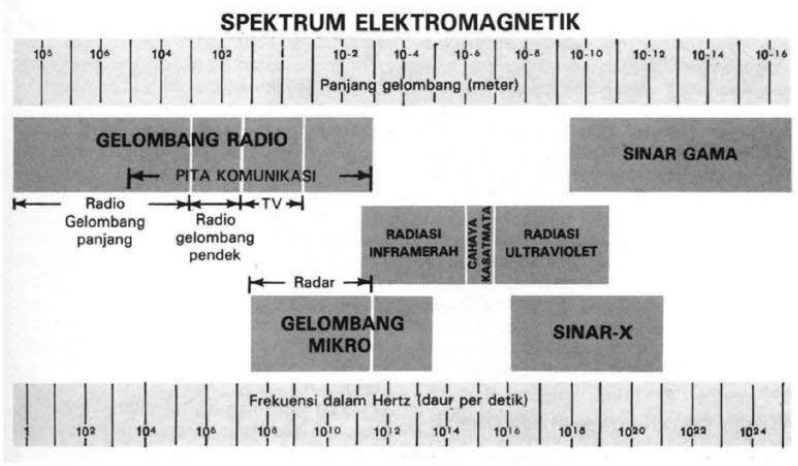
Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Interferensi
2. Difraksi
3. Polarisasi

Sumber: *www.climate.met.psu.ed*
Gambar. *Spektrum warna pelangi*

Spektrum gelombang elektromagnetik sudah kita pelajari di kelas satu semester dua. Pada materi pokok ini akan dibahas tentang gelombang elektromagnetik yang berkaitan tentang ciri-ciri gelombang elektromagnetik sebagai gelombang. Untuk mengingat kembali tentang gelombang elektromagnetik sebutkan spektrum gelombang elektromagnetik dari yang panjang gelombangnya terpendek sampai dengan yang terpanjang!

A. Radar



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer*

Gambar 2.1 *Spektrum gelombang elektromagnetik*

Gelombang elektromagnet dapat dikelompokkan berdasarkan frekuensi atau panjang gelombang seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 yang salah satu jenisnya adalah radar. Radar singkatan dari *Radio Detection and Ranging*. Digunakan untuk menentukan posisi suatu benda, menentukan posisi pesawat terbang, untuk membantu pendaratan pesawat dan lain-lainnya. Pesawat radar menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi sekitar 10^{10} Hz. Karena panjang gelombangnya hanya beberapa cm maka dengan mudah dipantulkan oleh benda yang berukuran "kecil", misalnya pesawat, mobil dan lain-lainnya.

Prinsip yang digunakan adalah apabila gelombang dilepaskan ke suatu objek maka gelombang tersebut akan dipantulkan. Oleh karena benda yang dikenai bergerak maka akan ada perbedaan frekuensi yang dapat dianalisis dengan efek Dopler yang sudah dipelajari di kelas X pada saat membicarakan frekuensi yang diterima oleh pengamat dari sirine mobil yang bergerak.

Gambar 2.2 *Radar*

Radar bertindak sebagai pemancar dan penerima gelombang. Pancaran dilakukan secara terarah dalam bentuk pulsa. Jika pulsa ini mengenai sasaran, akan dipantulkan dan sebagian ada yang kembali ditangkap pesawat radar, sehingga jarak sasaran dapat dihitung.

$$S = \frac{c \times \Delta t}{2}$$

dengan

S = jarak sasaran (m)
Δt = selang waktu pancaran dan penerimaan (s)
c = kecepatan gelombang elektromagnetik (3×10^8 ms^{-1})

Persamaan di atas dibagi dua, karena pulsa menempuh jarak pergi-pulang. Untuk mencatat frekuensi radar yang dipancarkan (f) dan frekuensi yang diterima f', dapat menggunakan rumus efek Doppler:

$$\frac{f'}{c + v'} = \frac{f}{c + v}$$

dengan

c = kecepatan gelombang elektromagnetik (3×10^8 ms^{-1})
v = kecepatan pengamat (ms^{-1})
v' = kecepatan objek (ms^{-1})
f = frekuensi radar saat dipancarkan (Hz)
f' = frekuensi radar saat diterima (Hz)

maka dapat diketahui gerak objek yang dideteksi.
Jika $f' > f$ berarti objek mendekati pengamat, jika $f' < f$ objek menjauhi pengamat.

"Ayo kembangkan wawasan lingkungan lokal/ pengalaman sehari-hari kalian!"

Dimensi Fisika

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

Pasti kalian tidak asing melihat gambar di samping. Dulu telepon masih menggunakan kabel dan sekarang hampir semua orang menggunakan telepon tanpa kabel atau juga telepon seluler. Menurut kalian, bagaimana telepon tanpa kabel memanfaatkan gelombang E.M. Dan bagaimana dengan telepon seluler yang kalian miliki? Berikan analisis dan argumentasi kalian! Diskusikanlah secara kelompok.

Contoh Soal 2.1

Sebuah radar memancarkan pulsa dengan frekuensi 9×10^9 Hz ternyata frekuensi yang diterima kembali bertambah 9000 Hz dari mula-mula. Ke arah mana gerak objek yang dideteksi dan berapa kecepatannya?

Penyelesaian:

Diketahui: $f = 9\times10^9$ Hz

$f' = f + 9000$ Hz

Ditanya: v ...?

Jawab:

$$\frac{f'}{c+v'} = \frac{f}{c+v}$$

$$\frac{(9\times10^9+9000)}{3\times10^8+v'} = \frac{9\times10^9}{3\times10^8+0}$$

$$v' = 300 \text{ ms}^{-1}$$

dapat pula dihitung dengan

$f' = f + \Delta f$

$\frac{f+\Delta f}{c+v'} = \frac{f}{c}$, karena $v = 0$

$f(c + v') = c(f + \Delta f)$

$$v' = \frac{\Delta f}{f}c$$

$$= \frac{9000}{9\times10^9}\times3\times10^8 = 300 \text{ ms}^{-1}$$

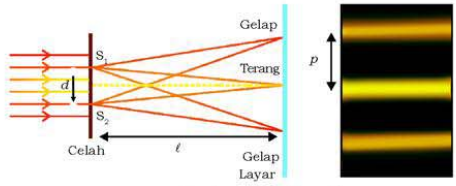
Objek mendekati pengamat dengan kecepatan 300 ms^{-1}.

Latihan 2.1

Kapal milik anggota TNI yang dilengkapi dengan radar memancarkan pulsa dengan frekuensi 3×10^9 Hz. Setelah mengenai sasaran frekuensi yang diterima berkurang 6000 Hz. Kemana dan dengan kecepatan berapa objek yang dideteksi?

B. Interferensi pada Celah Ganda

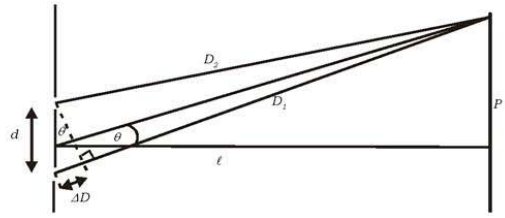
Sudah kita pelajari bahwa gelombang dapat berinterferensi termasuk gelombang elektromagnetik, salah satunya adalah gelombang cahaya (sinar tampak).



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 2.3 *Interferensi pada celah ganda*

Seberkas sinar monokromatis didatangkan pada dua celah sejajar berdekatan yang berjarak d. Dengan demikian dua celah S_1 dan S_2 ini bertindak sebagai 2 sumber gelombang koheren. Pada jarak ℓ dari celah dipasang layar. Pada layar akan tampak pola interferensi terang dan gelap bergantian. Hasil interferensi tergantung dari selisih lintasan kedua sinar. Jika selisih lintasan merupakan kelipatan genap kali setengah panjang gelombang atau $2n \times \frac{1}{2}\ \lambda$, $n = 1, 2, 3, \ldots$, maka hasil interferensi adalah maksimum (terjadi garis terang) ingat prinsip superposisi antar dua gelombang. Jika lintasan merupakan kelipatan ganjil kali setengah panjang gelombang $(2n + 1)\ \frac{1}{2}\ \lambda$, $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$, maka hasil interferensi adalah minimum sehingga didapat hubungan sebagai berikut.



Gambar 2.4 *Pola Interferensi*

Dengan mempraktikkan skema pada gambar 2.4 perbedaan jalan yang ditempuh oleh S_1 dan S_2 sebesar $d \sin \theta$ sudut Q yang kecil dapat didekati bahwa $\sin \theta \approx \text{tg}\ \theta \approx \frac{p}{\ell}$. Oleh karena itu beda jarak ini sebesar $\frac{pd}{\ell}$.

$$\Delta D = D_1 - D_2$$
$$= d \sin \theta$$
$$= d \text{ tg } \theta$$
$$\approx \text{tg } \theta \approx \frac{p\,d}{\ell}$$

Terjadi interferensi minimum (terbentuk garis gelap)

$$\frac{p\,d}{\ell} = (2n+1)\ \frac{1}{2}\lambda$$

Terjadi interferensi maksimum (terbentuk garis terang)

$$\frac{p\,d}{\ell} = 2n \times \frac{1}{2}\lambda$$

dengan
ℓ = jarak celah sampai dengan layar (m)
d = jarak dua celah (m)
λ = panjang gelombang cahaya (m)
p = jarak terang pusat sampai terang/gelap berikutnya (m)
n = 1, 2, 3, ...

Contoh Soal 2.2

Untuk menentukan panjang gelombang sinar yang dipancarkan oleh Na dari lampu tabung, sinar dilewatkan pada dua celah yang berjarak 0,5 mm. Pada jarak 1,2 m dari celah dipasang layar. Jika hasil interferensi pada layar diperoleh jarak garis kuning pusat sampai dengan kelima adalah 6 mm, berapakah panjang gelombang sinar natrium?

Penyelesaian:

Diketahui: $d = 0{,}5\times10^{-3}$ m $= 5\times10^{-4}$ m
$\ell = 1{,}2$ m
$p = 6$ mm $= 6\times10^{-3}$ m
$\lambda = 5\times10^{-7}$ m $= 5000$ Å
Ditanya: λ = ...?
Jawab:

$$n\,\lambda = \frac{pd}{\ell}$$
$$5\,\lambda = \frac{6\times10^{-3}\times5\times10^{-4}}{1{,}2}$$

Latihan 2.2

Seberkas cahaya didatangkan pada celah kembar yang berjarak 1 mm. Pada jarak 1 m, sejajar dengan celah dipasang layar. Jarak terang pusat sampai terang berikutnya 6,5 mm. Berapa panjang gelombang cahaya yang digunakan pada percobaan ini?

"Ayo kembangkan Keingintahuan kalian!"

Dimensi Fisika

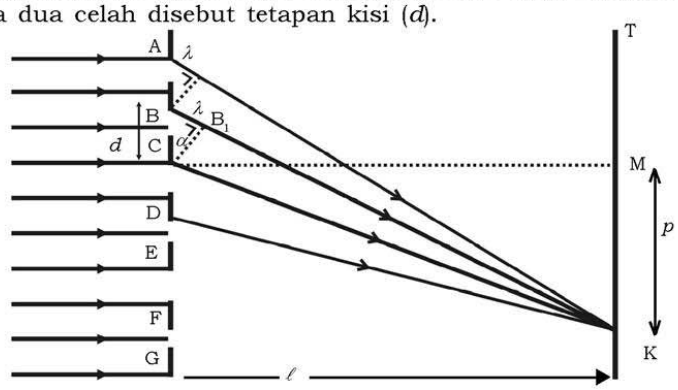
Sumber: *www.content.answers.com*

Perhatikan gambar gelembung sabun di samping! Mengapa pinggiran interferensi hanya tampak pada film tipis seperti gelembung sabun dan tidak untuk kaca yang tebal? Berikan argumentasi kalian!

C. Difraksi

Dengan percobaan menggunakan tangki riak, di kelas satu dapat ditunjukkan bahwa, selain dapat mengalami pembiasan, gelombang juga dapat mengalami lenturan (difraksi). Untuk menunjukkan peristiwa difraksi pada cahaya digunakan alat yang bernama kisi.

Kisi adalah kepingan kaca yang digores menurut garis sejajar sehingga dapat bekerja sebagai celah yang banyak jumlahnya. Jarak antara dua celah disebut tetapan kisi (d).



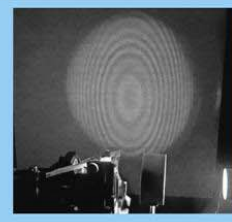
Gambar 2.5 *Difraksi pada kisi*

Gambar 2.5 menunjukkan sebagian kisi yang dibesarkan. Pada kisi didatangkan sinar monokromatik sejajar dan tegak lurus pada kisi dengan panjang gelombang λ. Sinar yang keluar dari kisi ditangkap dengan layar T. Kita pilih titik K pada layar sehingga beda lintasan sinar AK – BK = λ, CK – DK = λ, dan seterusnya. Karena beda lintasan masing-masing sinar adalah λ, maka sinar-sinar itu sampai di K berinterferensi maksimum (terang).

Dari gambar 2.4 dapat diperoleh:
$BK - CK = BB_1 = d \sin \alpha = k\lambda$

Info Sains

Difraksi dapat menghasilkan efek yang mengagumkan seperti pada foto di bagian atas waktu cahaya melewati terali. Foto di bawah menunjukkan interferometer, suatu alat untuk mengukur efek yang timbul manakala gelombang cahaya berbaur satu sama lain.



Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer 5*

Dengan penalaran yang sama di suatu titik pada layar akan terjadi terang bila dipenuhi:

$$d \sin \alpha = k \lambda$$

Untuk sudut-sudut yang kecil nilai sinus = nilai tangen, oleh karena itu persamaan di atas dapat ditulis:

$$d \, \text{tg} \, \alpha = k\lambda$$

atau

$$\frac{d\,p}{\ell} = k\lambda$$

dengan

d = tetapan kisi
p = jarak terang pusat ke terang berikutnya
ℓ = jarak kisi ke layar
λ = panjang gelombang cahaya
α = sudut penyimpangan sinar

Contoh Soal 2.3

Seberkas sinar dengan panjang gelombang 6.000 Å datang tegak lurus pada sebuah kisi yang mempunyai 2.000 goresan tiap cm. Jika pada jarak 1 m dipasang layar, berapa sentimeterkah jarak terang pusat sampai terang orde ke-4?

Penyelesaian:

Diketahui: $\lambda = 6.000\ \text{Å} = 6 \times 10^{-7}\ \text{m}$

$$d = \frac{1\ \text{cm}}{2.000} = 0{,}5 \times 10^{-5}\ \text{m}$$

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

$k = 4$

Ditanya: p = ...?

Jawab:

$$k\lambda = \frac{d\,p}{\ell}$$

$$p = \frac{4 \times 1 \times 6 \times 10^{-7}}{0{,}5 \times 10^{-5}}$$

$$p = 48 \times 10^{-2}\ \text{m}$$

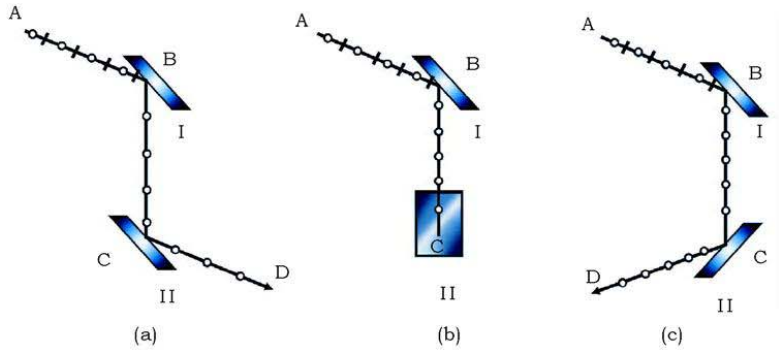
$$p = 48\ \text{cm}$$

D. Polarisasi Gelombang Elektromagnetik

Hanya gelombang transversal saja yang dapat mengalami polarisasi. Polarisasi gelombang elektromagnet dapat ditunjukkan dengan beberapa peristiwa berikut.

1. Polarisasi karena Pemantulan

Peristiwa polarisasi cahaya (juga gelombang elektromagnetik pada umumnya) dapat ditunjukkan dengan peristiwa pemantulan.



Gambar 2.6 *Polarisasi cahaya karena pemantulan*

Gambar 2.6a: Seberkas cahaya didatangkan pada cermin I dengan sudut datang 56° yang dipasang sejajar dan berhadapan dengan cermin II.

Gambar 2.6b: Kemudian cermin II diputar perlahan-lahan dengan sumbu putar sinar BC. Ternyata sinar pantul CD makin lama makin suram dan tidak tampak lagi pada saat cermin sudah diputar 90°.

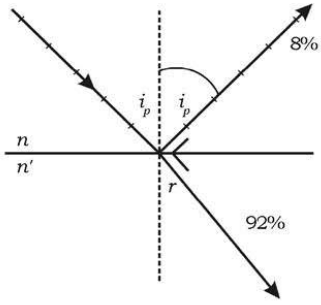
Gambar 2.6c: Cermin II diputar terus seperti tadi. Ternyata sinar CD yang mula-mula suram semakin terang dan mencapai terang maksimum setelah putaran mencapai 90° untuk yang kedua kalinya.

Sesuai dengan gelombang mekanik yang telah dibicarakan di depan, sinar AB adalah sinar wajar atau sinar asli atau sinar kodrat, sedangkan sinar pantul BC adalah sinar polarisasi. Bidang lewat arah rambat sinar dan arah getar sinar polarisasi disebut bidang getar polarisasi. Dari uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa gelombang cahaya dan gelombang pada umumnya adalah gelombang transversal.

Seberkas sinar wajar datang pada bidang batas dua medium yang indeks biasnya n dan n', sebagian sinar dipantulkan dan sebagian lagi dibiaskan. Apabila sinar pantul dan sinar bias saling tegak lurus maka sinar pantul berupa sinar polarisasi. Pada saat sudut datang disebut sudut polarisasi (i_p).

Sumber: *Dok Penerbit*

Gambar 2.7 *Cahaya yang dipantulkan dari permukaan licin air kolam terpolarisasi sebagian dan paralel dengan permuakaan*



Gambar 2.8 *Polarisasi karena pembiasan dan pemantulan*

Dengan demikian diperoleh:

$$i_p + r = 90^\circ$$

$$r = 90^\circ - i_p$$

$$\frac{\sin i_p}{\sin r} = \frac{n'}{n}$$

$$\frac{\sin i_p}{\sin (90 - i_p)} = \frac{n'}{n}$$

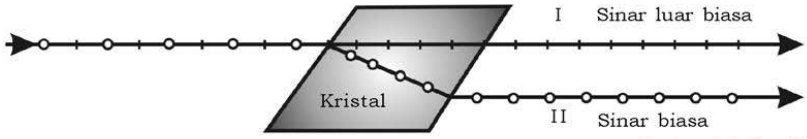
$$\frac{\sin i_p}{\cos i_p} = \frac{n'}{n}$$

$$\text{tg } i_p = \frac{n'}{n}$$

Persamaan ini disebut hukum Brewster.

2. Polarisasi karena Bias Kembar

Kristal kalsit ($CaCO_3$), kuarsa (SiO_2), mika, gula, topas, dan es dapat membiaskembarkan seberkas cahaya yang datang padanya. Jika seberkas cahaya datang pada kristal, sebagian sinar diteruskan tanpa mengalami pembiasan (I). Sinar yang demikian itu disebut sinar ekstra ordiner atau sinar luar biasa. Sedangkan sebagian sinar yang dibiaskan menurut hukum Snellius (II) disebut sinar ordiner atau sinar biasa.

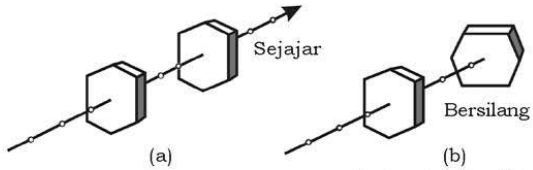


Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 2.9 *Bias kembar pada kristal*

3. Polarisasi karena Absorbsi Selektif

Seberkas sinar wajar yang masuk kristal tourmalin juga mengalami peristiwa bias kembar. Berkas sinar luar biasa akan diteruskan. Dengan demikian kristal tourmalin hanya meneruskan sinar polarisasi yang mempunyai arah getar sama dengan sinar luar biasa.



Sumber: *Dok. Penerbit*

Gambar 2.10 *Bias kembar oleh kristal tourmalin*

Gambar 2.10a: adalah dua kristal tourmalin yang dipasang sejajar. Artinya sinar yang diteruskan oleh tourmalin yang satu akan diteruskan pula oleh tourmalin yang lain.

Gambar 2.10b: adalah dua buah kristal tourmalin yang dipasang bersilangan tegak lurus. Artinya sinar polarisasi yang diteruskan oleh tourmalin yang satu, tidak diteruskan oleh tourmalin yang kedua.

Dari penjelasan di atas carilah alat-alat atau mainan yang memanfaatkan prinsip polarisasi dan interferensi.

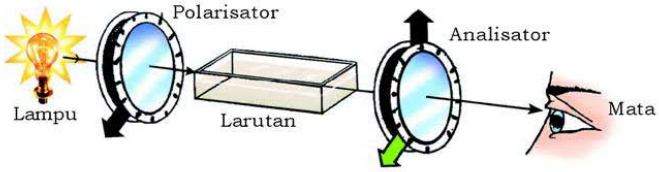
Aksi Fisika

"Ayo kembangkan pengetahuan kalian dengan mencari informasi lebih jauh!"

Dari penjelasan interferensi dan polarisasi di atas, carilah alat-alat atau mainan yang memanfaatkan prinsip polarisasi dan interferensi!

4. Polarimeter

Gambar berikut ini menggambarkan dua polaroid yang dipasang pada sebuah alat yang dilengkapi dengan pembagian skala derajat. Polaroid yang berdekatan dengan sumber cahaya disebut polarisator, yang lain disebut analisator.



Sumber: *Energi GLB dan Medan 2*

Gambar 2.11 *Pemutaran bidang polarisasi*

Pada permulaan percobaan penunjuk analisator menunjukkan sudut α_1. Mata M tidak melihat adanya cahaya (gelap). Kemudian di antara polarisator dan analisator dipasang suatu larutan, ternyata sekarang mata melihat adanya cahaya terang. Supaya menjadi gelap lagi, analisator diputar sehingga penunjuknya menunjuk sudut α_2. Hal ini dapat diambil kesimpulan bahwa larutan tadi dapat memutar bidang polarisasi, sebesar $\alpha_2 - \alpha_1$. Larutan yang demikian itu disebut larutan optik aktif. Larutan tersebut ada yang dapat memutar bidang getar polarisasi ke kiri ada yang dapat memutar ke kanan.

Dengan alat semacam ini orang dapat menentukan konsentrasi larutan optik aktif. Alat semacam ini disebut polarimeter. Polarimeter yang khusus untuk menentukan konsentrasi larutan gula disebut sacharimeter. Besar sudut putar bidang getar polarisasi ditentukan oleh:

a) jenis larutan
b) panjang gelombang sinar yang dipakai
c) tebal larutan (sebanding) dan
d) konsentrasi larutan (sebanding).

Sumber: *www.denhartog-scientific.nl*

Gambar 2.12 *Polarimeter*

Latihan 2.2

1. Apabila cahaya 480 nm dan 620 nm melewati celah ganda yang berjarak 0,54 mm satu sama lain. Berapa jarak pinggiran-pinggiran orde kedua untuk kedua panjang gelombang ini pada layar yang jauhnya 1,6 m?
2. Jika sebuah celah mendifraksi cahaya 550 nm sehingga lebar maksimum difraksi adalah 3,0 cm pada layar yang jaraknya 1,50 m. Berapakah lebar maksimum difraksi untuk cahaya dengan panjang gelombang 400 nm?
3. Deskripsikan bagaimana memutar bidang polarisasi berkas cahaya terpolarisasi bidang sebesar 90° dan hanya menghasilkan kehilangan 10 persen dari interaksinya dengan menggunakan alat polarisasi "sempurna"!

Rangkuman

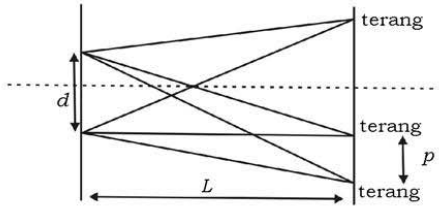
1. Jarak sasaran suatu benda yang menggunakan radar:
$$s = \frac{c\Delta t}{2}$$
2. Persamaan interferensi minimum pada celah ganda:
$$\frac{p\,d}{\ell} = (2n+1)\frac{1}{2}\lambda$$
3. Persamaan interferensi maksimum pada celah ganda:
$$\frac{p\,d}{\ell} = 2n\frac{1}{2}\lambda$$
4. Interferensi kisi membentuk pola terang bila dipenuhi:
$$d \sin \alpha = k\,\lambda$$
5. Hukum Brewster: $\text{tg}\, i_p = \frac{n'}{n}$

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Cahaya merupakan gelombang transversal, hal ini dapat diketahui karena cahaya dapat . . . .
   a. dipantulkan
   b. diinterferensikan
   c. dipolarisasikan
   d. dibiaskan
   e. direfleksikan

2. Seberkas cahaya akan mengalami polarisasi jika datang dari udara ke kaca yang indeks biasnya 1,33. Agar polarisasi tampak jelas, jika sinar datang dengan sudut datang . . . .
   a. 20°
   b. 30°
   c. 53°
   d. 75°
   e. 90°

3. 

   Gambar di atas adalah pola interferensi pada celah ganda bila digunakan cahaya monokromatis dengan panjang gelombang (λ). Maka jarak antara dua titik terang berurutan dari diagram interferensi cahaya pada celah ganda tersebut adalah . . . .
   a. $p = \frac{\lambda L}{d}$
   b. $p = \frac{\lambda d}{L}$
   c. $p = \frac{d}{\lambda L}$
   d. $p = \frac{d}{\lambda}$
   e. $p = \lambda L d$

4. Pada percobaan difraksi dengan sebuah kisi, dari warna-warna monokromatis di bawah ini yang paling besar sudut penyimpangannya adalah warna . . . .
   a. merah
   b. jingga
   c. kuning
   d. biru
   e. ungu
5. Jika indeks bias kaca 1,5, akan terjadi peristiwa polarisasi jika pada kaca itu didatangkan seberkas cahaya dengan sudut datang . . . .
   a. 15°
   b. 30°
   c. 45°
   d. 56°
   e. 90°
6. Yang **tidak benar** tentang pesawat radar . . . .
   a. memancarkan gelombang transversal
   b. dapat menentukan kecepatan pesawat
   c. dapat dipakai menduga dalamnya laut
   d. membantu pesawat yang sedang *landing*
   e. menggunakan gelombang elektromagnetik yang frekuensinya melebihi sinar ungu
7. Definisi dari $f' > f$ pada efek Dopler diartikan sebagai . . . .
   a. objek mendekati pengamat
   b. objek menjauhi pengamat
   c. pengamat mendekati objek
   d. pengamat menjauhi objek
   e. objek dan pengamat saling mendekati
8. Warna-warna yang tampak pada gelembung sabun menunjukkan gejala . . . .
   a. difraksi
   b. refraksi
   c. interferensi
   d. polarisasi
   e. refleksi
9. Polaroid yang berdekatan dengan sumber cahaya adalah . . . .
   a. analisator
   b. polarisator
   c. lampu
   d. lasutum
   e. mata
10. Di bawah ini yang tidak bisa membiaskembarkan seberkas cahaya yang datang padanya adalah . . . .
   a. $CaCO_3$
   b. karbon
   c. SiO_2
   d. gula
   e. mika

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Seberkas cahaya dijatuhkan tegak lurus pada sebuah kisi dengan 4000 goresan tiap cm. Jika spektrum orde ke dua membentuk sudut 30° dengan normal kisi. Hitung panjang gelombang sinar!
2. Pada percobaan Young digunakan 2 celah sempit yang berjarak 2 mm satu sama lain dan layar yang dipasang pada jarak 1 m dari celah tersebut. Jika dihasilkan terang kedua pada jarak 0,5 mm dari terang pusat. Hitung panjang gelombang cahaya yang digunakan!
3. Dua celah sempit yang terpisah pada jarak 0,2 mm, disinari tegak lurus. Garis terang ke tiga terletak 7,5 mm dari garis terang ke nol pada layar yang berjarak 1 m dari celah. Hitung panjang gelombang sinar yang dipakai!
4. Hitung sudut polarisasi pada kaca yang indeks biasnya 1,6!
5. Untuk menentukan panjang gelombang suatu sinar monokromatis, digunakan 2 celah yang berjarak 1 mm. Pada jarak 1 m dipasang layar. Pada layar terbentuk bola terang pertama setelah terang pusat berjarak 65 mm. Berapa Å (angstrom) panjang gelombang cahaya yang dipakai?

Bab III

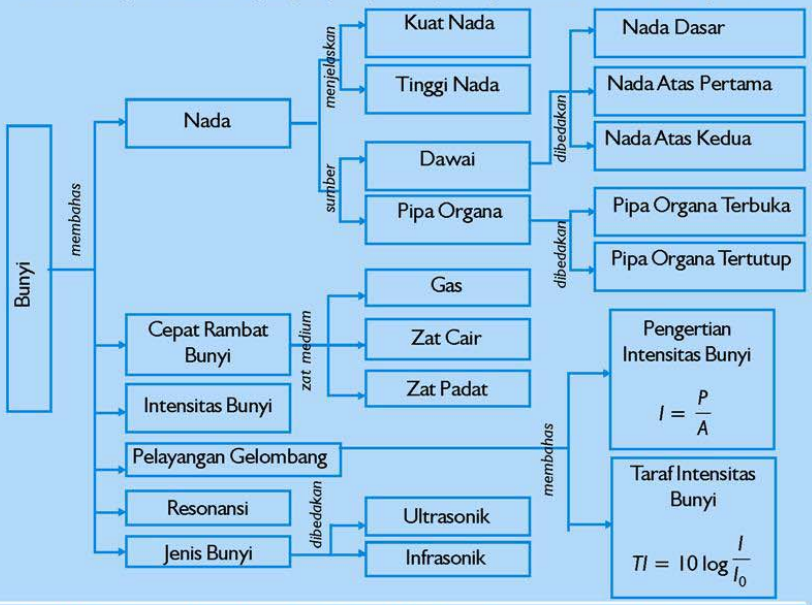
Bunyi

Sumber gambar: *Indonesia Heritage*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menggambarkan gejala dan ciri-ciri gelombang bunyi serta mampu menerapkan konsep dan prinsip gelombang bunyi dalam teknologi.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Nada
2. Cepat rambat bunyi
3. Intensitas bunyi
4. Taraf intensitas bunyi
5. Pelayangan
6. Resonansi

Sumber: *Indonesia Heritage*

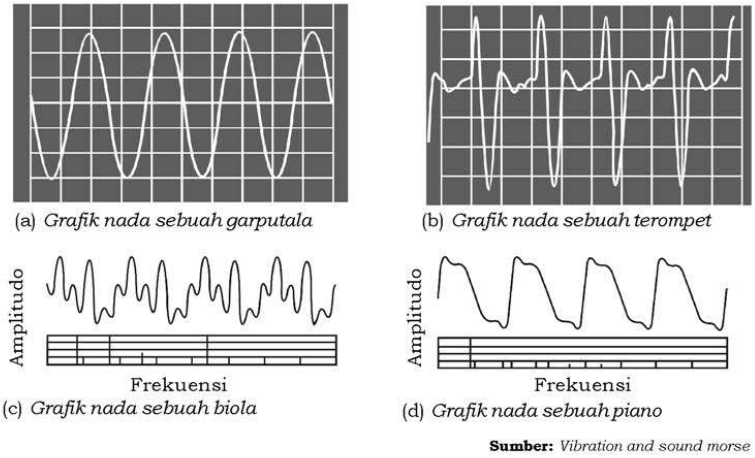
Gambar. *Alat musik gendang*

Kita wajib bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena kita telah dikaruniai alat pendengar (telinga) yang dapat untuk mendengarkan alunan bunyi musik yang merdu. Sumber bunyi adalah sesuatu yang bergetar akan tetapi tidak semua benda yang bergetar menghasilkan bunyi. Berilah contoh sederhana bahwa bunyi berasal dari sesuatu yang bergetar! Berilah contoh pula bahwa tidak semua benda yang bergetar menimbulkan bunyi!

A. Kuat Nada dan Tinggi Nada

Bunyi yang dihasilkan oleh kertas yang diremas-remas, bunyi yang ditimbulkan oleh daun yang diterpa angin, bunyi petir, tidak nyaman untuk di dengar. Bunyi semacam ini kita sebut desah. Bunyi yang dihasilkan oleh alat-alat musik enak kita dengar. Bunyi semacam ini disebut nada.

Kuat atau lemahnya nada ditentukan oleh besar kecil amplitudonya, sedangkan frekuensi nada menentukan tinggi rendahnya nada. Dengan menggunakan osiloskop dapat ditunjukkan bentuk gelombang bunyi, seperti beberapa contoh di bawah ini. Sumbu tegak menunjukkan amplitudo, sumbu mendatar menentukan frekuensi bunyi.



(a) *Grafik nada sebuah garputala*
(b) *Grafik nada sebuah terompet*
(c) *Grafik nada sebuah biola*
(d) *Grafik nada sebuah piano*

Sumber: *Vibration and sound morse*

Gambar 3.1 *Grafik nada*

B. Cepat Rambat Bunyi

Bunyi merambat sebagai gelombang longitudinal membutuhkan zat perantara. Bunyi dapat merambat melalui benda gas, benda cair ataupun benda padat.

Cepat rambat bunyi di dalam gas, ditentukan oleh suhu dan jenis gasnya. Ditulis dengan persamaan, sebagai berikut.

$$v = \sqrt{\gamma \frac{R\,T}{M}}$$

dengan

v = cepat rambat bunyi dalam gas (ms^{-1})
R = tetapan gas umum ($8{,}31 \times 10^{3}$ $Jmol^{-1}K^{-1}$)
γ = tetapan Laplace

$$\left(\frac{c_p}{c_v} = \frac{\text{panas jenis gas pada tekanan tetap}}{\text{panas jenis gas pada volume tetap}}\right)$$

T = suhu mutlak gas (K)
M = massa gas tiap mol ($kgmol^{-1}$)

Cepat rambat bunyi pada batang, ditentukan oleh jenis batang tersebut. Ditulis dengan persamaan sebagai berikut.

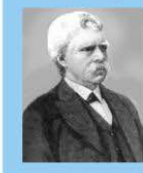
$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

dengan

v = cepat rambat bunyi pada batang (ms^{-1})
E = modulus kekenyalan bahan batang ($kgm^{-1}s^{-2}$)
ρ = massa jenis bahan batang (kgm^{-3})

Saintis

David Hughes (1831 - 1900)



Hughes lahir di London, tetapi dia hijrah ke Amerika. Di sana dia menjadi profesor bidang musik dan berhasil menemukan telegraf. Dia kemudian kembali ke London dan melakukan eksperimen tentang bunyi, dan kemudian menemukan transduser yang efektif. Tranduser ini begitu sensitifnya sehingga dia menganggapnya sebagai sejenis "mikroskop bunyi", dan menamakannnya "mikrofon".

Sumber: *Jendela Iptek 8*

Percobaan 3.1

Tujuan pembelajaran:

Peserta didik mampu melakukan percobaan dan bernalar untuk menentukan cepat rambat bunyi dalam gas (misalnya udara) dan benda padat (misalnya kaca atau logam).

Konsep:

Jarak dua simpul berurutan atau dua perut berurutan pada gelombang longitudinal tegak = $\frac{1}{2}\lambda$.

Saran penyajian:

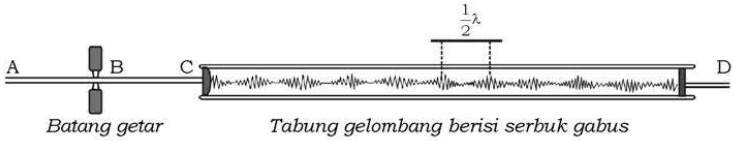
Timbulkan gelombang longitudinal berdiri pada batang getar dengan cara menggosok batang getar searah panjangnya.

Alat dan bahan:

Seperangkat alat percobaan Kundt.
Apabila di sekolah kalian belum ada, rancanglah alat tersebut dengan bagian-bagian seperti pada gambar.

Persiapan percobaan:

Susun alat Kundt di atas meja yang cukup panjang.



AC = batang getar, terbuat dari kaca atau logam, panjang kurang lebih 30 cm.
C = pengisap ringan untuk memasukkan gas yang akan dipakai untuk percobaan.
B = penjepit.
CD = tabung gelombang, terbuat dari tabung kaca, panjang kurang lebih 1 m, dapat dibuat dari tabung lampu neon bekas 40 watt.
D = pengisap digunakan untuk mengatur letak simpul dan perut gelombang

Di dalam tabung gelombang diisi serbuk gabus yang sangat ringan.

Langkah percobaan:

Misalnya kita akan mengukur cepat rambat bunyi di udara. Jadi, tidak perlu memasukkan gas ke dalam tabung gelombang. Dalam percobaan ini kita harus sudah tahu terlebih dahulu cepat rambat bunyi pada batang getar.

1. Jepit batang getar di tengah-tengah (di B)!
2. Gosok dengan kain basah batang getar AB, arah gosokan dari B ke A! Akan terdengar suara yang melengking. Batang AB = $\frac{1}{2}\lambda$ dari bunyi yang timbul. Jadi, $\lambda_a = 2\ell$, frekuensi getaran $f = \frac{v}{\lambda_a}$.
3. Getaran pengisap C menyebabkan udara dalam tabung gelombang terjadi gelombang longitudinal berdiri yang frekuensinya sama dengan frekuensi pada batang getar (=f).

4. Atur pengisap D (maju atau mundur) diusahakan di dalam tabung gelombang timbul gejala gelombang stasioner dengan terbentuknya simpul dan perut! Titik simpul ditandai dengan tumpukkan serbuk.
5. Hitung jumlah simpul (n)!
6. Jika panjang pipa ℓ maka panjang gelombang pada tabung gelombang $\lambda_b = \dfrac{\ell}{n-1}$
7. Cepat rambat bunyi di udara, $v = \lambda_b f$.
8. Ulangi percobaan paling sedikit 3 kali!

Hasil pengamatan:

Isikan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 hasil pengamatan yang kalian peroleh!

Tabel 3.1 Hasil Pengamatan

Pada batang getar				
No.	Panjang batang ℓ_a (m)	Panjang gel. batang getar $\lambda_a = 2\ell_a$ (m)	Cepat rambat gel. pada batang v (diket) (ms^{-1})	Frekuensi batang f (Hz)
1.	....	....	....	....
2.	....	....	....	....
3.	....	....	....	....

Tabel 3.2 Hasil Pengamatan

Pada tabung gelombang				
No.	Panjang batang ℓ_b (m)	Jumlah tump. serbuk n	Panjang gel. $\lambda_b = \dfrac{\ell_t}{n-1}$ (m)	Cepat rambat bunyi di udara $v = \lambda_b f$ (ms^{-1})
1.	....	....	....	....
2.	....	....	....	....
3.	....	....	....	....

Kesimpulan:

Bagaimana cepat rambat bunyi di udara?

Contoh Soal 3.1

Untuk menentukan cepat rambat bunyi pada besi, dilakukan percobaan Kundt. Panjang batang getar dari besi adalah 35 cm dan panjang tabung gelombang adalah 70 cm berisi udara. Setelah dilakukan percobaan, ternyata pada tabung gelombang terbentuk 29 tumpukan serbuk. Jika cepat rambat bunyi di udara saat itu 350 ms^{-1}, tentukan cepat rambat bunyi pada besi!

Penyelesaian:

Diketahui: f = 35 cm

ℓ = 70 cm

v = 350 ms^{-1}

Ditanya: v = ...?

Jawab:

Pada tabung gelombang:

$$\lambda = 2 \times \frac{\ell}{29-1} = 2 \times \frac{0{,}7}{28} = 0{,}05 \text{ ms}^{-1}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{350}{0{,}05} = 7000 \text{ Hz}$$

Pada batang getar:

$v = \lambda f$

$v = 2 \times 0{,}35 \times 7000$

$= 4900 \text{ ms}^{-1}$

Latihan 3.1

1. Hitung perbandingan kecepatan bunyi pada gas hidrogen bersuhu 27° C dengan gas oksigen pada suhu 77° C!
2. Pada percobaan Kundt digunakan batang dengan panjang 25 cm, tabung gelombang berisi oksigen. Diketahui cepat rambat bunyi pada besi 5000 ms^{-1}. Hitung cepat rambat bunyi pada oksigen, jika jarak antara penghisap pada tabung gelombang 30 cm dan terbentuk 16 tumpukan serbuk!

C. Intensitas Bunyi dan Taraf Intensitas Bunyi

1. Intensitas Bunyi

Suara orang berteriak lebih kuat daripada suara orang yang berbisik. Suara akan lebih kuat (nyaring) bila kita berada di tempat yang lebih dekat dengan sumber suara. Mengapa demikian? Apa saja yang mempengaruhi kuat lemahnya suara?

Bunyi adalah salah satu bentuk gelombang, sedangkan gelombang adalah rambatan getaran. Padahal getaran mempunyai energi sebesar $E = 2m\,\pi^2 f^2 A^2$, sehingga bunyi mempunyai energi yang berbanding lurus dengan kuadrat frekuensi dan kuadrat amplitudonya. Sudah kita pahami bahwa energi (W) tiap satuan waktu (t) adalah daya (P). daya,

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

Sedangkan daya setiap satuan luas (A) kita sebut intensitas (I). Jadi, yang dimaksud intensitas gelombang bunyi adalah jumlah energi gelombang bunyi tiap sekon yang menembus bidang tegak lurus tiap satuan luas. Intensitas gelombang bunyi dapat diartikan sebagai daya tiap satuan luas.

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

dengan

I = intensitas bunyi (watt m^{-2})
P = daya bunyi (watt)
A = luas bidang (m^2)

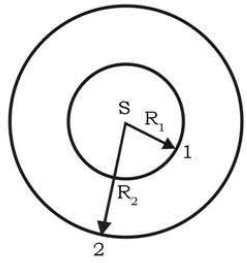
Dari sumber bunyi S dipancarkan daya gelombang bunyi sebesar P watt.

Intensitas bunyi di titik 1, dengan luasan berupa permukaan bidang.

$$I_1 = \frac{P}{A_1} = \frac{P}{4\pi R_1^2}$$

Intensitas bunyi di titik 2:

$$I_2 = \frac{P}{A_2} = \frac{P}{4\pi R_1^2}$$



Gambar 3.2 *Pemancaran dari sumber bunyi*

Perbandingan intensitas bunyi di titik 1 dan titik 2:

$$I_1 : I_2 = \frac{P}{4\pi R_1^2} : \frac{P}{4\pi R_2^2}$$

$$I_1 : I_2 = \frac{1}{R_1^2} : \frac{1}{R_2^2} \quad \text{atau} \quad I_1 : I_2 = R_2^2 : R_1^2$$

Jadi, intensitas bunyi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak ke sumber bunyi.

dengan

I_1 = intensitas di titik 1 (watt m^{-2})
I_2 = intensitas di titik 2 (watt m^{-2})
R_1 = jarak titik 1 dari sumber gelombang bunyi (m)
R_2 = jarak titik 2 dari sumber gelombang bunyi (m)

Aksi Fisika *"Ayo kembangkan kecakapan personal kalian!"*

Pernahkah kalian memperhatikan saat pergi ke kolam renang? Apabila ada orang yang berada di dalam air dipanggil temannya yang berada di luar air, orang yang berada di dalam air tidak mendengar panggilan temannya. Di saat gelombang bunyi menjalar dari udara ke dalam air, apakah kalian mengira frekuensi atau panjang gelombang berubah? Berikan analisis dan argumentasi kalian!

2. Taraf Intensitas Bunyi

Tidak semua frekuensi gelombang bunyi dapat didengar oleh telinga normal manusia, tetapi hanya terbatas pada frekuensi antara 20 Hz – 20.000 Hz. Gelombang bunyi ini disebut gelombang audio. Frekuensi kurang dari 20 Hz disebut infrasonik dan lebih dari 20.000 Hz disebut ultrasonik.

Beberapa jenis hewan, misalnya anjing dapat mendengar bunyi yang frekuensinya sampai 50.000 Hz. Kelelawar mengeluarkan bunyi yang frekuensinya sampai 100.000 Hz. Jika bunyi ini mengenai suatu benda, akan dipantulkan lagi ke indra kelelawar, sehingga kelelawar dapat mengetahui posisi benda itu.

Jangkrik dapat mendengar gelombang infrasonik, dengan demikian dapat mengetahui langkah manusia atau binatang yang akan mendekatinya.

Sistem yang ada pada kelelawar, dimanfaatkan manusia pada berbagai keperluan dalam teknik dan kesehatan. Suatu alat yang disebut sonar *(sound navigation and ranging)*, menggunakan ultrasonik untuk mengetahui adanya benda-benda di dalam laut. Dalam industri modern ultrasonik dimanfaatkan misalnya di pabrik susu, untuk mengaduk campuran susu agar menjadi homogen. Meratakan campuran besi dan timah yang dilebur.

Di bidang kesehatan, digunakan alat yang disebut USG *(Ultra Sono Grafi)*. Memanfaatkan ultrasonik untuk mengetahui kelainan-kelainan di dalam tubuh.

Dalam bidang pertanian digunakan teknologi *sonic bloom*. Konsep teknologi ini adalah perpaduan antara unit pembangkit ultrasonik dan penyemprotan nutrisi melalui daun. Penggunaan ultrasonik mampu merangsang mulut daun untuk terbuka lebih lebar, sehingga meningkatkan laju dan efektivitas penyerapan nutrisi melalui daun. Frekuensi yang digunakan antara 35.000 – 50.000 Hz, yang dapat mempengaruhi pembukaan mulut daun hingga 125 %.

Selain itu telinga kita hanya mampu menerima bunyi dengan intensitas yang terbatas. Pada frekuensi 1000 Hz, intensitas terkecil rata-rata yang masih dapat menimbulkan rangsangan pendengaran pada telinga kita adalah 10^{-12} watt m^{-2}. Harga ini disebut harga ambang pendengaran (I_0). Intensitas terbesar rata-rata yang masih dapat diterima telinga manusia tanpa rasa sakit ialah 1 watt.m^{-2}. Harga ini disebut ambang perasaan.

Karena selang intensitas bunyi yang dapat merangsang pendengaran manusia itu besar, yaitu dari 10^{-12} watt m^{-2} sampai dengan 1 watt m^{-2} maka digunakan skala logaritmik yang disebut taraf intensitas. Taraf intensitas dapat diberi lambang *TI* dan didefinisikan sebagai logaritma perbandingan antara intensitas bunyi dengan harga ambang pendengaran (I_0).

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

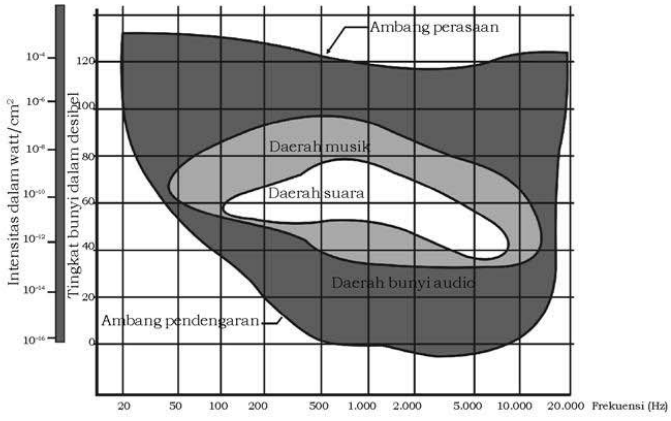
dengan

TI = taraf intensitas bunyi (bel)
I = intensitas bunyi (watt.m^{-2})
I_0 = ambang pendengaran (10^{-12} watt.m^{-2})

Dalam satuan bel, nilai β terlalu kecil, oleh sebab itu dalam praktik digunakan satuan desibel (1 bel = 10 desibel), sehingga ditulis:

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

Di bawah ini dilukiskan karakteristik daerah bunyi audio. Lengkungan paling bawah dinamakan ambang pendengaran, untuk bermacam-macam frekuensi yang masih dapat didengar, lengkungan paling atas disebut ambang perasaan untuk bermacam-macam frekuensi yang tidak menimbulkan rasa sakit.



Sumber: *Gelombang dan Medan 2*

Gambar 3.3 *Karakteristik daerah bunyi*

Misalkan pada frekuensi 1000 Hz ambang pendengaran 0 dB atau 10^{-16} watt cm^{-2}, ambang perasaan 120 dB atau 10^{-4} watt cm^{-2}.

Contoh Soal 3.2

Pada jarak 1 m dari sumber bunyi intensitas bunyinya adalah 10^{-8} watt m^{-2}. Tentukan:

a. taraf intensitas bunyi di tempat itu,
b. intensitas bunyi pada jarak 10 m dari sumber bunyi,
c. taraf intensitas bunyi pada jarak 10 m!

Penyelesaian:

Diketahui: $R = 1$ m

$I = 10^{-8}$ watt m^{-2}

Ditanya: a) TI ...? b) I_2 ...? c) TI_2 ...?

Jawab:

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

$= 10 \log \frac{10^{-8}}{10^{-12}}$

$= 40$ dB

b. $I_1 : I_2 = R_2^2 : R_1^2$

$10^{-8} : I_2 = 10^2 : 1^2$

$I_2 = 10^{-10}$ watt m^{-2}

c. $TI_2 = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{10^{-10}}{10^{-12}} = 20$ dB

Latihan 3.2

1. Taraf intensitas bunyi pada suatu titik yang berjarak 100 m dari sumber bunyi adalah 20 dB. Hitung:
   a. intensitas bunyi di tempat itu,
   b. intensitas bunyi pada jarak 10 m dari sumber bunyi,
   c. taraf intensitas bunyi soal b!
2. Sebuah terompet menimbulkan taraf intensitas bunyi 80 dB. Berapa taraf intensitas yang ditimbulkan oleh 10 terompet yang dibunyikan bersama-sama?

D. Nada yang Ditimbulkan oleh Dawai

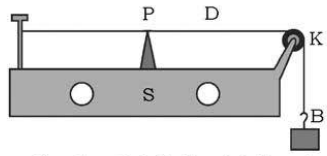
Apabila kalian memainkan gitar, di samping memindahkan jari dari satu senar ke senar yang lain, juga menekan senar berpindah dari bagian yang satu ke bagian yang lain, yang menyebabkan nada yang diperdengarkan gitar berbeda-beda. Apa maksud dari memindahkan penekanan pada bagian-bagian senar itu?

Pada saat kita mempelajari cepat rambat bunyi dengan percobaan Melde diperoleh bahwa kecepatan rambat bunyi pada dawai tergantung pada gaya yang diberikan pada dawai. Kita juga sudah mengetahui bahwa cepat rambat bunyi berkaitan dengan frekuensi dan panjang gelombang. Oleh karena itu kita dapat mengubah frekuensi yang dikeluarkan oleh dawai yang dipetik dengan cara mengubah panjang gelombang yang dihasilkan. Dengan membandingkan frekuensi yang dihasilkan dawai disebabkan oleh panjang gelombang inilah, maka kita dapat membedakan nada-nada dari dawai. Pada bahasan berikut ini, akan dipelajari perbandingan nada-nada dengan cara mengubah posisi terjadinya perut dan simpul pada dawai yang kedua ujungnya terlihat. Ini merupakan prinsip pembuatan gitar.

Nada-nada yang diperdengarkan oleh senar/dawai dapat dipelajari dengan menggunakan sonometer. Penentuan nada dasar, dasar 1, dasar 2, ... dan seterusnya dilakukan dengan perbandingan frekuensi dari jumlah gelombang yang ditimbulkan.

1. Nada Dasar Dawai

Keadaan dawai bergetar yang paling sederhana adalah menghasilkan satu perut diantara kedua simpul. Pada ujung yang terikat keadaan ini disebut dengan nada dasar dan ditandai dengan f_0.



Gambar 3.4 *Nada oleh dawai*

Keterangan:

D = dawai/senar/kawat
P = penumpu
K = katrol
B = beban
S = kotak suara

Dalam hal ini panjang dawai:

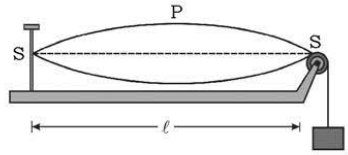
$$\ell = \frac{1}{2}\lambda_0$$

$\lambda_0 = 2\ell$, dawai memperdengarkan nada dasar (f_0)

$$f_0 = \frac{v}{\lambda_0} \text{ atau } f_0 = \frac{v}{2\ell}$$

Dari hukum Melde, $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ diperoleh:

$$f_0 = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

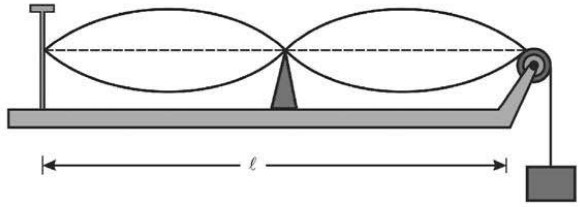


Gambar 3.5 *Gelombang pada dawai dengan satu perut dan dua simpul*

Rumus ini mengungkapkan hukum Mersene.

2. Nada Atas Pertama pada Dawai

Dengan cara memberi penumpu di tengah-tengah dawai, kemudian dawai dipetik akan dihasilkan gelombang dengan 2 perut, 3 simpul.



Gambar 3.6 *Gelombang dawai dengan dua perut dan tiga simpul*

Dalam hal ini panjang dawai:

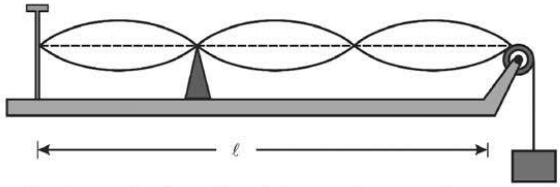
$\ell = \lambda_1$

$\lambda_1 = \ell$, dawai memperdengarkan nada atas pertama (f_1)

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} \text{ atau } f_1 = \frac{1}{\ell}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

3. Nada Atas Kedua pada Dawai

Penumpu diletakkan pada 1/3 panjang dawai, kemudian dawai dipetik, akan dihasilkan 3 perut, 4 simpul.



Gambar 3.7 *Gelombang dawai dengan tiga perut dan empat simpul*

Panjang dawai:

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

$\lambda_2 = \frac{2}{3}\ell$, dawai memperdengarkan nada atas kedua (f_2)

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

$$f_2 = \frac{v}{\frac{2}{3}\ell}$$

$$f_2 = \frac{3v}{2\ell} \quad \text{atau} \quad f_2 = \frac{3}{2\ell}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

Jika dibandingkan diperoleh:

$$f_0 : f_1 : f_2 \ldots = \frac{v}{2\ell} : \frac{v}{\ell} : \frac{3v}{2\ell} : \ldots$$

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

Contoh Soal 3.3

1. Berapakah frekuensi nada dasar sebuah dawai gitar yang panjangnya 1 m, ditegangkan dengan gaya 100 N, jika massa dawai 1,6 gram?

Penyelesaian:

Diketahui: $\ell = 1$ m
$F = 100$ N
$m = 1{,}6\times10^{3}$ kg
Ditanya: $f_o = \ldots?$
Jawab:

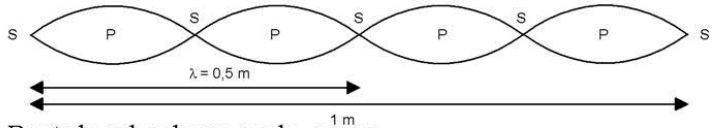
$$\mu = \frac{m}{\ell} = \frac{1{,}6\times10^{-3}}{1} = 1{,}6\times10^{-3}\ \text{kg.m}^{-1}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{F}{\mu}} = \frac{1}{2\times1}\sqrt{\frac{100}{16\times10^{-4}}} = 125\ \text{Hz}$$

2. Sebuah dawai dipetik memperdengarkan nada atas ke-3. Lukiskan letak simpul dan perut pada senar itu! Panjang senar 1 m.

Penyelesaian:

Memperdengarkan nada atas ke-3 berarti terbentuk 4 perut 5 simpul, pada tali terjadi 2 gelombang.
$2\lambda = 1$ m
$\lambda = 0{,}5$ m



Bentuk gelombang pada senar

Latihan 3.3

Sebuah dawai panjang 2 m, massa 1,6 gram ditegangkan dengan gaya 50 N.

a. Hitung nada dasar yang diperdengarkan dawai!
b. Hitung nada atas ke-2 yang diperdengarkan dawai!
c. Lukislah letak simpul dan perut jika memperdengarkan nada atas ke-4!

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan kecakapan sosial dan vokasional kalian!"

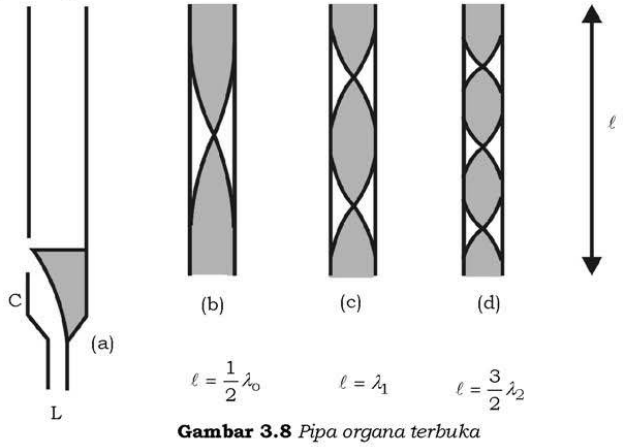
Ambilah sebuah gitar! Ukur letak garis lengan tempat dari ditekan dan dengarkan nada-nada yang dihasilkan oleh setiap garis tersebut. Diskusikan dengan teman kalian apakah sama yang diberikan untuk memperoleh gitar yang baik!

E. Nada yang Ditimbulkan oleh Pipa Organa

Kalian pernah meniup seruling? Jika ditiup dapat memperdengarkan nada rendah maupun nada tinggi. Bahkan bagi mereka yang pandai memainkan dapat memperdengarkan suara yang merdu. Coba bernalarlah, mengapa dan bagaimana seruling jika ditiup dapat mengeluarkan bunyi?

Akan kita bahas frekuensi bunyi yang diperdengarkan oleh pipa organa. Pipa organa berupa tabung, yang berisi kolom udara, yang ukuran panjangnya jauh lebih besar dari lebarnya. Dan ukuran ini yang memungkinkan terbentuknya gelombang longitudinal berdiri di dalam tabung, sehingga memperdengarkan bunyi. Ada dua jenis pipa organa, yaitu pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup.

1. Pipa Organa Terbuka



Gambar 3.8 *Pipa organa terbuka*

Gambar 3.8a: Pipa organa terbuka. Jika ditiupkan udara dari L, udara diarahkan ke celah C, sehingga meng–getarkan bibir dalam pipa. Gelombang getaran ini merambat ke lubang atas. Oleh lubang atas dipantulkan lagi ke bawah. Hal ini merupakan pemantulan gelombang pada ujung bebas. Gelombang pantul dan gelombang datang saling berinterferensi dan timbullah gelombang stasioner. Pada lubang atas terjadi perut gelombang dan pada bibir juga terjadi perut gelombang.

Gambar 3.8b: Pipa organa bergetar dengan nada terendah, terbentuk 1 simpul di antara 2 perut. Dikatakan pipa organa memperdengarkan nada dasar dengan frekuensi f_0.

Panjang pipa:

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

$$\lambda_0 = 2\ell$$

Dari persamaan

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

$$f_0 = \frac{v}{2\ell}$$

Gambar 3.8c: Pipa organa bergetar dengan nada yang lebih tinggi lagi, terbentuk 2 simpul dan 3 perut. Dikatakan pipa organa memperdengarkan nada atas pertama dengan frekuensi f_1.

Panjang pipa: $\ell = \lambda_1$
diperoleh:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{\ell}$$

Gambar 3.8d: Pipa organa bergetar dengan nada lebih tinggi terjadi 3 simpul dan 4 perut, pipa organa memperdengarkan nada atas kedua dengan frekuensi f_2.

Panjang pipa: $\ell = \frac{3}{2}\lambda_2$

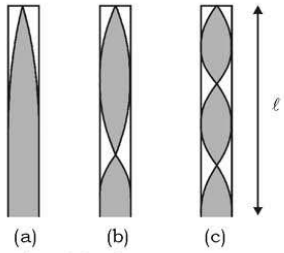
diperoleh: $f_2 = \frac{3v}{2\ell}$

sehingga: $f_0 : f_1 : f_2 = \frac{v}{2\ell} : \frac{v}{\ell} : \frac{3v}{2\ell}$

$$f_0 : f_1 : f_{2;} \ldots = 1 : 2 : 3 : \ldots$$

Persamaan tersebut dikenal dengan hukum Bernoulli pada pipa organa terbuka. Frekuensi nada-nada pipa organa terbuka berbanding sebagai bilangan bulat berurutan.

2. Pipa Organa Tertutup



Gambar 3.9 *Pipa organa tertutup*

Apabila lubang atas ditutup disebut pipa organa tertutup. Pada pipa organa tertutup pada bagian atasnya terbentuk simpul gelombang.

Gambar 3.9a: $\ell = \frac{1}{4}\lambda_0$, diperoleh $f_0 = \frac{v}{4\ell}$

Gambar 3.9b: $\ell = \frac{3}{4}\lambda_1$, diperoleh $f_1 = \frac{3v}{4\ell}$

Gambar 3.9c: $\ell = \frac{5}{4}\lambda_2$, diperoleh $f_2 = \frac{5v}{4\ell}$

Sehingga

$$f_0 : f_1 : f_2 = 1 : 3 : 5 : ....$$

Rumus di atas dikenal dengan hukum Bernoulli pada pipa organa tertutup. Frekuensi nada-nada pipa organa tertutup berbanding sebagai bilangan ganjil.

Percobaan Kundt yang telah kalian lakukan memberikan pembuktian pipa organa.

"Ayo kembangkan kecakapan personal kalian!"

Dimensi Fisika

Sumber: *Ilmu Pengetahuan Populer*

Perhatikan gambar di samping!
Piano dapat menghasilkan nada-nada yang indah jika dimainkan dengan baik. Bunyi dari nada-nada yang dihasilkan piano adalah fenomena pelayangan gelombang. Coba kalian renungkan kemudian berikan argumentasi mengapa nada-nada piano merupakan fenomena pelayangan.

Info Sains

Bunyi yang dihasilkan oleh alat musik tiup terjadi manakala suara kolom udara dalam pipa logam dibuat bergetar oleh bibir pemainnya. Tangga nada ditentukan oleh sejumlah getaran bibir dan panjang pipa.

Sumber: *Kamus Visual*

Contoh Soal 3.4

Sebuah pipa organa terbuka panjang 60 cm. Jika pada saat itu di tempat tersebut kecepatan merambat bunyi 300 ms^{-1}.

a. Hitung frekuensi nada dasarnya!
b. Hitung panjang gelombang yang terjadi jika memperdengarkan nada atas kedua!

Penyelesaian:

Diketahui: ℓ = 60 cm = 0,6 m

v = 300 ms^{-1}

Ditanya: a) f_0 = ...?

b) λ_2 = ...?

Jawab:

a. $f_0 = \frac{v}{2\ell} = \frac{300}{2 \times 0{,}6} = 250$ Hz

b. Memperdengarkan nada atas kedua:

$\ell = 1\frac{1}{2}\lambda_2$

$0{,}6 = 1\frac{1}{2}\lambda_2$

$\lambda_2 = 0{,}4$ m

Latihan 3.4

Sebuah pipa organa terbuka panjang 34 cm. Jika pada saat itu cepat rambat suara di udara 340 ms^{-1}.

a. Hitung frekuensi nada dasarnya!
b. Hitung panjang gelombang nada dasarnya!
c. Lukiskan letak simpul dan perut gelombang, saat memperdengarkan nada dasarnya!

F. Peristiwa Pelayangan Gelombang

Di depan sudah kita pelajari interferensi antara gelombang datang dan gelombang pantul pada dawai. Terjadi perut gelombang, apabila kedua gelombang saling memperkuat. Ini terjadi jika beda fase kedua gelombang sama dengan 0, 1, 2, 3, ... atau dikatakan kedua gelombang mempunyai fase sama. Terjadi simpul gelombang apabila kedua gelombang saling meniadakan. Ini terjadi jika beda fase kedua gelombang sama dengan $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$, ... atau dikatakan kedua gelombang mempunyai beda fase $\frac{1}{2}$.

Peristiwa lain yang timbul akibat interferensi adalah layangan. Layangan timbul oleh interferensi dua gelombang bunyi yang frekuensinya berbeda sedikit.

Sumber bunyi pertama dengan frekuensi $f_1 = f + \delta$ (δ bilangan yang kecil). Sumber bunyi kedua dengan frekuensi $f_2 = f$. Anggap kedua sumber bunyi bergetar bersamaan, karenanya pada permulaan terdengar suara nyaring. Bagaimana hal ini terjadi?

Pada waktu $\frac{1}{2\delta}$ sekon kemudian, fase setara diperoleh dari

$$\frac{\omega t}{2\pi} = \frac{2\pi ft}{2\pi} = ft$$

Fase getaran bunyi pertama:

$$\delta_1 = \frac{1}{2\delta}$$

Fase getaran bunyi kedua:

$$\delta_2 = \frac{1}{2\delta} + \frac{1}{2}$$

Beda fase kedua getaran adalah $\frac{1}{2}$, akibatnya kedua sumber bunyi saling memperlemah sehingga tidak terdengar bunyi.

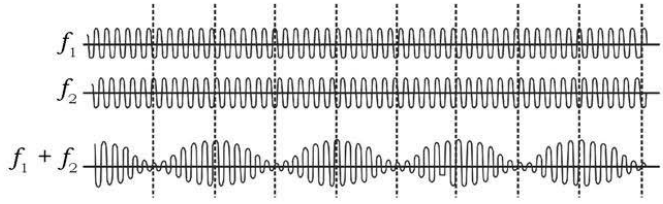
Pada waktu $\frac{1}{2\delta}$ sekon berikutnya,

Fase getaran bunyi pertama: $\delta_1 = \frac{f}{\delta}$

Fase getaran bunyi kedua: $\delta_2 = \frac{f}{\delta} + 1$

Beda fase kedua getaran adalah 1, akibatnya kedua sumber bunyi saling memperkuat, sehingga terdengar bunyi yang nyaring. Begitu seterusnya akan terjadi suara lemah – nyaring – lemah bergantian. Adapun yang dimaksud dengan satu layangan adalah bunyi terdengar lemah – nyaring – lemah atau nyaring – lemah – nyaring. Jadi, selama satu sekon terdengar nyaring – lemah – nyaring atau satu layangan. Jadi, dalam waktu $\frac{1}{\delta}$ sekon terdapat δ layangan. Dengan kata lain banyak layangan per sekon sama dengan selisih frekuensi sumber bunyi itu.

Terjadinya peristiwa layangan dapat dilukiskan seperti gambar 3.11 berikut.



Sumber: *Energi Gelombang dan Medan 2*

Gambar 3.10 *Peristiwa layangan gelombang*

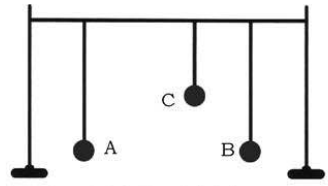
Latihan 3.5

Hitung periode layangan jika dua sumber bunyi yang frekuensinya 304 Hz dan 300 Hz dibunyikan bersama-sama!

G. Resonansi

Untuk memahami peristiwa resonansi kita lakukan kegiatan sebagai berikut.

Gantungkan 3 bandul A, B, dan C pada seutas tali yang direntangkan di antara dua penumpu. Panjang bandul A dibuat sama dengan panjang bandul B. Panjang bandul C berbeda. Ayunkan bandul A. Apa yang terjadi? Bandul B turut berayun. Bandul C tidak turut berayun. Peristiwa ikut bergetarnya suatu benda karena



Gambar 3.11 *Bandul (uji resonansi)*

getaran benda lain disebut resonansi. Resonansi terjadi pada suatu benda kalau frekuensi wajar benda itu sama atau hampir sama dengan frekuensi wajar benda lain yang bergetar. Udara atau gas dalam suatu rongga (kolom) pun dapat beresonansi dengan sumber getaran lain, asalkan frekuensinya sesuai dengan frekuensi sumber getaran. Misalnya pada alat-alat musik, gitar, gendang, gamelan dan lain-lainnya. Dengan peristiwa resonansi dapat digunakan untuk menentukan cepat rambat bunyi di dalam udara, seperti pada percobaan berikut.

Selain dengan percobaan Kundt, kecepatan merambat gelombang bunyi di udara dapat ditentukan dengan memanfaatkan peristiwa resonansi. Untuk itu, marilah kita lakukan percobaan sebagai berikut!

Percobaan 3.2

Tujuan pembelajaran:

Peserta didik mampu melakukan percobaan, menentukan kecepatan merambat gelombang bunyi di udara dengan memanfaatkan peristiwa resonansi.

Konsep:

1. Resonansi pada kolom udara terjadi jika panjang kolom udara = $\frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda$ .... (λ = panjang gelombang sumber bunyi yang menimbulkannya).
2. Dengan menggunakan rumus $v = \lambda f$, dapat dihitung kecepatan merambat gelombang bunyi (v), jika frekuensi sumber bunyi (f) diketahui, sedangkan λ dapat diukur melalui percobaan.

Saran penyajian:

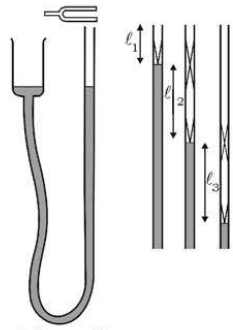
Garputala G yang mempunyai frekuensi f digetarkan di atas tabung resonansi akan menimbulkan peristiwa resonansi pada rongga udara. Ditandai dengan terdengarnya dengung nada yang kuat.

Alat dan bahan:

1. Satu perangkat alat resonansi
2. Satu buah garputala yang sudah diketahui frekuensinya.
3. Statif berkaki panjang, lengkap dengan penjepitnya.
4. Air secukupnya.

Persiapan percobaan:

Susunlah alat-alat seperti pada gambar di samping.



Langkah-langkah percobaan:

1. Tabung A diisi air secukupnya!
2. Getarkan garputala dan segera ditempatkan hampir menempel di bibir tabung A!
3. Turunkan ketinggian air di tabung A perlahan-lahan sampai terdengar dengung nada yang kuat!
4. Ukur panjang kolom udara (ℓ_1), saat terjadi resonansi yang pertama!
5. Ulangi kegiatan tersebut di atas untuk mendapatkan resonansi yang kedua, misalkan panjang kolom udara sekarang ℓ_2!

Hasil pengamatan:

Masukkan hasil pengamatan pada kolom data berikut.

No.	f (Hz)	ℓ_1 (m)	ℓ_2 (m)	$\frac{1}{2}\lambda = \ell_2 - \ell_1$ (m)	λ (m)	$v = \lambda \cdot f$ (ms^{-1})
1.	....	...	...	....	....	....

Kesimpulan:

Berapa kecepatan merambat bunyi pada saat itu?

Contoh Soal 3.5

Untuk menentukan kecepatan merambat bunyi di udara digunakan alat resonansi. Dengan menggunakan garputala yang frekuensinya 500 Hz, diperoleh data sebagai berikut. Resonansi pertama terjadi pada kolom udara 19 cm dan resonansi kedua pada kolom udara 55 cm. Berapa kecepatan merambat gelombang bunyi menurut percobaan itu?

Penyelesaian:

Diketahui: $\ell_1 = 19$ cm

$\ell_2 = 55$ cm

Ditanya: v = ...?
Jawab:

$\frac{1}{2}\lambda = \ell_2 - \ell_1$
$= 55 - 19 = 36$ cm $= 0{,}36$ m
$\lambda = 2 \times 0{,}36 = 0{,}72$ m
$v = \lambda f$
$= 0{,}72 \times 500 = 360$ ms^{-1}

Latihan 3.6

1. Berilah beberapa contoh resonansi pada rongga udara!
2. Pada percobaan resonansi untuk menentukan cepat rambat bunyi di udara digunakan garputala yang mempunyai frekuensi 360 Hz. Resonansi pertama terjadi pada kolom udara 25 cm dan resonansi kedua pada kolom udara 75 cm.
   a. Tentukan kecepatan merambat bunyi di tempat itu!
   b. Sebutkan jenis gelombang pada kolom udara!
   c. Resonansi pertama terjadi bila panjang kolom udara = $\frac{1}{4}\lambda$ dari bunyi yang ditimbulkan oleh garputala. Mengapa harus $\frac{1}{4}\lambda$?
3. Sebuah tabung gelas, kedua ujungnya terbuka. tabung gelas tersebut dimasukkan ke dalam bejana berisi air. Di atas tabung digetarkan garpu tala dengan frekuensi tertentu. Mula-mula tabung penuh berisi air lalu ditarik ke atas. Jika bunyi paling keras pertama terdengar pada saat panjang tabung yang di atas air 18 cm. Tentukan panjang gelombang bunyi tersebut!

H. Efek Dopler

Kita akan merasakan efek dopler bila mobil yang membunyikan sirine melewati kita. Kita mendengar suara makin nyaring apabila mobil yang bersirine bergerak mendekat. Akan tetapi suara semakin melemah atau tidak nyaring lagi apabila mobil tersebut menjauh. Hal ini terjadi karena pada saat mobil mendekat gelombang yang sampai ke telinga semakin rapat, sehingga frekuensinya semakin

besar. Pendengar yang ditinggalkan oleh mobil, merasa gelombang yang datang semakin besar, sehingga jarak antara frekuensi semakin kecil.

Kenyaringan bunyi yang didengar oleh pendengar tergantung pada frekuensi gelombang bunyi dari sumber kecepatan gerakan dari sumber bunyi dan pendengar.

Apabila f adalah frekuensi sumber, f' adalah frekuensi yang diterima pendengar, v kecepatan bunyi di udara dan v_s kecepatan gerak sumber bunyi maka:

$$f' = \left(\frac{v}{v - v_s} \right) f$$

Oleh karena penyebut dari suku dalam huruf bertambah kecil bila v_s bertambah besar maka harga suku dalam bunyi makin bertambah besar. Sehingga frekuensi yang diterima oleh pendengar akan lebih besar dari frekuensi sumber.

Apabila sumber frekuensi bergerak menjauhi pendengar, frekuensi yang diterima pendengar akan semakin kecil,

$$f' = \left(\frac{v}{v + v_s} \right) f$$

Kedua persamaan di atas berlaku bila pendengar diam, $v_p = 0$.

Bagaimana kalau pendengar yang mendekati sumber frekuensi? Pada keadaan ini $v_s = 0$ maka:

$$f' = \left(\frac{v + v_p}{v} \right) f$$

Sedangkan apabila pendengar menjauh, frekuensi yang diterima semakin kecil.

$$f' = \left(\frac{v - v_p}{v} \right) f$$

Contoh Soal 3.6

Perubahan frekuensi suatu bunyi yang sumbernya bergerak mendekati pendengar diketahui 1% dari frekuensi asalnya. Bila laju rambat bunyi di udara adalah 300 ms^{-1}, hitung laju sumber bunyi tersebut relatif terhadap pendengar!

Penyelesaian:

Karena sumber bunyi mendekati pendengar maka frekuensi yang diterima pendengar lebih dari pada frekuensi sumber (f_s), sehingga:

$\Delta f = f_p - f_s$

$= (1\%)\, f_s = 0{,}01\, f_s$

$f_p = f_s + 0{,}01 f_s = 1{,}01 f_s$

$$f_p = \left(\frac{v}{v - v_s}\right) f_s$$

$$1{,}01 f_s = \left(\frac{300}{300 - v_s}\right) f_s$$

$1{,}01\ (300 - v_s) = 300$

$1{,}01 \times 300 - 1{,}01 v_s = 300$

$$v_s = \frac{1{,}01 \times 300 - 300}{1{,}01} = 2{,}47\ ms^{-1}$$

Latihan 3.7

1. Suatu sumber bunyi bergerak dengan kelajuan 10 ms^{-1} menjauhi seorang pendengar yang diam. Jika frekuensi bunyi 400 Hz dan kelajuannya 390 ms^{-1}. Hitung frekuensi gelombang bunyi yang diterima pendengar!
2. Pada suatu saat terlihat kilat dan 10 sekon kemudian terdengar suara gunturnya. Apabila kecepatan cahaya besarnya 3 $\times 10^8$ ms^{-1} dan cepat rambat bunyi 340 ms^{-1}. Hitunglah jarak antara tempat asal kilat dan pengamat!

Rangkuman

1. Cepat rambat bunyi di udara dirumuskan:

$$v = \sqrt{\gamma \frac{R \times T}{M}}$$

2. Cepat rambat bunyi gelombang:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

3. Intensitas bunyi:

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

4. Taraf intensitas bunyi:

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

5. Nada dasar dawai:

$$f_0 = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

6. Nada pada dawai:

$$f_0 : f_1 : f_2 \ldots = \frac{v}{2\ell} : \frac{v}{\ell} : \frac{3v}{2\ell} : \ldots = 1 : 2 : 3$$

7. Nada pada pipa organa terbuka:

$$f_0 : f_1 : f_2 \ldots = \frac{v}{2\ell} : \frac{v}{\ell} : \frac{3v}{2\ell} : \ldots = 1 : 2 : 3$$

8. Nada pada pipa organa tertutup:

$$f_0 : f_1 : f_2 \ldots = \frac{v}{4\ell} : \frac{3v}{4\ell} : \frac{5v}{4\ell} : \ldots = 1 : 3 : 5$$

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Berikut ini tentang batas-batas gelombang bunyi yang dapat diterima oleh telinga normal manusia:
   1) Intensitas bunyi mempunyai batas antara 10^{-12} watt m^{-2} sampai 1 watt m^{-2}.
   2) Taraf intensitas bunyi antara 0 desibel sampai 120 desibel.
   3) Intensitas ambang pendengaran 10^{-16} watt m^{-2}.

   Pernyataan yang benar adalah . . . .
   a. 1, 2, dan 3
   b. 1 dan 2
   c. 1 dan 3
   d. 2 dan 3
   e. 3

2. Taraf intensitas bunyi suatu ledakan pada jarak 2 m dari sumbernya adalah 90 dB. Pada jarak 20 m dari sumber ledakan, taraf intensitasnya adalah . . . .
   a. 0,9 dB
   b. 9 dB
   c. 70 dB
   d. 100 dB
   e. 110 dB

3. Hal berikut tentang energi bunyi klakson.
   1) Energi bunyi dua klakson yang identik sama dengan dua kali energi satu klakson.
   2) Taraf intensitas bunyi dua klakson yang identik sama dengan dua kali taraf intensitas satu klakson.
   3) Intensitas bunyi dua klakson yang identik sama dengan dua kali intensitas satu klakson.

   Pernyataan yang benar adalah . . . .
   a. 1, 2, dan 3
   b. 1 dan 2
   c. 1 dan 3
   d. 2 dan 3
   e. 3

4. Pada frekuensi 500 Hz, taraf intensitas yang dapat didengar manusia antara . . . .
   a. 0 sampai dengan 120 dB
   b. 20 sampai dengan 120 dB
   c. 0 sampai dengan 100 dB
   d. 20 sampai dengan 100 dB
   e. 50 sampai dengan 90 dB

5. Seutas dawai bila diberi tegangan 100 N dan digetarkan maka frekuensi yang timbul adalah f_0. Besar tegangan yang dibutuhkan agar dawai tersebut bergetar dengan frekuensi 2 f_0 adalah . . . .
   a. 25 N
   b. 50 N
   c. 100 N
   d. 200 N
   e. 400 N

6. Dawai yang direntangkan pada sonometer memperdengarkan nada dasar 512 Hz. Jika dawai dirangkap empat kemudian dipilin dan tegangan dibuat 16 kali semula, maka nada atas pertama dawai ini menjadi . . . Hz.
   a. 2048
   b. 1024
   c. 512
   d. 256
   e. 128

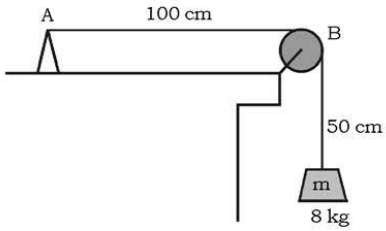
7. Pipa organa terbuka yang memperdengarkan nada dasar akan terbentuk . . . gelombang.
   a. dua perut, dua simpul
   b. satu perut, satu simpul
   c. dua perut, satu simpul
   d. tiga perut, dua simpul
   e. dua perut, tiga simpul

8. Intensitas bunyi pada jarak 5 m dari sumber adalah 10^{-4} watt m^{-2}. Intensitas bunyi pada jarak 10 meter adalah . . . watt m^{-2}.
   a. $0{,}25 \times 10^{-4}$
   b. $0{,}50 \times 10^{-4}$
   c. $1{,}00 \times 10^{-4}$
   d. 2×10^{-4}
   e. 4×10^{-4}

9. Jika sumber bunyi bergerak dengan kecepatan v mendekati pendengar diam, dibandingkan dengan sumber bunyi diam dan pendengar mendekati sumber bunyi dengan kecepatan yang sama maka terdengar bunyi . . . .
   a. yang sama tingginya
   b. yang pertama lebih tinggi daripada yang kedua
   c. yang pertama lebih rendah daripada yang kedua
   d. yang pertama makin keras, yang kedua makin lemah
   e. yang pertama makin lemah, yang kedua makin keras

10. Seutas dawai bergetar, memperdengarkan nada atas pertama. Jika panjang dawai sama dengan 0,5 m maka panjang gelombangnya adalah . . . .
   a. 2,0 m
   b. 1,5 m
   c. 1,0 m
   d. 0,5 m
   e. 0,4 m

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Jika intensitas bunyi pada suatu tempat yang berjarak 10 m dari sumber bunyi adalah 10^{-10} watt m^{-2}. Hitung taraf intensitas bunyi pada jarak 100 m dari sumber bunyi!
2. Dawai sebuah sonometer menghasilkan nada dengan frekuensi 512 Hz. Kemudian panjang dawai dijadikan 2 kali semula dan tegangan dijadikan 4 kali semula. Hitung frekuensi yang ditimbulkan sekarang!
3. 

Pada percobaan seperti pada gambar di samping, massa tali 0,3 kg.
   a. Hitung cepat rambat pada dawai!
   b. Hitung frekuensi nada dasar pada dawai!
4. Sebuah tali yang panjangnya 2,5 m direntangkan. Salah satu ujung dihubungkan dengan vibrator yang frekuensinya 50 Hz. Ujung yang lain melalui katrol dihubungkan dengan beban 16 N. Jika massa tali tiap meter adalah 0,004 kg m^{-1} dan panjang tali dari katrol sampai beban 0,5 m, tentukan jumlah perut pada tali!
5. Taraf intensitas bunyi pada jarak 100 m adalah 30 dB. Hitung intensitas bunyi pada jarak ini dari sumber bunyi!

Aplikasi:

"Mari kembangkan pengetahuan kalian dengan mencari informasi lebih jauh".

Carilah informasi melalui majalah atau buku di perpustakaan atau lewat internet cara kerja sonar dan USG, kemudian buatlah paper dan dikumpulkan untuk dipresentasikan di depan kelas!

Bab IV

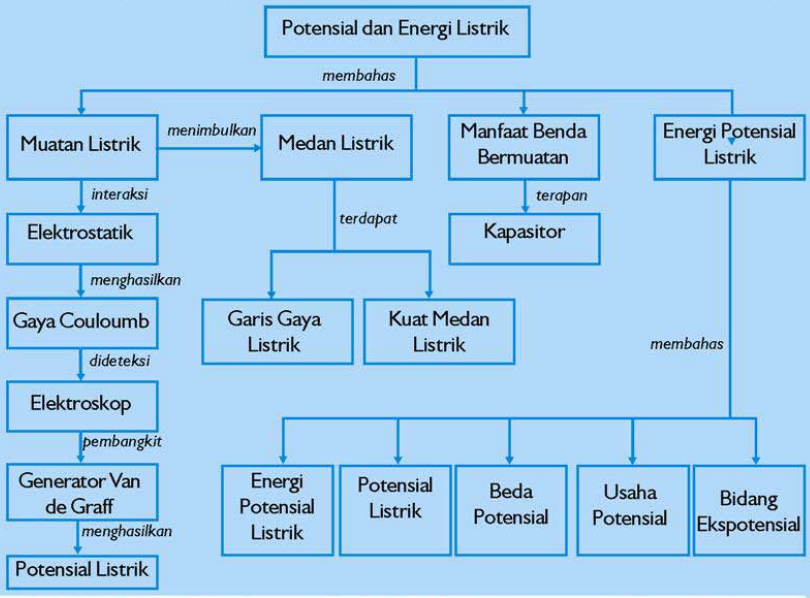
Potensial Listrik dan Energi Listrik

Sumber gambar: *Indonesia Heritage*

Tujuan Pembelajaran

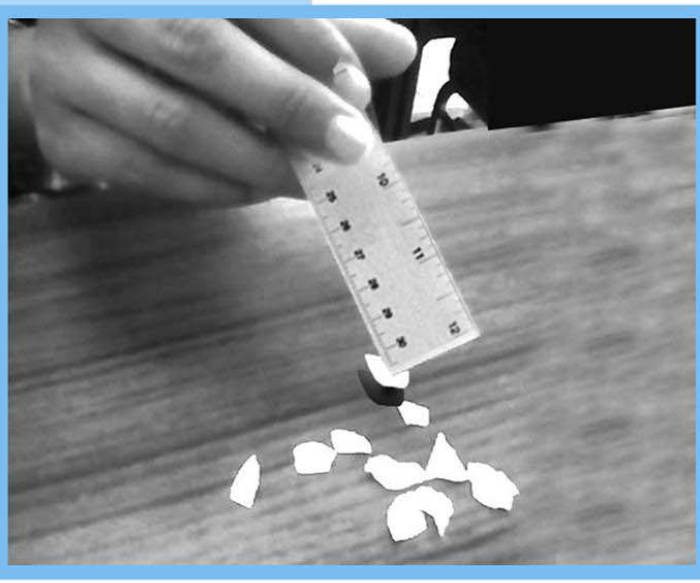
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan konsep gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik, serta penerapannya pada keping sejajar.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Gaya
2. Listrik
3. Medan
4. Fluks
5. Potensial listrik
6. Energi potensial listrik
7. Kapasitor



Sumber: *Indonesian Heritage*

Gambar. *Muatan listrik statis pada penggaris*

Apabila sebuah penggaris dari plastik digosokkan pada rambut yang kering, penggaris tersebut mampu menarik potongan kertas berukuran kecil. Ilmuwan menjelaskan kejadian itu dengan menggunakan konsep muatan listrik.

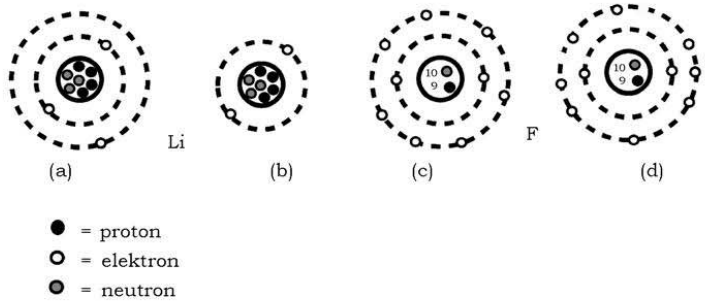
Arus listrik ditimbulkan oleh aliran muatan listrik. Arah arus listrik berasal dari muatan yang lebih positif. Dari sedikit ungkapan itu, dengan bernalar jawablah pertanyaan berikut! Apa yang dimaksud benda bermuatan listrik? Sebutkan jenis-jenis muatan listrik! Apa kiranya yang terjadi apabila dua benda yang bermuatan listrik saling berdekatan?

A. Interaksi Elektrostatik

Dalam suatu percobaan, *politin* bermuatan listrik tarik-menarik dengan *selulos asetat* bermuatan listrik. *Politin* bermuatan listrik tolak-menolak dengan *politin* bermuatan listrik dan *selulos asetat* bermuatan listrik tolak-menolak dengan *selulos asetat* bermuatan listrik. Dari percobaan itu dapat disimpulkan bahwa dua benda yang bermuatan listrik sejenis apabila didekatkan akan tolak-menolak apabila didekatkan dan berlainan jenis akan tarik menarik.

1. Jenis Muatan Listrik

Zat terdiri atas atom-atom. Setiap atom terdiri dari inti yang dikelilingi satu elektron atau lebih yang bermuatan negatif. Inti terdiri dari neutron yang tidak bermuatan (netral) dan proton yang bermuatan positif. Jika pada sebuah atom jumlah elektron sama dengan jumlah protonnya dikatakan atom itu netral. Di dalam suatu penghantar, elektron-elektron sangat mudah berpindah tempat. Karena suatu hal elektron dapat meninggalkan atom, sehingga atom tersebut kekurangan elektron maka dikatakan atom itu bermuatan positif. Jika karena suatu hal atom mendapat tambahan elektron sehingga atom tersebut kelebihan elektron dikatakan atom itu bermuatan negatif. Jadi, ditinjau dari kelistrikan ada 3 jenis benda yaitu benda netral, benda bermuatan positif, dan benda bermuatan negatif.



Gambar 4.1 *Muatan listrik pada atom*

Hal tersebut dapat digambarkan dengan contoh sebagai berikut.

Gambar 4.1a: Atom Li netral, jumlah proton (=3) sama dengan jumlah elektron (=3).

Gambar 4.1b: Atom Li bermuatan positif, sering disebut ion Li^+, jumlah proton (=3) lebih banyak dari elektron (=2). Atau dikatakan atom Li kekurangan elektron.

Gambar 4.1c: Atom F netral, jumlah proton (=9) sama dengan jumlah elektron (=9).

Gambar 4.1d: Atom F bermuatan negatif, atau disebut ion F^-, jumlah elektron (=10), lebih banyak dari jumlah proton (=9) atau dikatakan atom F kelebihan elektron.

"Ayo kembangkan wawasan lingkungan global/ semesta kalian!"

Dimensi Fisika

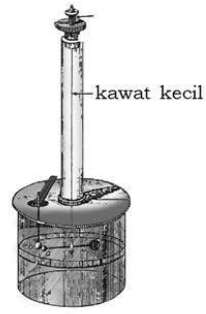
Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

Gambar di samping merupakan salah satu contoh listrik statis yang dihasilkan secara alami oleh alam semesta ini. Apa yang dapat kalian ceritakan dari gambar di samping berdasarkan konsep fisika tentang listrik statis?

2. Gaya Coulomb antara Dua Muatan

Telah disinggung di atas bahwa dua buah muatan yang didekatkan akan terjadi interaksi elektrostatis. Besarnya gaya tolak atau gaya tarik antara dua muatan listrik disebut gaya elektrostatis (gaya coulomb).

Dengan alat yang disebut neraca puntir, Coulomb mengadakan suatu percobaan. Dari percobaan dapat disimpulkan bahwa dua muatan yang sejenis tolak-menolak, sedangkan yang berlainan jenis

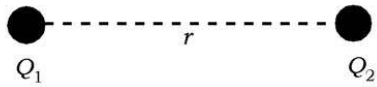


Sumber: *Gelombang dan Medan 2*

Gambar 4.2 *Neraca puntir Coulomb*

tarik-menarik. Besarnya gaya tolak-menolak atau tarik-menarik berbanding lurus dengan besarnya masing-masing muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak kedua muatan.

Dua buah benda bermuatan Q_1 dan Q_2, berjarak r satu terhadap yang lain. Menurut Coulomb besar gaya tolak-menolak atau tarik-menarik ditulis dengan persamaan sebagai berikut.



Gambar 4.3 *2 muatan Q_1 dan Q_2 dengan jarak r*

$$F_c = k\frac{Q_1Q_2}{r^2} \qquad \text{atau} \qquad F_c = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q_1Q_2}{r^2}$$

dengan

F_c = gaya coulomb/gaya tolak-menolak atau gaya tarik-menarik antara 2 benda (N)

Q_1 dan Q_2 = besar muatan masing-masing benda (Coulomb = C)

r = jarak antara kedua muatan (m)

k = $\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9 \times 10^9\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$

ε_o = permitivitas ruang hampa = $8{,}85\times10^{-12}\ \text{C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$

Untuk medium yang lain harga permitivitasnya lebih besar dari ε_o dan ditulis ε saja.

Nilai $\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_o} = k$ disebut tetapan dielektrik medium.

3. Gaya Coulomb yang Dialami Sebuah Muatan, Akibat Pengaruh Muatan-muatan yang Lain

Untuk menentukan arah dan besarnya gaya coulomb yang dialami oleh sebuah muatan akibat adanya dua muatan atau lebih dapat ditentukan dengan penjumlahan vektor-vektor gaya coulomb tersebut. Resultan gaya coulomb ditulis dengan persamaan:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \ldots$$

Sedangkan besarnya resultan antara dua gaya coulomb ditulis dengan persamaan.

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

Contoh Soal 4.1

1. Dua buah muatan listrik masing-masing 3×10^{-6} C dan 6×10^{-6} C berjarak 8 cm satu terhadap yang lain. Jika $k = 9\times10^{9}$ Nm^2C^{-2}, berapakah besar gaya tolak-menolak kedua muatan?

Penyelesaian:

Diketahui: $Q_1 = 3\times10^{-6}$C
$Q_2 = 6\times10^{-6}$C
$r = 18$ cm $= 0{,}18$ m
$k = 9\times10^{9}$ Nm^2C^{-2}

Ditanya: F_c ...?

Jawab:

$$F_c = k\frac{Q_1Q_2}{r^2} = 9\times10^{9}\,\frac{3\times10^{-6}\times6\times10^{-6}}{(0{,}18)^2} = 9\times10^{9}\,\frac{3\times10^{-6}\times6\times10^{-6}}{18^2\times10^{-4}}$$

$$= \frac{9\times18\times10^{-3}}{18\times18\times10^{-4}} = 5\text{ N}$$

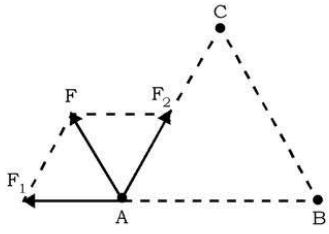
2. Segitiga ABC sama sisi dengan sisi 9 cm. Pada titik A dan B masing-masing terdapat muatan listrik 3 μC positif. Pada titik sudut C terdapat muatan 3 μC negatif. Berapakah resultan gaya yang bekerja pada muatan di titik A?

Penyelesaian:

Diketahui: $Q_A = +3\ \mu C = +\ 3\times10^{-6}$ C
$Q_B = +3\ \mu C = +\ 3\times10^{-6}$ C
$Q_C = -3\ \mu C = -3\times10^{-6}$ C
$r = 9$ cm $= 9\times\ 10^{-2}$ m

Ditanya: $\overrightarrow{F_A}$ = ...?

Jawab:



Gaya pada muatan A oleh muatan B adalah gaya tolak, maka arahnya adalah F_1, dan besarnya gaya F_1 adalah:

$$F_1 = k\frac{Q_AQ_B}{r^2}$$

$$= 9\times10^{9}\times\frac{3\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{(9\times10^{-2})^2}$$

$$= 10\text{ N}$$

Gaya pada muatan A oleh muatan C adalah gaya tarik, maka arahnya adalah F_2, dan besarnya F_2 adalah:

$$F_2 = k\frac{Q_A Q_C}{r^2}$$
$$= 9\times10^9 \times \frac{3\times10^{-6}\times3\times10^{-6}}{(9\times10^{-2})^2} = 10 \text{ N}$$

Resultan gaya pada titik A adalah:

$\vec{F}_A = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

Besar $F_A = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$

$$= \sqrt{10^2 + 10^2 + 2\times10\times10\left(-\frac{1}{2}\right)}$$
$$= \sqrt{10^2 + 10^2 + 2\times10^2\left(-\frac{1}{2}\right)}$$
$$= 10\sqrt{3} \text{ N}$$

, dengan α merupakan sudut ..... F_1 dan F_2. Besar α adalah 120° (segitiga ABC sama sisi)

Latihan 4.1

1. Dua benda bermuatan 27×10^{-5} C dan -3×10^{-5} C, berjarak 9 cm satu terhadap yang lain. Saling tolak atau saling tarikkah kedua benda? Hitung gaya interaksi tersebut!
2. Segitiga sama sisi dengan sisi masing-masing 9 cm. Di masing-masing titik sudutnya dan pada titik beratnya terdapat muatan 1 C. Hitung besar gaya elektrostatis yang bekerja pada titik berat!

B. Elektroskop

Elektroskop adalah alat untuk menunjukkan adanya muatan listrik dan jenis muatan listrik. Untuk memahami cara kerja elektroskop, marilah kita lakukan percobaan sebagai berikut.

Percobaan 4.1

Tujuan pembelajaran:

Peserta didik mampu memahami dan bernalar untuk menunjukkan benda bermuatan dan jenis muatan listriknya.

Konsep:

Kaca yang digosok dengan kain sutra menjadi bermuatan positif, ebonit digosok dengan wol menjadi bermuatan negatif.

Saran penyajian:

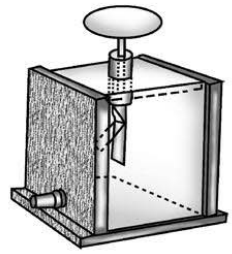
Dengan menempelkan benda bermuatan pada kepala elektroskop maka elektroskop menjadi bermuatan. Seperti muatan benda tersebut. Hal ini ditunjukkan dengan daun emas elektroskop yang menyimpang dari posisi semula.

Alat dan bahan:

Elektroskop emas, lengkap dengan peralatannya, bilah kaca, bilah ebonit, bilah politin, bilah selulos asetat, kain sutera, kain wol.

Persiapan percobaan:

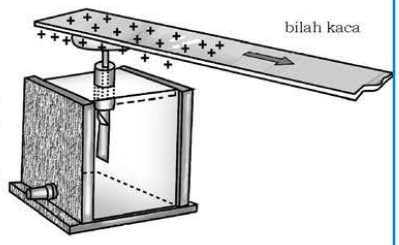
1. Persiapkan alat-alat yang telah disebutkan di atas.
2. Apabila daun emas belum menempel pada ujungnya maka tempelkan salah satu ujungnya dan biarkan ujung yang lain dalam keadaan menyimpang atau megar.



Sumber: *E. Budikase Fisika 2*

Langkah percobaan:

1. Gosok bilah kaca dengan kain sutera!
2. Tempelkan bilah kaca pada kepala elektroskop! (lihat gambar di bawah ini!)
3. Amatilah daun emas yang berada di dalam elektroskop!



Informasi:

Dalam hal ini elektroskop sudah bermuatan. Jenis muatannya adalah positif, sama dengan jenis muatan kaca yang digosok dengan kain sutera.

4. Gosoklah bilah ebonit dengan wol! Dekatkan bilah ebonit pada kepala elektroskop, usahakan bilah ebonit tidak menyentuh kepala elektroskop!
5. Amatilah daun elektroskop!
   Informasi:
   Jika daun elektroskop menyimpang lebih besar maka muatan benda yang akan ditentukan sama dengan muatan elektroskop. Jika menyimpangnya lebih kecil, maka muatan benda berlawanan dengan muatan elektroskop.
6. Ulangi kegiatan dengan bilah politin dan bilah selulos asetat!
7. Bagaimana muatan ebonit, politin, dan selulos asetat?

Hasil pengamatan:

Tuliskan hasil pengamatan kalian pada tabel di bawah ini!

Tabel Pengamatan Posisi Daun Elektroskop

No.	Kegiatan	Hasil pengamatan posisi daun elektroskop	Jenis muatan
1.	Elektroskop belum diberi muatan	menutup	netral
2.	Setelah diberi muatan dengan kaca yang digosok dengan kain sutera	.....	positif
3.	Setelah didekatkan ebonit yang digosok kain wol	.....	.....
4.	Setelah didekatkan bilah politin	.....	.....
5.	Setelah didekatkan bilah selulos asetat	.....	.....

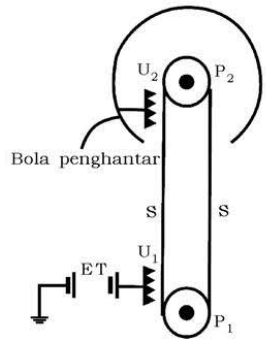
Kesimpulan:

Tuliskan hasil pengamatan kalian pada tabel di bawah ini!
Diskusikan dengan teman kalian, pertanyaan berikut ini!

1. Kaca yang digosok dengan kain sutera bermuatan positif, sedang ebonit yang digosok dengan kain wol bermuatan negatif!
2. Simpangan daun elektroskop lebih besar, jika didekatkan benda bermuatan sejenis dan simpangan daun elektroskop lebih kecil, jika didekatkan benda bermuatan tidak sejenis.

C. Generator Van de Graaf

Secara sederhana muatan listrik dapat ditimbulkan dengan menggosok benda tersebut. Suatu mesin untuk membangkitkan muatan listrik dengan kapasitas yang sangat besar dibuat oleh **Van de Graaf** pada tahun 1931. Di dalam laboratorium fisika, alat seperti ini digunakan untuk menimbulkan tegangan listrik (potensial listrik) yang besarnya jutaan volt untuk memberi kecepatan yang besar terhadap partikel-partikel bermuatan. Generator Van de Graaf yang terdapat di laboratorium sekolah adalah generator berukuran kecil yang mampu menghasilkan tegangan beberapa puluh ribu volt. Penggunaan utamanya adalah untuk mendapatkan muatan listrik yang besar.



Gambar 4.4 *Asas pokok generator Van de Graaf*

Bentuk dasar generator seperti pada gambar 4.4. Sabuk S tak berujung terbuat dari bahan isolator bergerak melalui dua katrol P_1 dan P_2. Di bagian bawah terdapat sebuah ujung runcing U_1 yang diberi "tegangan" positif atau negatif dari suatu sumber tegangan ET. Karena runcing, ujung ini melepaskan muatan yang dibawanya ke sabuk. Selanjutnya sebuah ujung runcing lain U_2 "memungut" muatan-muatan pada sabuk dan diteruskan ke bola penghantar di bagian atas generator. Penghantar mempunyai sifat menempatkan muatan-muatan yang ada padanya di permukaan penghantar. Muatan-muatan makin lama makin besar terkumpul pada bola sehingga bola memperoleh potensial yang tinggi.

Pada penelitian inti atom digunakan generator elektrostatis (generator Van de Graaf) untuk memberi kecepatan tinggi pada partikel bermuatan.

D. Medan Listrik

Apabila suatu muatan q diletakkan dalam suatu ruas maka apabila ada muatan lain yang didekatkan padanya akan mengalami gaya coulomb. Gaya ini bergantung kepada jarak keduanya. Titik-titik yang berada di sekitar muatan ini disebut medan listrik. Kita tidak dapat mengukur medan listrik secara langsung, seperti kita tidak dapat mengukur medan gravitasi. Kita dapat mengetahui

kuat medan di titik ruang sekitar muatan apabila kita mengetahui gaya yang dirasakan oleh satu satuan muatan yang diletakkan di tempat itu. Oleh karena itu kita dapat mendefinisikan medan listrik, E sebagai gaya listrik F setiap satuan muatan yang dirasakan oleh muatan uji positif q_o yang ditempatkan pada titik itu.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

Medan listrik ini disebabkan oleh muatan listrik lain yang terdistribusi disekitar muatan uji.

Percobaan 4.2

Tujuan pembelajaran:

Peserta didik mampu dan bernalar untuk memahami adanya medan listrik di sekitar benda bermuatan listrik.

Konsep:

Kuat medan listrik merupakan besaran vektor, nilainya sebanding dengan rapat garis gaya. Arah garis gaya merupakan arah kuat medan.

Saran penyajian:

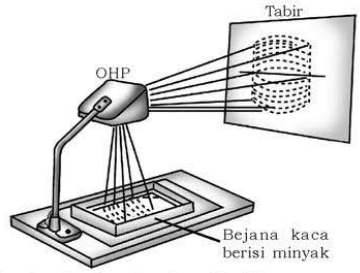
Melakukan percobaan dan bernalar untuk mengetahui garis gaya listrik.

Alat dan bahan:

1. Kotak kaca, 1 buah
2. Pipet elektrode, 2 buah
3. Kaca, 1 keping
4. Sumber tegangan searah, 1 perangkat
5. Berbagai bentuk elektrode logam, untuk medan homogen, medan dari muatan titik dan medan dari muatan berbentuk lingkaran, 1 set.
6. Proyektor lintas kepala (*overhead proyektor* = OHP), 1 perangkat
7. Kabel, secukupnya,
8. Minyak kastor atau minyak goreng
9. Biji rumput kering/serbuk, secukupnya

Persiapan percobaan:

Susunlah kotak kaca dan elektrode di atas keping kaca dan alat-alat lainnya seperti pada gambar.



Sumber: *Panduan Percobaan Depdiknas*

Langkah-langkah percobaan:

1. Tuangkan minyak kastor/minyak goreng sehingga elektrode tercelup sedikit! Taburkan biji rumput/serbuk pada permukaannya!
2. Hubungkan elektrode dengan kutub-kutub sumber tegangan!
3. Apabila sudah terbentuk pola biji-biji rumput kering/ serbuk, proyeksikan ke layar!
4. Bila hasil proyeksi kurang jelas, kurangi tebal lapisan minyak!
5. Gantilah elektrode dengan elektrode yang berbentuk bola kecil!

Hasil percobaan:

Tulis dan gambarlah hasil percobaan yang kalian lakukan!

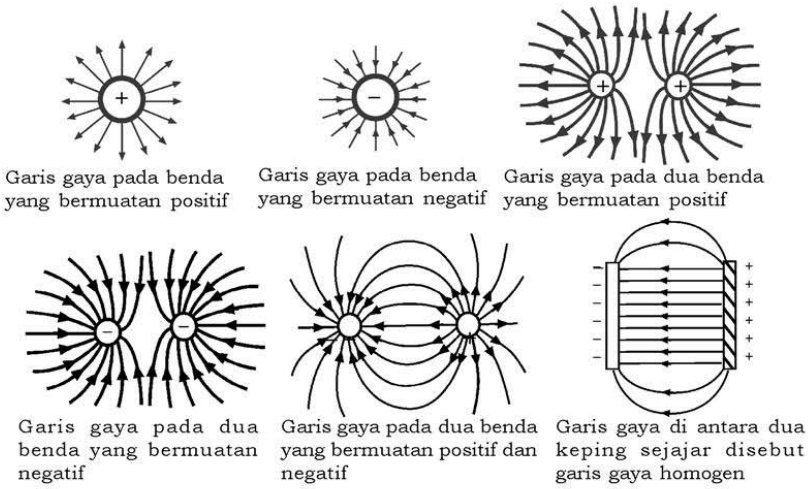
Kesimpulan:

Apa kesimpulan yang dapat diambil dari percobaan di atas?

1. Garis Gaya Listrik

Dengan mengamati dan bernalar, dari percobaan di atas dapat digambarkan beberapa bentuk garis gaya sebagai berikut.

Jika kita perhatikan garis gaya-garis gaya pada gambar di bawah, jelaslah bahwa garis gaya selalu berasal dari muatan positif dan berakhir pada muatan negatif dan tidak akan saling berpotongan.



Gambar 4.5 *Berbagai macam garis gaya magnet*

Jika kita perhatikan garis-garis gaya pada gambar di atas, jelaslah bahwa garis gaya selalu berasal dari muatan positif dan berakhir pada muatan negatif. Garis-garis gaya tidak akan saling berpotongan.

Tempat-tempat yang kuat medannya besar, garis gayanya digambarkan lebih rapat, sedangkan tempat-tempat yang kuat medannya kecil, garis gayanya digambarkan jarang. Dengan kata lain kuat medan listrik sebanding dengan rapat garis gaya. Padahal jumlah garis gaya yang menembus suatu permukaan sama dengan jumlah muatan yang dilingkupi oleh permukaan itu sendiri. Persamaan yang memenuhi tetapi perlu memasukkan konstanta kesebandingan $\frac{1}{\varepsilon_0}$ dengan demikian

$$E = \frac{1}{\varepsilon_o}\frac{\Delta N}{\Delta A} = \frac{1}{\varepsilon_o}\frac{\Delta Q}{\Delta A}$$

dengan

E = kuat medan (NC^{-1})

ε_o = permitivitas ruang hampa ($8{,}85 \times 10^{-12}\ C^2N^{-1}m^{-2}$)

$\frac{\Delta N}{\Delta A}$ = rapat garis gaya = fluks (cm^{-2})

$\frac{\Delta Q}{\Delta A}$ = rapat muatan (cm^{-2})

2. Kuat Medan Listrik

Sudah kita pahami bahwa di sekitar benda bermuatan listrik ada medan listrik. Maka pada setiap titik di dalam medan listrik selalu terdapat kuat medan listrik. Kuat medan listrik dinyatakan dengan gaya coulomb per satuan muatan positif pada muatan uji. Jadi, dapat dibuat persamaan menjadi

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

arah medan listrik sama dengan gaya pada:
dengan

$\vec{E}$ = kuat medan listrik (NC^{-1})

$\vec{F_c}$ = gaya coulomb (N)

q = muatan penguji bermuatan positif (C)

Kuat medan listrik untuk sebuah titik yang berjarak r pada muatan uji q dapat dirumuskan:

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

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Qq}{r^2}\frac{1}{q}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Q}{r^2}$$

atau

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

Dapat pula dicari dari persamaan Gauss,

$$E = \frac{1}{\varepsilon_o}\frac{\Delta Q}{\Delta A}$$

Untuk suatu titik yang berjarak r dari muatan Q, ΔA merupakan luas bola dengan jari-jari r, jadi $\Delta A = 4\pi r^2$, diperoleh:

$$E = \frac{1}{\varepsilon_o}\frac{Q}{4\pi r^2}$$

atau

$$E = k\frac{Q}{r^2}$$

dengan
E = kuat medan (NC^{-1})
r = jarak titik yang dimaksud sampai muatan (m)
Q = besar muatan listrik (C)

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} = 9\times10^9 \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$$

Gambar 4.6 *Kuat medan listrik*

Sesuai dengan arah garis gaya (garis medan), arah kuat medan juga dari muatan positif menuju ke muatan negatif.

3. Kuat Medan Listrik pada Suatu Titik oleh Beberapa Muatan

Untuk menentukan arah dan besarnya kuat medan listrik di suatu titik akibat beberapa muatan dapat ditentukan dengan penjumlahan vektor kuat medan. Resultan kuat medan listrik ditulis dengan rumus penjumlahan vektor:

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2} + \ldots$$

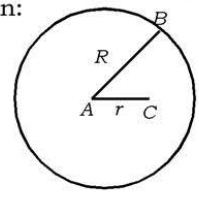
Sedangkan besarnya resultan kuat medan listrik oleh dua muatan:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos\alpha}$$

4. Kuat Medan Listrik pada Penghantar Bola

Sebuah penghantar berbentuk bola, jika dimuati listrik, maka muatan itu terletak pada permukaan bola. Sehingga kuat medan di dalam bola (E_A) sama dengan nol. Garis gaya bola bermuatan negatif berakhir hanya sampai pada permukaan (E_D), sedangkan garis gaya bola bermuatan positif mulai dari permukaan (E_C). Maka besarnya kuat medan di titik dirumuskan:

$$E_A = 0 \;\; ; E_B = \frac{kQ}{R^2} \; ; \; E_C = \frac{kQ}{r_c^2}$$



Gambar 4.7 *Kuat medan listrik pada penghantar bola*

Contoh Soal 4.2

1. Berapa kuat medan pada suatu titik yang berjarak 3 cm dari sebuah muatan titik 8 mikrocoulomb?

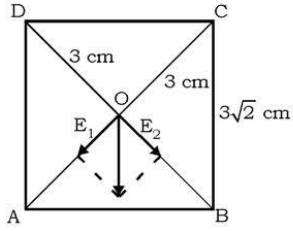
Penyelesaian:

Diketahui: $Q = 8\ \mu C = 8\times10^{-6}$ C
$r = 3$ cm $= 3\times10^{-2}$ m
Ditanya: E = ...?
Jawab:

$$E = \frac{kQ}{r_c^2}$$

$$E = \frac{9\times10^{9}\times8\times10^{-6}}{(3\times10^{-2})^2} = 8\times10^{7}\ \text{NC}^{-1}$$

2. Hitung kuat medan di pusat bujur sangkar (O) yang panjang rusuknya $3\sqrt{2}$ cm, jika pada titik sudut A, B, C, D terdapat muatan listrik masing-masing –2C, –2C, +2C, dan +2C!



Penyelesaian:

Diketahui: $k = 9\times10^{9}\ \text{Nm}^2\text{C}^{-2}$
$Q_A = -2$ C
$Q_B = -2$ C
$Q_C = +2$ C
$Q_D = +2$ C
$OA = OB = OC = OD = 3\ \text{cm} = 3.10^{-2}$ m
Ditanya: E_o = ...?
Jawab:
Besar kuat medan di O dipengaruhi oleh muatan A, B, C, dan D
Besar kuat medan di O oleh muatan di A:

$$E_A = \frac{kQ_A}{r^2} = \frac{9\times10^{9}\times2}{(3\times10^{-2})^2} = 2\times10^{13}\text{NC}^{-1}\ \text{arah}\ OA$$

Dengan cara yang sama,
Besar kuat medan di O oleh muatan di B : $E_B = 2\times10^{13}$ NC^{-1} arah OB.

Besar kuat medan di O oleh muatan di C : $E_C = 2\times10^{13}$ NC^{-1} arah OA.
Besar kuat medan di O oleh muatan di D : $E_D = 2\times10^{13}$ NC^{-1} arah OB.

Resultan kuat medan yang berarah OA:

$$\begin{aligned} E_1 &= E_A + E_C \\ &= 2\times10^{13} + 2\times10^{13} \\ &= 4\times10^{13}\ \text{NC}^{-1} \end{aligned}$$

Resultan kuat medan yang berarah OB:

$$\begin{aligned} E_2 &= E_B + E_D \\ &= 2\times10^{13} + 2\times10^{13} \\ &= 4\times10^{13}\ \text{NC}^{-1} \end{aligned}$$

Jadi, besar kuat medan di titik O adalah:

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha} \\ &= \sqrt{(4\times10^{13})^2 + (4\times10^{13})^2 + 2\times4\times10^{13}\times4\times10^{13}\cos 90^o} \\ &= \sqrt{16\times10^{26} + 16\times10^{26} + 0} \\ &= \sqrt{32\times10^{26}} \\ &= 4\sqrt{2}\times10^{13}\ \text{NC}^{-1} \end{aligned}$$

α adalah sudut antara E_1 dan F_2, $\alpha = 90°$

Latihan 4.2

1. Titik A, B, dan C terletak pada satu garis lurus. Pada titik A terdapat muatan 3 mikrocoulomb, pada B terdapat muatan 9 mikrocoulomb. Jika jarak AB = BC = 18 cm, hitung besar kuat medan di C dan tentukan pula arahnya!
2. Tentukan kuat medan yang diperlukan untuk menahan 1 mg benda yang bermuatan 2 C! (Jika $g = 10$ ms^{-2}, maka pengaruh udara diabaikan)
   Petunjuk:
   Gunakan $E = \frac{F}{Q}$, sedang F = gaya berat ($F = mg$)

E. Manfaat Benda Bermuatan

Pengetahuan manusia tentang listrik statis (listrik tak mengalir) merupakan dasar listrik mengalir yang sangat penting sekarang ini. Meskipun demikian pengetahuan tentang listrik statis, pernah lama menjadi pengetahuan yang dianggap tidak memiliki penerapan yang berarti dalam praktik. Keadaan ini sudah berubah akhir-akhir ini.

Manusia makin sadar akan parahnya pengotoran (polusi) lingkungan yang ditimbulkan oleh debu (abu) yang dihasilkan bahan-bahan bakar seperti batu bara. Sebagai contoh, sebuah pembangkit listrik berukuran sedang, yang menggunakan batu bara dapat menghasilkan sekitar 30 ton abu setiap jam. Untuk mengurangi pengotoran udara oleh abu pembakaran batu bara itu digunakan "pengendap elektrostatis" yang mampu mengendapkan sekitar 99% abu yang dihasilkan sehingga sangat mengurangi pengotoran udara oleh pembakaran seperti itu. Untuk itu digunakan saringan kawat yang dimuati negatif dan lempeng-lempeng logam yang dimuati positif. Hasil pembakaran mula-mula melewati saringan kawat itu, sehingga sebagian besar partikel-partikel hasil pembakaran itu bermuatan negatif, kemudian dilewatkan pada lempeng-lempeng bermuatan positif, akibatnya abu tersebut ditarik dan dinetralkan oleh lempeng itu. Butir-butir abu yang menempel pada lempeng dilepaskan dengan jalan menggetarkan lempeng-lempeng itu, sehingga abu jatuh ke tempat pengumpul.

Teknik pengecatan juga ada yang menggunakan muatan listrik statis. Cat yang disemprotkan diberi muatan yang berlawanan dengan benda yang dicat, sehingga butir-butir cat yang disemprotkan tertarik ke benda yang akan dicat. Dengan cara ini tidak banyak cat yang terbuang.

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan kecakapan sosial dan etos kerja kalian!"

Pengetahuan tentang elektrostatika juga penting dalam membuat tabung-tabung elektronik yang disebut tabung sinar katode yang digunakan sebagai layar televisi dan alat yang disebut osiloskop. Mesin fotokopi dan pencetak laser untuk komputer juga menggunakan muatan elektrostatis, demikian pula halnya dengan pengeras suara dan mikrofon elektrostatis. Carilah informasi bagaimana alat-alat tersebut bekerja menggunakan muatan elektrostatis. Kerjakan dengan kelompok belajar kalian kemudian diskusikan di depan kelas dengan panduan guru!

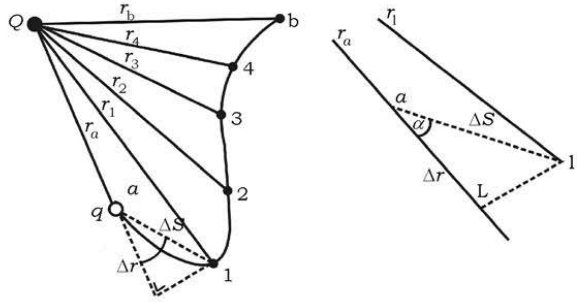
F. Energi Potensial Listrik

Sama halnya dengan massa, di dalam medan gravitasi juga memiliki energi potensial gravitasi. Setiap muatan listrik yang berada dalam medan listrik juga memiliki energi potensial listrik.

1. Energi Potensial Listrik Benda Bermuatan *q* yang Berada di Dalam Medan Listrik *Q*

Gambar 4.8 menunjukkan benda bermuatan q berada di dalam medan listrik Q. Mula-mula muatan q berada pada titik a yang berjarak r_a dari muatan Q kemudian dipindahkan ke titik b yang berjarak r_b dari Q.

Besarnya usaha untuk memindahkan muatan penguji q dari titik a ke b di dalam medan listrik sama dengan jumlah usaha dari a ke 1 ditambah usaha dari 1 ke 2, dari 2 ke 3, dari 3 ke 4, dan dari 4 ke b.



Gambar 4.8 *q dalam medan listrik Q*

Pada titik a terjadi gaya coulomb sebesar:

$$F_a = \frac{kQq}{r_a^2}$$

Pada titik 1 bekerja gaya coulomb sebesar:

$$F_1 = \frac{kQq}{r_1^2}$$

Untuk ΔS yang sangat kecil ($\Delta S \to 0$) dapat diambil harga rata-rata gaya coulomb sebesar:

$$F_C = \frac{kQq}{r_a r_1}$$

Untuk memindahkan muatan penguji q dari titik a ke 1 diperlukan gaya $-F_C$ untuk melawan gaya coulomb. Maka usaha yang dilakukan dari titik a ke 1 adalah:

$$\begin{aligned} W_{a-1} &= -F_C \Delta S \cos \alpha \\ &= \frac{kQq}{r_a r_1} \cdot \Delta r \\ &= -\frac{kQq}{r_a r_1}(r_1 - r_a) \\ &= -kQq\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_1}\right) \end{aligned}$$

Usaha yang dilakukan dari titik a ke 1, 1 ke 2, 2 ke 3, 3 ke 4, dan 4 ke b adalah:

$$W_{a-1} = -kQq\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_1}\right)$$

$$W_{1-2} = -kQq\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$$

$$W_{2-3} = -kQq\left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3}\right)$$

$$W_{3-4} = -kQq\left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)$$

$$W_{4-b} = -kQq\left(\frac{1}{r_4} - \frac{1}{r_b}\right)$$

Jika semua W dijumlah diperoleh:

$$W_{a-b} = -kQq\left(\frac{1}{r_a} - \frac{1}{r_b}\right)$$

$$W_{a-b} = kQq\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right)$$

Persamaan di atas menunjukkan bahwa usaha dari a ke b tidak tergantung pada bentuk lintasan a ke b, melainkan hanya ditentukan dari kedudukan awal dan akhirnya saja. Usaha dari a ke b (W_{a-b}) ini sama dengan tambahan energi potensial dari muatan q. Jadi, didapat persamaan:

$$W_{a-b} = kQq\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right) = (E_p)_b - (E_p)_a = \Delta E_p$$

Jika muatan penguji q mula-mula berada di jauh tak terhingga (∞) maka tak ada kesanggupan melakukan usaha. Pada keadaan ini E_p dipandang berharga 0. Oleh sebab itu energi potensial di titik a sama dengan nol $(E_P)_a = 0$, sehingga:

$$kQq\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right) = (E_p)_b - (E_p)_a$$

$$kQq\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{\infty}\right) = (E_p)_b - 0$$

$$(E_p)_b = kQq \cdot \frac{1}{r_b}$$

Karena r_b dapat berarti sembarang jarak maka besarnya energi potensial secara umum dirumuskan:

$$E_p = \frac{kQq}{r}$$

E_p merupakan energi potensial dari muatan q yang terletak sejauh r dari muatan Q dalam medan listrik. Dari penjabaran rumus di atas dapat disimpulkan bahwa beda energi potensial (ΔE_p) antara dua titik bermuatan dalam medan listrik homogen dapat dinyatakan dengan persamaan:

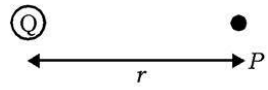
$$\Delta E_p = -F_c \, \Delta S \cos \alpha$$

2. Potensial Listrik

Pada setiap titik dalam medan listrik dapat ditentukan sebuah besaran skalar yang menyatakan potensial listrik titik tersebut. Potensial listrik, yang diberi lambang V adalah energi potensial listrik tiap satuan muatan positif. Nilai potensial listrik dapat dihitung sebagai berikut.

$$V = \frac{E_p}{q} = \frac{kQq}{qr}$$

$$V = \frac{kQ}{r}$$



Gambar 4.9 *Potensial listrik pada suatu titik yang berjarak r dari muatan Q*

dengan
V = potensial listrik (volt)
r = jarak (m)

Potensial listrik berhubungan dengan kuat medan listrik. Dari persamaan:

$$V = \frac{E_p}{q}$$
$$= \frac{kQq}{r}\frac{1}{q}$$
$$= \frac{kQ}{r}\frac{r}{r}$$
$$= \frac{kQ}{r^2}r$$

Diperoleh:

$$V = E\,r$$

dengan
E = kuat medan listrik (NC^{-1})

Potensial listrik pada suatu titik merupakan besaran skalar. Maka potensial listrik pada suatu titik yang ditimbulkan oleh beberapa muatan dirumuskan:

$$V = k\left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \frac{Q_3}{r_3} + \ldots\right)$$

atau

$$V = k\Sigma\frac{Q}{r}$$

3. Beda Potensial Penghantar Bola

Apabila kuat medan listrik di dalam bola sama dengan nol, bagaimana dengan beda potensialnya?

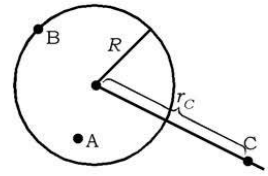
Sebuah bola yang berjari-jari R diberi muatan Q. Potensial di dalam bola sama dengan potensial di permukaan bola. Mengapa?

Potensial pada titik A dan B:

$$V_A = V_B = \frac{kQ}{R}$$

Potensial pada titik C:

$$V_C = \frac{kQ}{r_C}$$



Gambar 4.10 *Beda potensial penghantar bola*

4. Usaha untuk Membawa Muatan dari Suatu Titik ke Titik yang Lain

Dari rumus:

$$W_{a-b} = kQq\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right)$$

dapat ditulis:

$$W_{A-B} = kQq\left(\frac{1}{r_B} - \frac{1}{r_A}\right)$$
$$= q\left(\frac{kQ}{r_B} - \frac{kQ}{r_A}\right)$$

$$W_{A-B} = q(V_B - V_A) = q\,\Delta V$$

$W_{A\text{-}B}$ merupakan usaha untuk memindahkan muatan sebesar q coulomb dari titik A yang mempunyai potensial V_A ke titik B yang mempunyai potensial V_B. Pada umumnya muatan listrik berpindah dari titik yang potensialnya lebih tinggi ke suatu titik yang potensialnya rendah. Pada perpindahan ini terjadi pembebasan energi. Misalnya panas yang ditimbulkan saat terjadi petir.

5. Bidang Ekipotensial

Bidang ekipotensial adalah tempat kedudukan titik-titik yang mempunyai potensial sama. Ciri-ciri bidang potensial adalah sebagai berikut.

a. Untuk memindahkan muatan dalam satu bidang ekipotensial tidak membutuhkan energi.
b. Garis-garis gaya tegak lurus bidang ekipotensial.

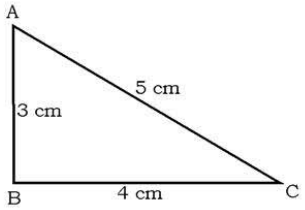
Contoh Soal 4.3

1. Segitiga ABC siku-siku di B, BA = 3 cm, BC = 4 cm pada titik B dan C diberi muatan 15 C positif dan 5 C negatif. Tentukan potensial di titik A!

Penyelesaian:

Diketahui: $Q_B = 15$ C
$r_{AB} = 3$ cm $= 3 \times 10^{-2}$ m
$Q_C = -5$ C
$r_{AC} = 5$ cm $= 5 \times 10^{-2}$ m
Ditanya: $V_A = ...?$
Jawab:
Potensial di titik A:

$$V_A = k\left(\frac{Q_B}{r_{AB}} - \frac{Q_C}{r_{AC}}\right)$$
$$= 9\times10^{9}\left(\frac{15}{3\times10^{-2}} + \frac{-5}{5\times10^{-2}}\right)$$
$$= 9\times10^{9}(5\times10^{2} - 10^{2})$$
$$= 3{,}6\times10^{12} \text{ volt}$$



2. Sinar X dihasilkan oleh elektron dari sebuah katoda yang menumbuk anoda di dalam tabung hampa dengan beda potensial yang sangat besar. Jika diketahui massa elektron 9×10^{-31} kg dan beda potensial antara katoda dan anoda 400 volt, hitunglah kecepatan elektron saat mengenai anoda!

Penyelesaian:

V_A = potensial anoda
V_K = potensial katoda
Hukum kekekalan energi mekanik berlaku juga pada elektron yang bergerak bahwa:
$(E_P + E_k)_{\text{di katoda}} = (E_P + E_k)_{\text{di anoda}}$

$$(Q\times V_K + \frac{1}{2}mv^2)_{\text{di katoda}} = (Q\times V_A + \frac{1}{2}mv^2)_{\text{di anoda}}$$

Saat lepas dari katoda, kecepatan awal elektron = 0, maka diperoleh:

$$(Q\times V_K + 0) = Q\times V_A + \frac{1}{2}mv^2$$
$$v^2 = \frac{2Q(V_K - V_A)}{m}$$
$$v = \sqrt{\frac{2Q}{m}\Delta V}$$

dengan

v = kecepatan elektron saat menumbuk anoda (ms^{-1})
Q = muatan elektron = $1{,}6\times10^{-19}$ C
m = massa elektron, pada soal ini dianggap 9×10^{-31} kg (tepatnya $9{,}1\times10^{-31}$ kg)
ΔV = beda potensial antara katoda dan anoda (volt)

Jadi, $v=\sqrt{\dfrac{2\times1{,}6\times10^{-19}\times400}{9{,}1\times10^{-31}}}=1{,}186\times10^{7}\ ms^{-1}$

Latihan 4.3

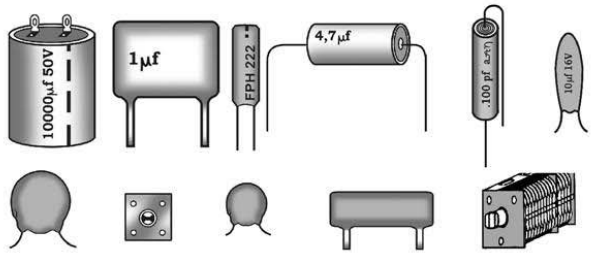
1. Hitung potensial sebuah titik yang berjarak 81 cm dari permukaan bola bermuatan 2C, berjari-jari 18 cm!
2. Hitung energi yang dihasilkan pada saat terjadi petir menyambar pohon dan melepaskan muatan 40 coulomb! Jika beda potensial antara bumi dan awan 100 volt.

G. Penerapan Medan Listrik, Potensial Listrik, dan Energi Potensial Listrik pada Kapasitor

Pada alat-alat listrik, misalnya: radio, televisi, komputer, rangkaian untuk menghidupkan mesin mobil dan rangkaian untuk memilih panjang gelombang radio, banyak digunakan suatu komponen listrik yang dinamakan kapasitor atau kondensator.

Sudahkah kalian mengenalnya? Pernahkah kalian merangkainya? Marilah kita bahas secara mendalam, tentang kapasitor tersebut.

1. Jenis-jenis Kapasitor



Gambar 4.11 *Macam-macam kapasitor*

Ada beberapa jenis kapasitor, yang semua jenis menggunakan prinsip sama yaitu dua penghantar berdekatan yang dipisahkan oleh sebuah isolator. Isolator pemisah ini dinamakan dielektrik. Kapasitor digunakan untuk menampung muatan. Kedua penghantar memiliki muatan yang sama tetapi berlawanan jenis.

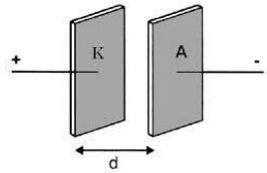
Berdasarkan bentuknya, kapasitor dibedakan menjadi kapasitor keping sejajar, kapasitor silindris, kapasitor bola sepusat, kapasitor variabel, dan lain-lainnya. Dari jenis isolatornya/dielektriknya, kapasitor dibedakan menjadi kapasitor kertas, kapasitor mika, kapasitor elektrolit (elco), dan lain-lain.

Selain itu, kapasitor juga digolongkan atas dua jenis, yaitu kapasitor terkutub atau kapasitor polar dan kapasitor tidak terkutub atau kapasitor non polar. Contoh kapasitor polar adalah kapasitor elektrolit. Dalam rangkaian listrik, cara pemasangan kapasitor ini tidak boleh terbalik, yaitu anoda harus dihubungkan pada potensial yang lebih tinggi, dan katoda dihubungkan pada potensial yang lebih rendah. Kapasitor non polar dapat dihubungkan sembarang. Bentuk sederhana dari kapasitor seperti pada gambar 4.12.

Info Sains

Kamera lampu kilat bekerja dengan menerapkan ledakan pendek dari tegangan tinggi ke gas dalam tabung kaca. Energi listrik yang dibutuhkan kecil, tetapi harus disuplai dengan cepat karena lampu kilat menyala dengan singkat. Baterai tidak dapat menyediakan tegangan tinggi, juga tidak dapat mengirim dengan cepat, maka sebagai gantinya digunakan kapasitor. Sirkuit elektronik menaikkan tegangan baterai dan mengisi kapasitor. Jika tombol ditekan, energi yang disimpan dilepaskan dalam seperseribu detik.

Sumber: *Jendela Iptek*



Sumber: *Fisika 2. Suwardo, dkk*

Gambar 4.12 *Kapasitor keping*

Kapasitor diberi simbol —||— yaitu dua garis sejajar berdekatan, sama panjang.

2. Kapasitas Kapasitor

Dari rumus potensial listrik $V = \frac{kQ}{r}$, untuk harga r tertentu nilai V sebanding dengan Q. Maka dapat ditulis dalam bentuk lain $V = \frac{1}{C} \times Q$. Pada persamaan itu C disebut kapasitas kapasitor atau

kapasitas kondensator. Sehingga dapat ditulis dengan persamaan:

$$C = \frac{Q}{V}$$

dengan

C = kapasitas kapasitor (coulomb/volt atau Farad (F))
Q = besar muatan (C)
V = beda potensial (V)

Jadi, kapasitas kapasitor adalah perbandingan antara muatan yang tersimpan dengan potensial yang diberikan.

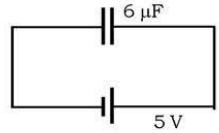
Contoh Soal 4.4

Sebuah kapasitor mempunyai kapasitas 6 μF, dihubungkan dengan sumber tegangan 5 volt seperti pada gambar di bawah ini. Berapakah muatan yang tersimpan di dalam kapasitor tersebut?

Penyelesaian:

Diketahui: $C = 6\ \mu F = 6.10^{-6}$ F
$V = 5$ V
Ditanya: Q = ...?
Jawab:

$Q = C\,V$
$= 6\times10^{-6} \times 5$
$= 3\times10^{-5}$ C



Latihan 4.4

Hitung kapasitas sebuah kapasitor (kondensator) jika dipasang pada tegangan 20 volt dan dapat menampung muatan 30 mikrocoulomb!

3. Kapasitas Kapasitor (Kondensator) Plat Sejajar

Dari suatu percobaan dan analisis secara matematika diperoleh kesimpulan bahwa kapasitas kapasitor sebanding dengan luas penampang kepingnya (A), berbanding terbalik dengan jarak antara kedua keping (d), dan tergantung bahan dielektriknya (ε). Maka besarnya kapasitas kapasitor (C) dapat ditulis dengan persamaan:

$$C = \frac{\varepsilon A}{d}$$

Bahan dielektrik merupakan isolator, misalnya karet, kaca, dan kertas. Jika bahan dielektrik diselipkan di antara dua keping kapasitor, maka kapasitas kapasitor itu akan naik. Hal ini sesuai dengan persamaan:

$$C = \frac{\varepsilon_o KA}{d}$$

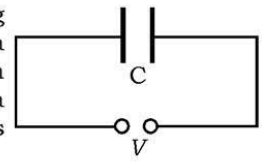
dengan

K = $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_o}$, tetapan dielektrik

ε_o = permitivitas ruang hampa ($8{,}85 \times 10^{-12}$ Fm^{-1})

Contoh Soal 4.5

Sebuah kapasitor (kondensator) keping sejajar dengan luas keping konduktornya masing-masing 20 mm^2, disisipi bahan dielektrik mika yang nilai permitivitasnya 7,0 serta tebal 1 mm. Hitung kapasitas kapasitor!



Penyelesaian:

Diketahui: $\varepsilon = 7{,}0$

$A = 20\ mm^2$

$d = 1\ mm$

Ditanya: C = ...?

Jawab:

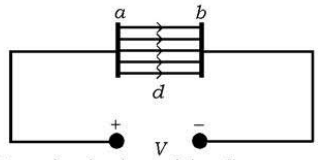
$$C = \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{7 \times 20 \times 10^{-6}}{10^{-3}}$$
$$= 14 \times 10^{-2} F$$

Latihan 4.5

1. Konstanta dielektrik udara 1,00054 dan mika 7,0. Mengapa kapasitor lebih baik diberi dielektrik mika?
2. Dielektrik air 78,5 dan mika 7,0. Hitung perbandingan kapasitas dua kapasitor yang mempunyai luas konduktor dan tebal isolator sama, yang satu diisi air dan yang lain mika!

4. Kuat Medan Listrik di antara Konduktor Kapasitor Keping Sejajar

Sudah kita pahami bahwa kuat medan di antara keping sejajar adalah satu arah (sejajar). Kuat medan seperti ini disebut kuat medan homogen.



Gambar 4.13 *Kapasitor keping sejajar dipasang pada tegangan V*

Besarnya kuat medan dapat kita cari dengan cara sebagai berikut. Sebuah kapasitor keping sejajar, jarak antara dua kepingnya adalah *d*. Dipasang pada tegangan *V*. Untuk memindahkan muatan *q* dari *a* ke *b* diperlukan gaya *F*, maka besarnya usaha yang diperlukan adalah:

$$\begin{aligned} W &= F\,d \\ q\,\Delta V &= q\,E\,d \\ q\,(V_a - V_b) &= q\;E\,d \end{aligned}$$

Jika beda potensial antara $a - b$ adalah V dapat ditulis dengan persamaan:

$$q\;V = q\;E\,d$$

$$E = \frac{V}{d}$$

dengan
E = kuat medan homogen antara dua keping (NC^{-1})
V = potensial/tegangan (V)
d = jarak antara dua keping (m)

Contoh Soal 4.6

Jarak antara dua keping kapasitor 0,3 cm. Dipasang pada tegangan 3 volt. Hitunglah kuat medan homogen di antara kedua kepingnya!

Penyelesaian:

Diketahui: $d = 0{,}3 \text{ cm} = 3\times10^{-3} \text{ m}$

$V = 3 \text{ V}$

Ditanya: $E = ...?$

Jawab:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{3}{3\times10^{-3}} = 10^{3}\text{NC}^{-1}$$

Latihan 4.6

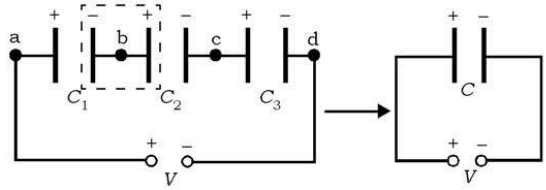
Sebuah kapasitor (kondensator) dengan kapasitas C, dimuati listrik sebesar Q. Jika tebal dielektriknya d, tulislah hubungan antara kuat medan (E) dengan Q, C, dan d!

5. Susunan Kapasitor

Pada rangkaian elektronik, banyak menggunakan transistor dari berbagai ukuran dan berbagai keperluan untuk rangkaian itu, sehingga perlu penggabungan beberapa kapasitor. Dengan mengingat tentang susunan hambatan, sebutkan 3 jenis cara menggabung kapasitor!

a. Susunan Seri Kapasitor

Untuk kapasitor-kapasitor yang disusun seri, besarnya muatan-muatan q pada masing-masing kapasitor sama besarnya dengan muatan gabungan.



Gambar 4.14 *Susunan seri kapasitor*

Muatan lokal di dalam kotak putus-putus pada gambar adalah nol. Sehingga untuk menentukan besar kapasitas kapasitor susunan seri seperti pada gambar dapat diturunkan sebagai berikut.

$$V_{a-b} = \frac{q}{C_1}$$

$$V_{b-c} = \frac{q}{C_2}$$

$$V_{c-d} = \frac{q}{C_3}$$

Maka potensial dari a ke d diperoleh:

$$V_{a-d} = V_{a-b} + V_{b-c} + V_{c-d}$$

$$= \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

Jika kapasitas gabungan susunan seri kapasitor C_s maka diperoleh:

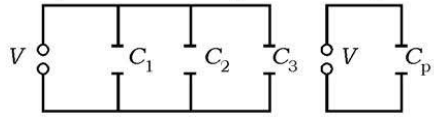
$$\frac{q}{C_s} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa kapasitor susunan seri (C_s) kapasitasnya lebih kecil daripada kapasitas masing-masing kapasitor (C_1, C_2, dan C_3).

b. *Susunan Paralel Kapasitor*

Jika beberapa kapasitor dihubungkan satu sama lain sedemikian rupa sehingga keping-keping yang bermuatan sama saling dihubungkan, maka susunan yang demikian disebut susunan paralel. Bagaimanakah hubungan antara tegangan masing-masing kapasitor dengan tegangan gabungan dalam susunan paralel? Untuk menjawab pertanyaan tersebut perhatikan gambar berikut.



Gambar 4.15 *Susunan paralel kapasitor*

Besarnya tegangan (beda potensial) masing-masing kapasitor pada rangkaian kapasitor yang disusun paralel sama dengan besarnya tegangan (beda potensial) gabungan atau tegangan sumber.

Oleh karena besarnya kapasitas kapasitor pengganti dari beberapa kapasitor yang dirangkai paralel dapat diturunkan berikut!

Besarnya muatan masing-masing kapasitor adalah:

$$Q_1 = C_1 V$$
$$Q_2 = C_2 V$$
$$Q_3 = C_3 V$$

Besarnya muatan total susunan paralel adalah:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$
$$= C_1 V + C_2 V + C_3 V$$

Jika kapasitas gabungan susunan kapasitor C_p maka diperoleh:

$$C_p V = C_1 V + C_2 V + C_3 V$$
$$C_p = C_1 + C_2 + C_3$$

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa kapasitor susun paralel (C_p) memiliki kapasitas lebih besar daripada kapasitas masing-masing kapasitor.

Contoh Soal 4.7

1. Dua buah kapasitor masing-masing dengan kapasitas 6 μF dan 3 μF disusun seri kemudian dihubungkan dengan sumber tegangan 1,5 V.
   a. Gambarkan susunan rangkaian!
   b. Berapakah kapasitas susunan seri tersebut?
   c. Berapakah muatan tiap-tiap kapasitor?
   d. Berapakah potensial masing-masing kapasitor?

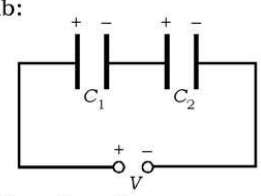
   Penyelesaian:

   Diketahui: $C_1 = 6\ \mu\text{F} = 6 \times 10^{-6}$ F
   $C_2 = 3\ \mu\text{F} = 3 \times 10^{-6}$ F
   $V = 1{,}5$ V

   Ditanya: a) Gambar rangkaian?
   b) C_s = ...?
   c) Q = ... ?
   d) V_1 dan V_2 = ... ?

Jawab:

a.



b. $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{6\times10^{-6}} + \frac{1}{3\times10^{-6}}$

$C_s = 2\times10^{6}\,\text{F}$

c. Muatan pada masing-masing kapasitor adalah sama, yaitu:

$Q = C\,V$

$= 2 \times 10^{-6} \times 1{,}5 = 3 \times 10^{-6}$ C

d. Potensial pada masing-masing kapasitor berbeda, yaitu:

$V_1 = \frac{Q}{C_1}$ $\qquad$ $V_2 = \frac{Q}{C_2}$

$= \frac{3\times10^{-6}}{6\times10^{-6}}$ $\qquad$ $= \frac{3\times10^{-6}}{3\times10^{-6}}$

$= 0{,}5$ V $\qquad$ $= 1$ V

2. Dua buah kapasitor masing-masing dengan kapasitas 4μF dan 2μF disusun paralel dan dipasang pada tegangan 1,5 V.
   a. Gambarkan susunan rangkaian!
   b. Berapakah kapasitas susunan paralel tersebut?
   c. Berapakah tegangan tiap-tiap kapasitor?
   d. Berapakah muatan tiap-tiap kapasitor?

Penyelesaian:

Diketahui: $C_1 = 4\ \mu\text{F} = 4 \times 10^{-6}$ F

$C_2 = 2\ \mu\text{F} = 2 \times 10^{-6}$ F

$V = 1{,}5$ V

Ditanya: a) Gambar rangkaian ...?

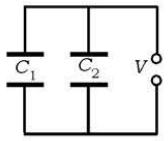
b) C_p = ...?

c) v = ...?

d) Q_1 dan Q_2 = ...?

Jawab:

a.



b. Kapasitas susunan paralel:

$C_p = C_1 + C_2$

$= 4\times10^{-6} + 2\times10^{-6}$

$= 6\times10^{-6}$ F

c. Tegangan pada masing-masing kapasitor adalah sama, yaitu sama dengan tegangan sumber = 1,5 V.

d. Muatan pada masing-masing kapasitor adalah:

$Q_1 = V\times C_1$

$= 1{,}5\times4.10^{-6}$

$= 6\times10^{-6}$ C

$Q_2 = V \times C_2$

$= 1{,}5 \times2\times10^{-6}$

$= 3\times10^{-6}$ C

Latihan 4.7

1. Tiga buah kapasitor masing-masing 6 μF. Gambar dan hitung kapasitas kapasitor jika:
   a. disusun seri,
   b. disusun paralel,
   c. dua disusun seri dan diparalel dengan yang lain,
   d. dua diparalel dan dihubungkan seri dengan yang lain!
2. Tiga kapasitor C_1 = 3F, C_2 = 6F, C_3 = 9F dirangkai dan dihubungkan dengan tegangan yang besarnya 220 volt. Tentukan harga tegangan pada ujung kapasitor 3F, bila:
   a. ketiganya dipasang seri,
   b. ketiganya dipasang paralel,
   c. C_1 dan C_2 dipasang seri, diparalel dengan C_3!

6. Energi yang Tersimpan dalam Kapasitor

Jika sebuah kapasitor diberi muatan, sesungguhnya yang terjadi adalah pemindahan muatan listrik dari keping yang satu ke keping yang lainnya. Untuk itu diperlukan usaha dan usaha yang diperlukan tadi disimpan oleh kapasitor dalam bentuk energi.

Jika mula-mula muatan kapasitor adalah nol, kemudian sedikit demi sedikit muatan dipindahkan dari keping yang satu ke keping yang lain sampai sejumlah Q, maka pemberian muatan rata-rata = $\frac{0+Q}{2} = \frac{1}{2}Q$. Dengan rumus $V = \frac{Q}{C}$, maka beda potensial rata-rata selama penambahan muatan adalah $\overline{V} = \frac{\frac{1}{2}Q}{C}$.

Pada listrik statis, usaha adalah hasil kali beda potensial rata-rata ($\overline{V}$) dengan muatan yang dipindahkan (Q) maka akan diperoleh:

$$W = \overline{V} \times Q$$
$$= \frac{\frac{1}{2}Q}{C} \times Q$$
$$W = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C}$$

Karena $V = \frac{Q}{C}$ maka besarnya energi yang tersimpan dalam kapasitor dapat ditulis dengan rumus:

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan kecakapan sosial kalian!"

Buatlah kelompok diskusi yang terdiri dari 2 orang. Kemudian diskusikan pertanyaan yang ada di bawah ini untuk menambah pemahaman kalian tentang materi listrik.

1. Yang mana yang menarik arus lebih banyak, bola lampu 50 W atau 75 W? Mana yang memiliki hambatan lebih tinggi?
2. Dapatkah sebuah kawat aluminium dan sebuah kawat tembaga dengan panjang yang sama memiliki hambatan yang sama? Jelaskan!
3. Tiga kapasitor yang sama dihubungkan ke baterai. Apakah mereka akan menyimpan lebih banyak energi jika dihubungkan seri atau pararel?
4. Mengapa lebih berbahaya menghidupkan alat listrik ketika kalian berdiri di luar dengan telanjang kaki dari pada ketika kalian berada di dalam menggunakan sandal/sepatu?

Bahaslah hasil diskusi kalian dengan kelompok lain dengan bantuan guru!

Contoh Soal 4.8

Hitunglah energi yang tersimpan dalam sebuah kapasitor 6 μF yang dipasang pada tegangan 10 volt!

Penyelesaian:

Diketahui: $C = 6\ \mu F = 6\times10^{-6}$ F

$V = 10$ V

Ditanya: W = ...?

Jawab:

$$W = \frac{1}{2}CV^2$$
$$= \frac{1}{2}\times 6\times10^{-6}\times10^{2}$$
$$= 3\times10^{-4}\text{J}$$

Latihan 4.8

1. Sebuah kapasitor dengan kapasitas 12 mikrofarad dipasang pada tegangan 6 volt.
   a. Berapa muatan yang tersimpan pada kapasitor?
   b. Berapa energi yang tersimpan pada kapasitor?
2. Kapasitas C_1 = 1mF, C_2 = 2 mF, dan C_3 = 3 mF dihubungkan seri dan diberi tegangan total sebesar E volt.
   a. Bagaimanakah muatan listrik masing-masing kapasitor?
   b. Kapasitor manakah yang memiliki energi paling banyak?
   c. Kapasitor manakah yang memiliki tegangan terkecil?
   d. Hitung kapsitor ekuivalen dan ketiganya!

Rangkuman

1. Gaya coloumb = gaya interaksi antara 2 benda atau lebih yang bermuatan listrik dirumuskan:

$$F = k\frac{Q_1\,Q_2}{r^2}$$

2. Resultan gaya coloumb:

$$\vec{F} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3}$$

3. Medan listrik adalah ruang di sekitar benda bermuatan listrik, yang mempunyai sifat bahwa setiap muatan yang ditempatkan di ruang itu merasakan atau mengalami gaya coloumb.
4. Kuat medan listrik: $E = k\frac{Q}{r^2} = \frac{F}{q}$
5. Resultan kuat medan listrik:
$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2} + \vec{E_3} + \ldots$$
6. Kuat medan listrik pada penghantar bola.
   - Di dalam bola $\rightarrow E = 0$
   - Di tempat berjarak c dari bola $\rightarrow E_c = \frac{kQ}{r_c^2}$
   - Di permukaan bola berjari-jari R $\rightarrow E = \frac{k\,Q}{R^2}$
7. Energi potensial listrik: $W_{a-b} = k\,Q\,q\left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a}\right)$
8. Potensial listrik: $V = \frac{k\,Q}{r}$
9. Beda potensial penghantar bola: $W_{A-B} = q\,(V_B - V_A) = q\,AV$
10. Besarnya kapasitas kapasitor: $C = \frac{Q}{V}$
11. Kapasitas kapasitor plat sejajar: $C = \frac{\varepsilon A}{d} = \frac{\varepsilon_o k A}{d}$
12. Kuat medan listrik antara konduktor kapasitor keping sejajar: $E = \frac{V}{d}$
13. Susunan paralel kapasitor: $C_p = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$
14. Susunan seri kapasitor: $\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$
15. Energi yang tersimpan dalam kapasitor: $W = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2$

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Jika didekatkan suatu barang yang bermuatan negatif pada elektroskop X dan batang lain yang bermuatan positif pada elektroskop Y maka daun elektroskop . . . .

	Elektroskop X	Elektroskop Y
a.	membuka	tidak membuka
b.	tidak membuka	tidak membuka
c.	tidak membuka	membuka
d.	membuka	membuka
e.	membuka	membuka kemudian menutup

2. Dua muatan listrik yang terpisah 8 cm, kemudian didekatkan bersama menjadi berjarak 2 cm. Maka gaya-gaya yang dialami masing-masing muatan tersebut akan mengalami pembesaran . . . .
   a. 1 kali
   b. 2 kali
   c. 4 kali
   d. 8 kali
   e. 16 kali

3. Tiga titik yang bermuatan identik terletak pada sudut-sudut segitiga sama sisi. Apabila gaya antara dua titik bermuatan tersebut F maka besar gaya pada setiap titik . . . .
   a. $F\sqrt{2}$
   b. $F\sqrt{3}$
   c. $2F$
   d. $3F$
   e. $F = 0$

4. Dua benda bermuatan $+q_1$ dan $+q_2$ berjarak r. Jika r diubah-ubah, maka grafik hubungan gaya interaksi kedua muatan dengan r adalah . . . .
   a. lurus dengan hasil kali kedua muatan
   b. lurus dengan jumlah kedua muatan
   c. lurus dengan selisih kedua muatan
   d. terbalik dengan jarak kedua muatan
   e. lurus dengan jarak kedua muatan

5. Pada titik-titik sudut A, B, C, D sebuah bujur sangkar ABCD dengan panjang a berturut-turut ditempatkan muatan $+q$, $-q$, $-q$, $-q$. Muatan $+q$ mengalami resultan gaya dari muatan lain sebesar $\frac{q^2x}{4\pi\varepsilon_o a^2}$, maka x adalah . . . .

   a. $\frac{1}{2}\sqrt{2}$
   b. $\frac{1}{\sqrt{2}}$
   c. $\sqrt{2}+2$
   d. $\sqrt{2}+\frac{1}{2}$
   e. $\frac{1}{\sqrt{2}}+\frac{3}{2}$

6. Kuat medan listrik di suatu titik sejauh r dari muatan q akan diperbesar menjadi 125 kali semula. Ini dapat dilakukan dengan cara . . . .

   a. memperbesar muatan menjadi 5 kali dan jarak 25 kali
   b. memperkecil jarak menjadi $\frac{1}{5}$ kali dan muatan 25 kali
   c. memperkecil jarak menjadi $\frac{1}{125}$ kali dan muatan 5 kali
   d. memperkecil jarak menjadi $\frac{1}{5}$ kali dan muatan 5 kali
   e. memperkecil jarak menjadi $\frac{1}{125}$ kali dan muatan 25 kali

7. Sebuah benda kaca massa 1 mg diberi muatan 10^{-6} C, kuat medan yang diperlukan untuk menahan benda tersebut supaya terapung di udara (g = 10 ms^{-2}) adalah . . . .
   a. $1{,}1 \times 10^{-19}$ volt/meter
   b. 9×10^{-19} volt/meter
   c. 10 volt/meter
   d. 9×10^{10} volt/meter
   e. 10^2 volt/meter

8. Usaha untuk memindahkan muatan 10 C dari titik berpotensial 100 V ke titik berpotensial 200 V adalah . . . .
   a. 100 joule
   b. 1000 joule
   c. 2000 joule
   d. 3000 joule
   e. 4000 joule

9. Untuk memperbesar kapasitas kapasitor dilakukan dengan cara . . . .
   a. menaikkan tegangan
   b. menurunkan tegangan
   c. luas keping diperbesar
   d. jumlah muatan diperbesar
   e. tebal isolator diperbesar

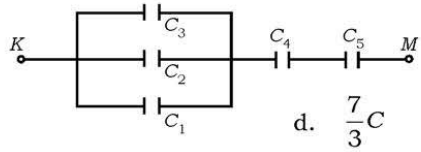
10. Keping-keping kondensator dihubungkan dengan sebuah baterai kemudian jaraknya diperbesar maka . . . .
   1) Harus dilakukan kerja pada kondensator
   2) Beda potensial antara keping-keping bertambah
   3) Kapasitasnya berkurang
   4) Energi yang tersimpan di dalam kondensator bertambah

   Pernyataan 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

11. Tiga buah kapasitor masing-masing berkapasitas *C*. Dengan menghubungkan seri atau paralel maka harga-harga kapasitas yang mungkin adalah:
   1) 3 C
   2) 2 C/3
   3) C/3
   4) 3 C/2

   Pernyataan yang benar adalah . . . .
   a. 1, 2, 3, dan 4
   b. 1, 2, dan 3
   c. 1 dan 3
   d. 2 dan 4
   e. 4

12. Di bawah ini tertera skema rangkaian 5 buah kapasitor yang sama besarnya. Kapasitas antara titik K dan M adalah . . . .

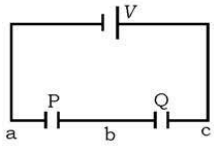


   a. $\frac{8}{3}C$
   b. $\frac{1}{5}C$
   c. $5C$
   d. $\frac{7}{3}C$
   e. $\frac{3}{7}C$

13. Tiga buah kapasitor masing-masing kapasitasnya 3 F, 6 F, dan 9 F dihubungkan secara seri. Kedua ujung dari gabungan tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V. Tegangan di ujung-ujung kapasitor 3 F adalah . . . .
    a. 6 V
    b. 110 V
    c. 220 V
    d. 120 V
    e. 18 V

14. Energi listrik dalam sebuah kondensator dengan kapasitas C pada tegangan V sama dengan . . . .
    a. $\frac{1}{2}V^2C$
    b. $\frac{1}{2}VC^2$
    c. $\frac{1}{2}VC$
    d. $\frac{1}{2}V^2C^2$
    e. CV^2

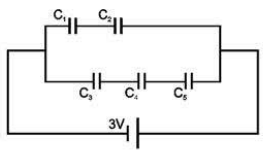
15. Dua kapasitor udara dengan kapasitas yang sama besarnya, dihubungkan pada sebuah baterai seperti di bawah ini.



Ruang di dalam P berangsur-angsur diisi minyak dengan konstanta dielektrik 2. Dari pernyataan-pernyataan berikut yang merupakan akibat penuangan minyak adalah . . . .
    a. beda potensial pada Q menurun
    b. medan listrik di dalam Q menurun
    c. beda potensial pada P bertambah besar
    d. medan listrik di dalam P menurun
    e. medan listrik di dalam P bertambah besar

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Bola A dan B masing-masing bermuatan 10 C dan 30 C, berjarak 3 m satu terhadap yang lain. Hitung energi potensial bola A!
2. Sebuah atom hidrogen terdiri dari sebuah inti bermuatan $+1{,}6\times10^{-19}$C dan sebuah elektron yang mengitarinya bermuatan $-1{,}6\times10^{-19}$C. Jika massa elektron $9{,}1\times10^{-31}$ kg, dan jari-jari lintasan elektron $5{,}3\times10^{-19}$ m, hitung:
    a. gaya coulomb antara inti dan elektron,
    b. laju linier elektron!

3. Pada segitiga sama sisi ABC, pada B dan C terdapat muatan berturut-turut $+9\times10^{-6}$ C dan 3×10^{-6} C. Hitung kuat medan di A, jika panjang sisinya 3 cm.
4. Dua kapasitor masing-masing 2 μF dan 3 μF dihubungkan paralel satu sama lain dan dipasang pada tegangan 20 volt. Hitung energi yang tersimpan pada masing-masing kapasitor!
5. 

Pada gambar di samping susunan campuran dari lima buah kapasitor. Jika $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 5\mu F$, tentukan:
a. muatan pada C_2,
b. energi yang tersimpan dalam C_4!

Aplikasi:

"Ayo kembang daya saing dan keingintahuan kalian".

Setelah memelajari potensial listrik. Untuk lebih mengetahui manfaat dari pelajaran ini carilah informasi melalui buku atau internet tentang pemanfaatan potensial listrik dalam bidang kesehatan. Kemudian diskusikan dengan teman hasil dari pencarian informasi yang telah kalian dapat dengan panduan guru!

Bab V

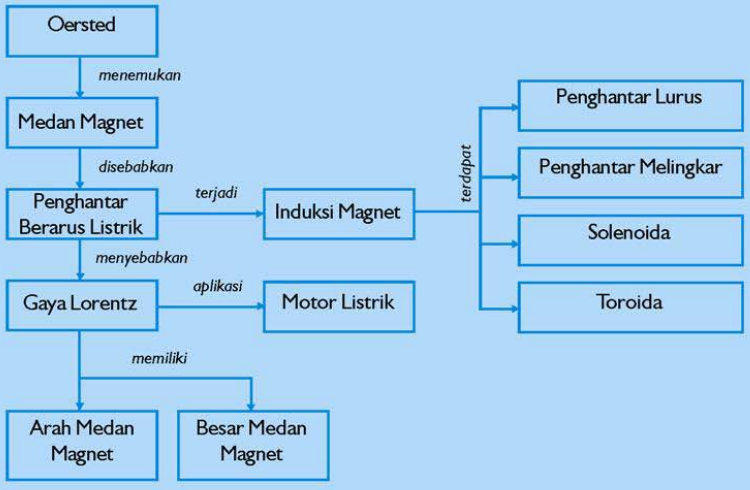
Medan Magnet

Sumber gambar: *Jendela Iptek*

Tujuan Pembelajaran

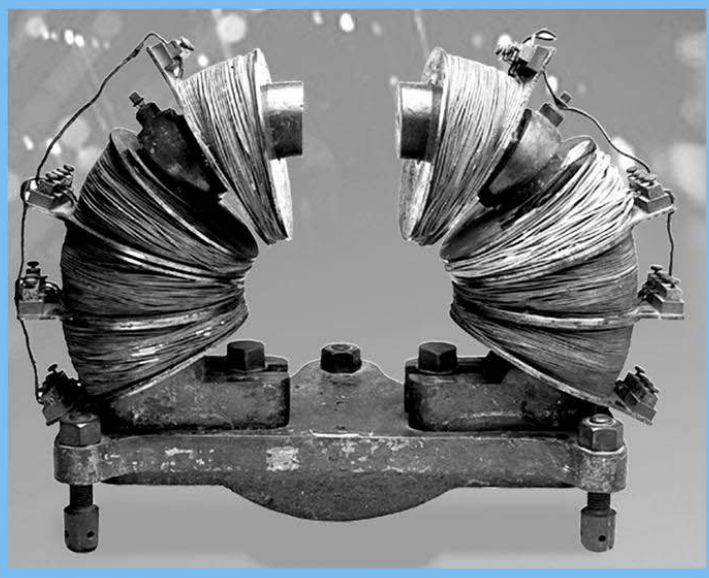
Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menerapkan konsep kelistrikan dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan teknologi.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Induksi magnetik
2. Selenoida
3. Toroida
4. Gaya lorentz



Sumber: *Jendela Iptek*

Gambar. *Induktor*

Induktor adalah sebuah elektromagnetik, seperti terlihat pada gambar. Induktor merupakan sebuah kumparan kawat, dengan atau tanpa inti magnetik, yang menghasilkan magnetisme jika arus mengalir melewatinya. Magnetisme tersebut membentuk simpanan energi, terlihat jika induktor tersebut dimatikan. Energi magnetiknya tidak hilang saat itu juga, demikian juga arusnya. Untuk mengetahui penyebabnya mari mengikuti penjelasan dalam bab berikut.

A. Penemuan Oersted

Pada akhir abad ke-18 Oersted menemukan bahwa di sekitar kawat/penghantar yang berarus listrik terdapat medan magnet. Untuk mempelajari ini, kita lakukan percobaan seperti berikut!

Percobaan 5.1

Tujuan percobaan:

Menyelidiki adanya medan magnetik di sekitar kawat berarus listrik, serta faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Alat dan bahan:

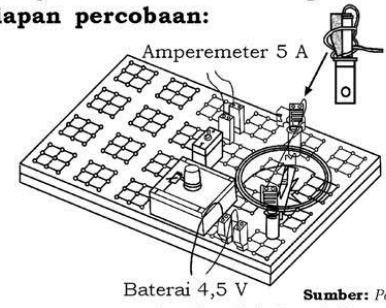
Nama alat dan bahan	Jumlah
Potensiometer 10 kΩ	1
Kabel penghubung merah	3
Kabel penghubung hitam	2
Model kompas	1
Meter dasar	1
Papan rangkaian	1
Saklar satu kutub	1
Jembatan penghubung	1
Jepit steker	2
Baterai	3

Sumber: *Panduan Percobaan. Depdiknas. 2000*

Konsep percobaan:

Penyimpangan magnet jarum menunjukkan bahwa di sekitar magnet jarum ada medan magnet lain.

Persiapan percobaan:

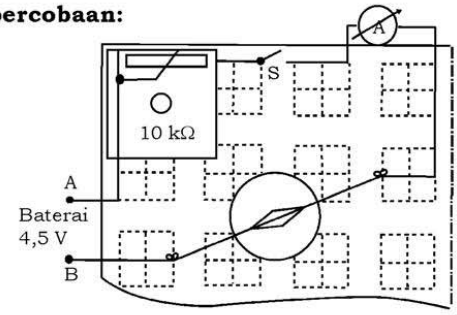


Sumber: *Panduan Percobaan. Depdiknas. 2000*

Gambar 5.1 *Rangkaian percobaan*

1. Persiapkan peralatan/komponen sesuai dengan daftar alat/bahan!
2. Buat rangkaian seperti gambar 5.1!
   a. Saklar dalam posisi terbuka (posisi 0).
   b. Sebuah meter dasar sebagai amperemeter dengan batas ukur 5 A.
   c. Kabel penghubung yang dipasang tepat pada permukaan model kompas, ujungnya masing-masing digulung pada steker jepit sehingga kabel penghubung menjadi tegang.
   d. Model kompas dan papan rangkaian diatur supaya kawat dan jarum kompas searah (segaris).
3. Hubungkan rangkaian ke sumber tegangan (gunakan kabel penghubung)!
4. Periksa kembali rangkaian!

Langkah percobaan:



Sumber: *Panduan Percobaan. Depdiknas. 2000*

Gambar 5.2 *Rangakain percobaan*

1. Tutup saklar S (posisi 1), amati sudut penyimpangan kutub utara jarum pada model kompas dan kuat arus yang melalui kawat! Catat hasilnya ke dalam tabel hasil pengamatan!
2. Buka saklar S (posisi 0)!
3. Ubah jarak kawat terhadap kompas dengan cara memindahkan kawat ke ujung steker jepit, kemudian lakukan seperti langkah 1!
4. Tutup saklar S (posisi 1), ubah arah arus dengan cara menukar kabel penghubung baterai yang ke rangkaian (Jangan lupa menukar kabel amperemeter)! Ulangi langkah 1 sampai 3!

5. Ulangi langkah 1 sampai 4 untuk kuat arus yang berbeda dengan cara mengatur pontensiometer!

Hasil pengamatan:

Isikan pada tabel 5.1 berikut hasil pengamatan yang kalian dapat!

Tabel 5.1 Hasil pengamatan

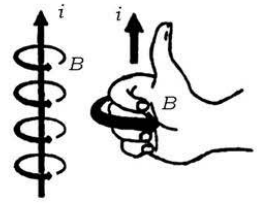
No.	Kuat arus (*I*)	Polaritas listrik		Jarak		Penyimpangan kutub U kompas	
		A	B	Dekat	Jauh	Sudut simpang	Arah simpang
1.		+	–				
		–	+				
2.		+	–				
		–	+				

Kesimpulan:

Simpulkan hasil kegiatan yang telah kalian lakukan!

1. Arah Medan Magnet yang Ditimbulkan oleh Arus Listrik

Dari kegiatan di atas diperoleh kesimpulan, di sekitar penghantar yang berarus listrik terjadi medan magnet. Karena arus listrik adalah muatan listrik yang bergerak, dapat dikatakan gerakan muatan listrik menimbulkan medan magnet. Arah medan magnet sangat ditentukan oleh arah arus listriknya. Untuk memudahkan mengingat digunakan kaidah tangan kanan seperti pada gambar 5.3.



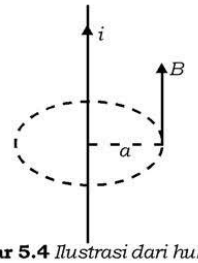
Gambar 5.3 *Kaidah tangan tangan*

Arah ibu jari menggambarkan arah arus listrik (*i*) dan arah lipatan ke empat jari lainnya menunjukkan arah medan magnet (*B*).

2. Besar Induksi Magnetik yang Ditimbulkan oleh Kawat Lurus Berarus Listrik

Dari kegiatan di atas dapat dipahami besar induksi magnetik pada suatu titik ditentukan oleh jarak titik itu ke kawat penghantar berarus listrik dan besarnya arus listrik, ditulis dengan rumus hukum Biot Savart sebagai berikut.

$$B = \frac{\mu_o \cdot i}{2\pi \cdot a}$$



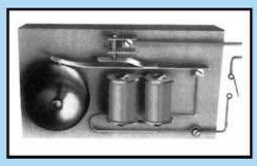
Gambar 5.4 *Ilustrasi dari hukum Biot Savart*

dengan

B = besar induksi magnetik (kuat medan magnetik) pada suatu titik (tesla = T = Wb m^{-2})
i = kuat arus listrik (A)
a = jarak kuat arus sampai titik tersebut (m)
μ_o = permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$ TmA^{-1})

"Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!"

Dimensi Fisika



Sumber: *Jendela Iptek*

Perhatikan gambar di samping!
kalian akan mendengarnya setiap kalian sedang beristirahat di sekolah. Gambar di samping adalah bel listrik. Prinsip kerja bel listrik menggunakan konsep fisika tentang medan magnet. Jelaskan dan terangkan bagaimana sebuah bel listrik dapat berdering!

Contoh Soal 5.1

Dua buah kawat penghantar sejajar masing-masing berarus listrik 4A dan 8A searah, satu sama lain berjarak 16 cm. Hitunglah kuat medan magnet di tengah-tengah antara kedua kawat tersebut!

Penyelesaian:

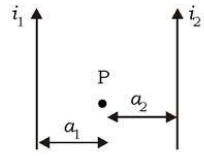
Diketahui: $i_1 = 4$ A $\quad d = 16$ cm

$i_2 = 8$ A $\quad a_1 = a_2 = 8\times10^{-2}$ m

Ditanya: $B = ...?$

Jawab:

Titik P mendapat pengaruh dari i_1 dan i_2.



Oleh i_1:

$$B_1 = \frac{\mu_o i}{2\pi a}$$
$$= \frac{4\pi\times10^{-7}\times4}{2\pi\times8\times10^{-2}}$$
$$= 10^{-5}\ \text{Wb.m}^{-2}$$

Arah masuk tegak lurus bidang gambar

Oleh i_2:

$$B_2 = \frac{\mu_o i}{2\pi a}$$
$$= \frac{4\pi\times10^{-7}\times8}{2\pi\times8\times10^{-2}}$$
$$= 2\times10^{-5}\ \text{Wb.m}^{-2}$$

Arah keluar tegak lurus bidang gambar

Besar kuat medan magnetik di titik P (di tengah-tengah kawat berarus):

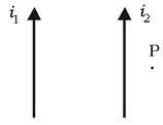
$B = B_2 - B_1$

$= 2\times10^{-5} - 10^{-5}$

$= 10^{-5}\ \text{Wbm}^{-2}$ (arah ke luar tegak lurus bidang gambar)

Latihan 5.1

1. Pada gambar menunjukkan kawat berarus listrik $i_1 = 4$A, $i_2 = 8$ A berjarak 8 cm satu terhadap yang lain. Hitung besar dan arah induksi magnetik pada titik P yang berjarak 4 cm dari i_2!



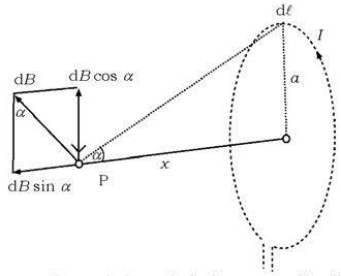
2. Dua kawat berarus listrik $i_1 = 4$A, $i_2 = 8$A, berjarak 5 cm satu terhadap yang lain. Jika arah arus sama, tentukan besar induksi magnetik pada suatu titik yang berjarak 3 cm dari i_1 dan 4 cm dari i_2!

B. Induksi Magnetik pada Kawat Penghantar Melingkar Berarus Listrik

Alat-alat listrik yang berkaitan dengan induksi magnetik sebagian besar menggunakan penghantar yang melingkar, misalnya berbentuk solenoida, toroida, dan lain-lainnya. Di bawah ini akan dibahas induksi magnetik pada penghantar kawat melingkar.

1. Induksi Magnetik di Sekitar Penghantar Melingkar Berarus Listrik

Gambar 5.5 melukiskan kawat berarus listrik berbentuk lingkaran dengan jari-jari yang dialiri arus listrik i. Besar induksi magnetik pada sumbu lingkaran yang berjarak r dari elemen arus dapat dihitung sebagai berikut.
Menurut hukum Ampere, induksi magnetik di P oleh elemen arus sepanjang $d\ell$:



Gambar 5.5 *Induksi magnetik di sekitar kawat melingkar berarus listrik*

$$dB = \frac{\mu_o i\, a\ d\ell \sin\alpha}{4\pi r^2}$$

Selanjutnya vektor dB diuraikan ke arah sumbu lingkaran x dan tegak lurus sumbu x.

$$dB_x = dB \sin\alpha$$
$$dB_y = dB \cos\alpha$$

Komponen dB_y yang ditimbulkan elemen arus sepanjang lingkaran saling meniadakan (=0), sehingga yang ada hanya dB_x.
Jadi:

$$dB = dB_x = \frac{\mu_o i\, a\, d\ell \sin\alpha}{4\pi r^2}$$

Untuk elemen arus sepanjang lingkaran $d\ell$ = keliling lingkaran yaitu sama dengan $2\pi\alpha$. Sehingga induksi magnetik di titik P adalah sebagai berikut.

$$B_p = \frac{\mu_o i\, 2\pi\alpha \sin\alpha}{4\pi r^2} \quad \text{atau} \quad B_p = \frac{\mu_o i a \sin\alpha}{2r^2}$$

Jika titik terletak pada pusat lingkaran (O) maka $r = a$ dan $\alpha = 90^\circ$ sehingga:

$$B = \frac{\mu_o i a}{2a^2}$$

Jadi, besarnya induksi magnetik di pusat lingkaran kawat berarus:

$$B = \frac{\mu_o i}{2a}$$

Jika terdapat N lilitan ($N < 10$) maka:

$$B = N\frac{\mu_o i}{2a}$$

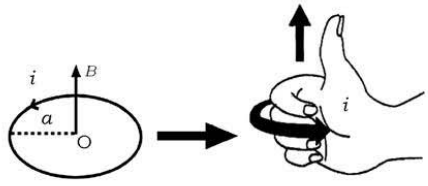
dengan
B = besar induksi magnetik di pusat kawat melingkar (T = Wbm^{-2})
i = kuat arus (A)
a = jari-jari kawat melingkar (m)

Info Sains

Sumber: *Dok. Penerbit*

Seperti halnya televisi, sebuah video recorder menerima sinyal dari stasiun televisi kalau pada televisi sinyal tadi diubah ke dalam gambar, pada video recorder sinyal disimpan di dalam pita magnetik. Prosesnya sama dengan merekam suara. Video recorder sangat bergantung pada kemagnetan dan kelistrikan. Ia menggunakan dorongan magnetik dari kawat yang membawa arus dalam motor listrik untuk memutar drum pada kecepatan tinggi dan menggerakkan pita yang melaluinya dengan lembut. Untuk merekam suatu program, arus yang mengalir pada kumparan kawat di dalam drum dipakai untuk menciptakan pola magnetik pada pita. Jika pita tersebut diputar ulang, alat perekam menggunakan pola magnetik ini untuk menghasilkan arus yang dapat diubah ke dalam gambar oleh televisi.

Arahnya dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan.



Gambar 5.6 *Kaidah tangan kanan (arus melingkar)*

2. Induksi Magnetik pada Solenoida

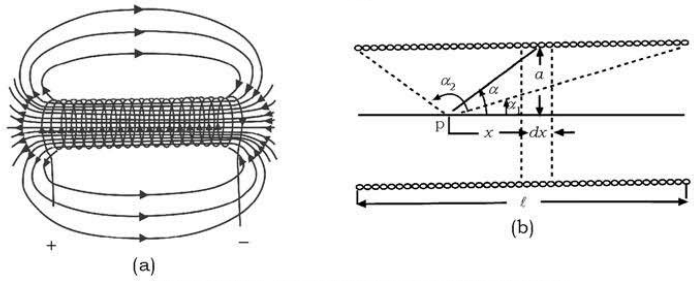
Kumparan yang memiliki jumlah lilitan lebih dari 10 (N>10) disebut selenoida. Gambar 5.7a menunjukkan medan magnet pada kumparan, sedang gambar 5.7b penampang lilitan membujur. Sebuah kumparan yang panjangnya ℓ meter, terdiri dari N lilitan. Jadi, jumlah lilitan tiap meter $n = \frac{N}{\ell}$.

Kita tinjau sejumlah lilitan sepanjang dx. Jumlah lilitan sepanjang dx ialah ndx. Dari rumus:

$$B = \frac{\mu_o i a \sin\alpha}{2r^2}$$

Untuk ndx lilitan diperoleh:

$$dB = \frac{\mu_o i a \sin\alpha}{2r^2} ndx$$



Gambar 5.7 *Induksi magnetik pada solenoida*

Pada gambar di atas tampak bahwa:

α = sudut antara r dan x

$r = a \operatorname{cosec} \alpha$

$x = a \operatorname{cotg} \alpha$

$dx = -a \operatorname{cosec}^2 \alpha \, d\alpha$

Sehingga diperoleh:

$$dB = \frac{\mu_o i a \sin\alpha \; n (-a \operatorname{cosec}^2 \alpha \, d\alpha)}{2a^2 \operatorname{cosec}^2 \alpha}$$

$$dB = \frac{\mu_o i n \sin\alpha \, d\alpha}{2}$$

$$B = \int dB$$

$$= \frac{\mu_o i n}{2} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$$

Untuk solenoida yang panjang, $\alpha_1 = 0^o$, $\alpha_2 = 180^o$, maka induksi magnetik di pusat solenoida di titik P) diperoleh:

$$B = \frac{\mu_o i n}{2}(1+1)$$

$$B = \mu_o \; i \; n$$

Untuk titik Q di ujung solenoida, $\alpha_1 = 0^o$, $\alpha_2 = 90^o$, diperoleh:

$$B = \frac{\mu_o i n}{2}(\cos 0^o - \cos 90^o)$$

$$B = \frac{\mu_o i n}{2}(1-0)$$

$$B = \frac{\mu_o i n}{2}$$

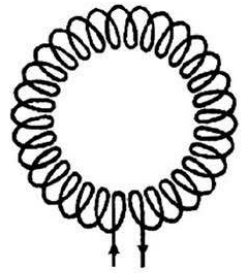
Kumparan yang dialiri arus listrik bersifat seperti magnet batang. Kutub S (selatan) magnet ditandai sebagai berikut, jika dilihat arah arus pada ujung kumparan "searah" jarum jam maka ujung tersebut kutub "selatan".

3. Toroida

Suatu solenoida yang berada di lingkungan sehingga membentuk lingkaran dinamakan toroida. Besarnya induksi magnetik pada sumbu toroida:

$$B = \mu_o \; i \; n$$

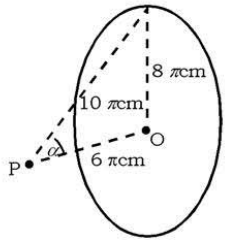
dengan n = Jumlah lilitan tiap meter



Gambar 5.8 *Toroida*

Contoh Soal 5.2

1. Penghantar listrik berbentuk lingkaran dengan jari-jari 8π cm, dialiri arus listrik 5 Ampere. Sebuah titik P berjarak 6π cm dari pusat lingkaran O (PO tegak lurus bidang lingkaran). Hitung besar induksi magnetik di titik P!



Penyelesaian:

Diketahui: $i = 5\text{A}$

$a = 8\pi \times 10^{-2}$ m

$r = 10\pi \times 10^{-2}$ m $= \pi \times 10^{-1}$ m

$\sin\alpha = 0{,}8$

Ditanya: B_p ...?

Besar induksi magnetik di titik P adalah:

$$B_p = \frac{\mu_o i a \sin \alpha}{2r^2}$$

$$B_p = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5 \times 8\pi \times 10^{-2} \times 0{,}8}{2(\pi \times 10^{-1})^2} = 6{,}4 \times 10^{-6} \text{ Wbm}^{-2}$$

2. Sebuah toroida dengan garis tengah lingkaran sumbunya 16 cm terdiri dari 800 lilitan. Jika dialiri arus 2 A, hitunglah besarnya induksi magnetik pada sumbunya!

Penyelesaian:

$$r = \frac{16}{2} = 8 \text{ cm} = 8 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Panjang kelilingnya, $\ell = 2\pi r = 2\pi \times 8 \times 10^{-2} = 16\pi \times 10^{-2}$ m

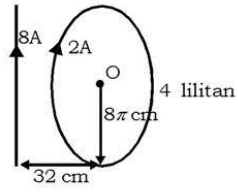
$$n = \frac{N}{\ell} = \frac{800}{16\pi \times 10^{-2}} = \frac{5 \times 10^3}{\pi}$$

$B = \mu_o \, i \, n$

$$= 4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times \frac{5000}{\pi} = 4 \times 10^{-3} \text{ Wb m}^{-2}$$

Latihan 5.2

1. Sebuah kumparan tipis terdiri dari 4 lilitan, mengalir arus listrik 2 Ampere seperti pada gambar. Jari-jari kumparan adalah 8π cm. Sebuah kawat penghantar yang terletak sebidang dengan penampang lilitan berjarak 32 cm dari pusat dan berarus listrik 8 ampere. Tentukan besar induksi magnetik di titik O (pusat lilitan)!



2. Sebuah solenoida terdiri dari 20 lilitan tiap cm, dialiri arus listrik 5A. Hitung besar induksi magnetik di ujung kumparan!

C. Gaya Lorentz

Sebuah penghantar yang berada di dalam medan magnet mendapat gaya. Gaya ini disebut gaya lorentz. Untuk memahami gaya lorentz, kita lakukan percobaan sebagai berikut.

Percobaan 5.2

Tujuan:

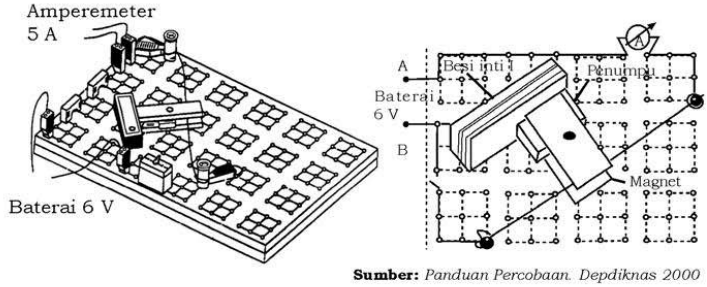
Menyelidiki gejala gaya magnetik yang bekerja pada kawat berarus listrik dalam medan magnet.

Alat dan bahan:

Nama alat dan bahan	Jumlah
Inti besi I	1
Batang magnet Alnico	2
Papan rangkaian	1
Jembatan penghubung	3
Saklar 1 kutub	1
Kabel penghubung merah	3
Kabel penghubung hitam	2
Meter dasar	1
Jepit steker	2
Baterai	4

Sumber: Panduan Percobaan. Depdiknas 2000

Persiapan percobaan:



Sumber: *Panduan Percobaan. Depdiknas 2000*

1. Persiapkan peralatan/komponen sesuai dengan daftar alat/bahan!
2. Buat rangkaian seperti gambar di atas!

a. Saklar dalam posisi terbuka (posisi 0).
b. Kutub S magnet yang satu dihubungkan ke kutub U magnet lainnya dengan menggunakan inti besi I dan jembatan penghubung sebagai penumpu, sehingga menyerupai ladam.
c. Sebuah meter dasar sebagai amperemeter dengan batas ukur 5 A DC.
d. Satu kabel penghubung merah direntangkan secara kendur, dipasang di antara kedua kutub magnet dan dihubungkan pada kedua jepit steker (bila perlu digulung pada jepit steker).

3. Hubungkan rangkaian ke sumber tegangan (gunakan kabel penghubung)!
4. Periksa kembali rangkaian!

Langkah-langkah percobaan:

1. Tutup saklar S (posisi 1), amati kuat arus dan arah gerak kabel yang berada dalam medan magnet!
2. Buka saklar S (posisi 0), kemudian balik arah arus dengan cara menukar tempat kabel penghubung baterai dan juga meter dasar!
3. Lakukan seperti langkah 1, dan catat hasilnya ke dalam tabel hasil pengamatan!
4. Buka saklar S kemudian perbesar arus dengan cara memperbesar tegangan sumber (menambahkan sebuah baterai)!
5. Lakukan seperti langkah 1 sampai dengan 3, kemudian catat hasilnya ke dalam tabel pengamatan!

Hasil pengamatan:

Catat hasil pengamatan pada tabel berikut!

Tabel 5.2 Hasil pengamatan

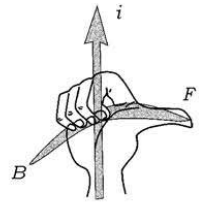
No.	Tegangan (*V*)	Kuat arus (*I*)	Polaritas listrik		Simpangan kawat			
			A	B	Arah simpangan		Besar simpangan	
					Masuk	Keluar	Besar	Kecil
1.			+	−				
			−	+				
2.			+	−				
			−	+				

Kesimpulan:

Simpulkan hasil kegiatan yang telah kalian lakukan!

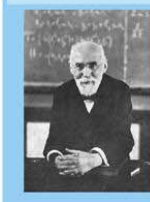
1. Arah Gaya Lorentz

Dari kegiatan di atas dapat dipahami bahwa arah gaya magnetik (gaya lorentz) ditentukan oleh arah arus dan arah medan magnet. Arah gaya lorentz dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan sebagai berikut.
Jika arus listrik (i) mengalir dari siku ke ujung jari dan arah lipatan ke empat jari menunjukkan arah kuat medan magnet (B) maka rentangan ibu jari menunjukkan arah gaya lorentz (F).



Gambar 5.9 *Arah gaya Lorentz*

Saintis



Hendrik Antoon Lorentz adalah ahli fisika berkebangsaan Belanda, perintis dalam menghu - bungkan relasi antara listrik, kemagnetan, dan cahaya. Salah satu hasil karyanya yang pertama adalah rumusan mengenai konsep elektron. Lorentz menerima hadiah Nobel pada tahun 1902 karena berhasil menjelaskan mengenai efek Zeeman (perubahan garis-garis spektrum dalam medan magnet).

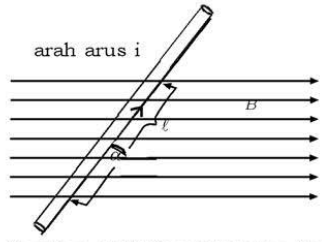
Sumber: *www.thp.uni-koln.de*

2. Besar Gaya Magnetik

Dengan cara mengubah besar kecilnya kuat arus, dan mengubah magnet yang dipakai pada percobaan di atas, Lorentz menyimpulkan bahwa besarnya gaya sebanding dengan kuat arus, kuat medan magnet, panjang kawat, dan tergantung pada posisi kawat terhadap arah medan magnetnya. Sehingga bila pada percobaan di atas kuat arus diperbesar menyebabkan penyimpangan kawat pembawa arus di antara dua kutub magnet semakin besar. Demikian pula kuat medan magnet yang semakin besar, menyebabkan penyimpangan kawat pembawa arus di antara dua kutub magnet semakin besar. Hal tersebut dapat ditulis dengan persamaan:

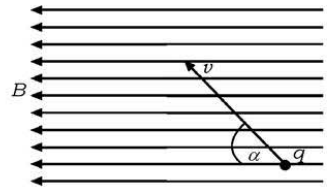
$$F = B\ i\ \ell \sin \alpha$$

dengan
F = gaya lorentz (N)
i = kuat arus (A)
ℓ = panjang kawat yang berada di dalam medan magnet (m)
α = sudut antara arah kuat arus dengan arah medan magnet
B = kuat medan magnet (T)



Gambar 5.10 *Kawat berarus listrik dalam medan magnet akan mendapat gaya Lorentz*

Oleh karena arus listrik dapat dipandang sebagai muatan listrik yang bergerak, maka dari persamaan $F = B\ i\ \ell \sin \alpha$ disubstitusi menjadi:



Gambar 5.11 *Muatan bergerak dalam medan magnet akan mengalami gaya Lorentz*

$$F = B q \frac{\ell}{t} \sin \alpha$$

$$F = B\ q\ \ v \sin \alpha$$

dengan

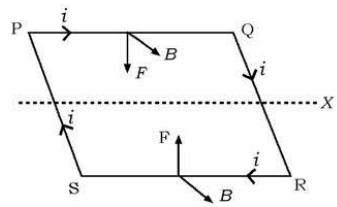
q = besarnya muatan (C)

v = kecepatan muatan (ms^{-1})

Untuk menentukan arah gaya lorentz pada muatan yang bergerak, kalian harus ingat bahwa arah kuat arus listrik berlawanan dengan arah gerak muatan negatif dan aturan kaidah tangan kanan.

3. Peran Gaya Lorentz pada Motor Listrik

Gambar di samping menunjukkan suatu medan magnet B yang terletak di dalam bidang penghantar PQRS. Bidang *PQRS* dapat berputar dengan sumbu yang tegak lurus arah *B*. Dalam PQRS mengalir arus listrik *i*, menurut arah PQRS.



Gambar 5.12 *Medan magnet B pada bidang penghantar PQRS*

Oleh karena arus listrik sepanjang PQ dan RS tegak lurus induksi magnetik B, dan induksi magnetik B sejajar PS maka sepanjang PQ dan RS bekerja gaya-gaya lorentz F, yang arahnya sejajar dan berlawanan. Jika PQ = a dan PS = b maka besar gaya lorentz pada sisi PQ dan RS besarnya:

$$F = i\ a\ B$$

Gaya lorentz yang bekerja pada sisi QR dan PS sama besar, segaris kerja, dan berlawanan arah, sehingga saling meniadakan. Oleh karena itu pada segi empat PQRS bekerja

Sumber: *www.ing.alibaba.com*

Gambar 5.13 *Motor listrik*

(diputar) oleh suatu kopel dengan momen sebesar:

$$\tau = F\,b$$
$$= i\,a\,B\,b$$

Apabila PQRS membuat sudut α dengan B maka besar momen kopel menjadi:

$$\tau = i\,a\;B\,b\sin\alpha$$

Jika PQRS terdiri dari N lilitan maka besar momen kopel:

$$\tau = N\;\; i\,a\,B\,b\sin\alpha$$

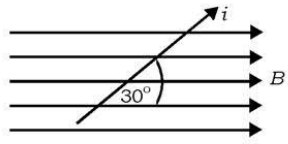
Padahal $a \times b$ adalah luas PQRS, sama dengan A maka:

$$\tau = N\,i\,B\,A\sin\alpha$$

Pada umumnya PQRS bukan segi empat tetapi lingkaran dengan jari-jari R, maka $A = \pi R^2$. Pembicaraan tersebut di atas adalah asas motor listrik.

Contoh Soal 5.3

1. Sebuah penghantar 10 cm membentuk sudut 30° dengan medan magnet homogen 0,4 tesla. Jika penghantar tersebut dialiri arus 20 A, berapakah gaya Lorentz yang dialami penghantar?



Penyelesaian:

Diketahui: $B = 0{,}4$ T $\quad \ell = 10$ cm $= 0{,}1$ m
$i = 20$ A $\quad \alpha = 30^\circ$

Ditanya: $F_L = \ldots ?$

$F_L = B\;i\;\ell\sin\alpha$
$= 0{,}4 \times 20 \times 0{,}1 \times \sin 30^\circ = 0{,}4$ N

2. Sebuah motor listrik terdiri dari 1000 lilitan dengan luas penampang 50 cm^2, posisi penampang tegak lurus medan magnet sebesar 0,5 T. Jika kuat arus pada kawat kumparan 1 A. Hitung momen gaya yang dihasilkan!

Penyelesaian:

Diketahui: $N = 1000$ $\quad B = 0{,}5$ T
$i = 1$ A

Ditanya: $\lambda = \ldots.?$

Jawab:

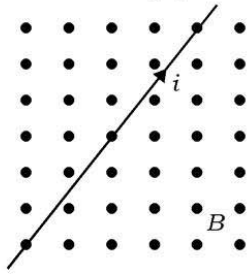
$A = 50\ \text{cm}^2 = 50\times10^{-4}\ \text{m}^2 = 5\times10^{-3}\ \text{m}^2$
$\tau = N\;i\;B\,A$
$= 1000\times1\times0{,}5\times5\times10^{-3} = 2{,}5$ Nm

Latihan 5.3

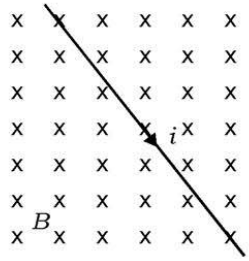
1. Jika ⁘ menunjukkan arah medan magnet menembus tegak lurus keluar bidang gambar, dan ⁙ menunjukkan arah medan magnet menembus tegak lurus masuk bidang gambar.

   Tentukan arah gaya lorentz pada penghantar berarus listrik *i*!

   a.



   b.



2. Sebuah elektron dengan muatan $1{,}6\times10^{-19}$ C, massa $9{,}1\times10^{-31}$ kg bergerak dengan kecepatan 6×10^{5} ms^{-1} tegak lurus medan magnet 10^{-2} tesla. Hitung:
   a. gaya magnetik pada muatan itu,
   b. jari-jari lintasan elektron!

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan wawasan lingkungan lokal/ pengalaman sehari-hari kalian!"

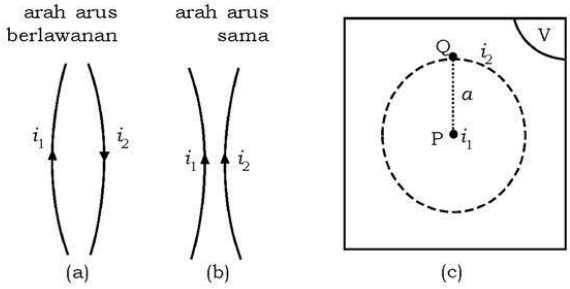
Jika kalian membawa magnet kemudian kalian dekatkan dengan layar televisi yang sedang menyala menyebabkan gambar rusak, dan juga gambar kadang-kadang menjadi hitam sama sekali ketika medan paling kuat. Mengapa bisa demikian? Berikan argumentasi kalian terhadap fenomena tersebut.

D. Gaya Magnetik pada Dua Penghantar yang Berarus Listrik

Di muka sudah kita bahas, bahwa di sekitar kawat penghantar berarus listrik timbul induksi magnetik, selanjutnya oleh Lorentz dijelaskan medan magnet berpengaruh pada penghantar berarus listrik.

Bagaimana halnya jika dua penghantar berarus listrik berdekatan?

1. Gaya Magnetik pada Dua Kawat Sejajar



Gambar 5.14 *Gaya magnetik*

Dua penghantar berarus listrik yang berdekatan akan saling mempengaruhi yaitu saling menolak atau saling menarik. Terjadi tolak-menolak jika pada kedua penghantar mengalir arus yang berlawanan arah dan terjadi tarik-menarik jika dalam penghantar mengalir arus yang searah.

Gambar *a*, arah i_1 dan i_2 berlawanan, kedua penghantar tolak-menolak. Gambar *b*, arah i_1 dan i_2 searah, kedua penghantar tarik-menarik.

Besar gaya tolak atau gaya tarik dapat dihitung sebagai berikut. P dan Q adalah titik tembus penghantar pada bidang V yang tegak lurus. Induksi magnetik di P pada gambar 5.14c adalah:

$$B = \frac{\mu_o i_1}{2\pi\ a}$$

Oleh karena pada Q terdapat arus listrik i_2, maka pada setiap satuan panjang bekerja gaya Lorentz:

$$F = B\, i_2$$

$$F = \frac{\mu_o i_1 i_2}{2\pi\ a}$$

dengan

F = Gaya interaksi antara dua kawat berarus listrik (N)

i_1, i_2 = Kuat arus (A)

a = Jarak antara kedua kawat (m)

2. Satuan Kuat Arus Listrik

Jika i_1 dan i_2 masing-masing 1 ampere dan jarak kedua kawat sama dengan 1 meter maka:

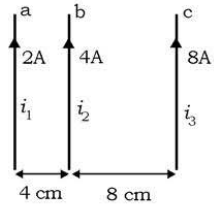
$$F = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1}{2\pi \times 1} = 2 \times 10^{-7} \text{ N}$$

Dari hasil tersebut didefinisikan satuan kuat arus dalam SI sebagai berikut.

1 ampere adalah besarnya kuat arus listrik pada masing-masing kawat sejajar yang berjarak 1 meter satu sama lain dan memberikan gaya interaksi sebesar 2×10^{-7} N setiap 1 m panjang kawat konduktor.

Contoh Soal 5.4

Gambar berikut melukiskan tiga penghantar kawat a, b, dan c masing-masing panjangnya 1 meter. Jarak a – b = 4 cm sedang jarak b – c = 8 cm. Masing-masing penghantar berturut-turut mengalir arus listrik 2A, 4A, dan 8A. Hitunglah besar dan arah gaya yang bekerja pada penghantar b!



Penyelesaian:

Gaya yang bekerja pada kawat b oleh kawat a:

$$F_1 = \frac{\mu_o i_1 i_2}{2\pi a}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 2 \times 4}{2\pi \times 4 \times 10^{-2}} = 4 \times 10^{-5} \text{ N (arah ke kiri)}$$

Gaya yang bekerja pada kawat b oleh kawat c:

$$F_2 = \frac{\mu_o i_1 i_2}{2\pi a}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 4 \times 8}{2\pi \times 8 \times 10^{-2}} = 8 \times 10^{-5} \text{ N (arah ke kanan)}$$

Gaya total yang bekerja pada kawat b:

$F = F_2 - F_1$

$= 8 \times 10^{-5} - 4 \times 10^{-5} = 4 \times 10^{-5}$ N (arah ke kanan)

Latihan 5.4

1. Sebuah muatan 10 C bergerak dengan kecepatan 10 ms^{-1} sejajar dengan kawat berarus listrik 5A pada jarak 20 cm. Hitung gaya yang dialami oleh muatan!
2. Sebuah kawat horisontal yang panjang, membawa arus ke utara. Berapakah medan magnet total pada 20 cm arah barat kawat. Jika medan bumi ditempat itu menunjuk ke bawah, 30° di bawah horisontal, dan memiliki besar 5×10^{-5} T!
3. Tentukan medan magnet di tengah-tengah dua kawat lurus yang panjang dan berjarak 4 cm dinyatakan dalam arus I pada salah satunya. Jika lainnya membawa arus 15A. Anggap arus-arus ini mempunyai arah yang sama, dan (b) berlawanan arah!

Rangkuman

1. Arah medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik dapat ditentukan dengan kaidah tangan kanan. Arah ibu jari menggambarkan arah arus listrik (i), arah keempat jari hanya menunjukkan arah medan magnet.
2. Induksi magnetik yang ditimbulkan oleh kawat lurus panjang tak terhingga berarus listrik:

$$B = \frac{\mu_o\, i}{2\pi\, a}$$

3. Induksi magnetik di sekitar penghantar melingkar berarus listrik.
   - Di sumbu: $B = N\dfrac{\mu_o\, i}{2a}$
   - Di titik berjarak P dari sumbu kawat:

$$B = \frac{\mu_o\, i\, a \sin\alpha}{2r^2}$$

4. Induksi magnetik di sekitar selenoida:
   - Di ujung:

$$B = \frac{\mu_o\, i n}{2}$$

   - Di pusat:

$$B = \mu_o\, i\, n$$

5. Induksi magnetik pada sumbu toroida:

$$B = \mu_0 \, i \, n \quad \text{dengan} \quad n = \frac{N}{\ell}$$

6. Besar gaya lorentz:

$$F = B \; i \; \ell \sin \alpha$$
$$F = B \; q \; v \sin \alpha$$

7. Gaya magnetik pada dua kawat sejajar:

$$F = \frac{\mu_0 \, i_1 \, i_2}{2\pi a}$$

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Besar induksi magnetik pada suatu titik yang berjarak 10 cm dari kawat berarus listrik 2 A adalah . . . .
   a. 4×10^{-7} T
   b. 4×10^{-6} T
   c. 2×10^{-6} T
   d. $4\pi \times 10^{-6}$ T
   e. $2\pi \times 10^{-6}$ T
2. Kawat melingkar dengan jari-jari 10 cm, dialiri arus listrik 5A. Besar induksi magnetik di pusat lingkaran adalah . . . .
   a. $2\pi \times 10^{-4}$ T
   b. 10^{-4} T
   c. $5\pi \times 10^{-5}$ T
   d. 10^{-5} T
   e. $\pi \times 10^{-5}$ T
3. Kawat penghantar a dan b berjarak 8 cm, masing-masing berarus listrik searah 8 dan 16 ampere. Besar induksi magnet di tengah-tengah antara kedua kawat sejajar adalah . . . .
   a. 4×10^{-5} T
   b. 8×10^{-5} T
   c. 12×10^{-5} T
   d. 6×10^{-5} T
   e. 10^{-5} T

4. Besar gaya yang dialami seutas kawat lurus berarus listrik di dalam suatu medan magnet yang serba sama, tidak tergantung pada . . . .
   a. posisi kawat di dalam medan magnet
   b. panjang kawat
   c. hambatan kawat
   d. kuat arusnya
   e. kuat medan magnet
5. Lintasan sebuah elektron yang bergerak dalam suatu medan magnet dengan kecepatan sejajar arah medan magnet adalah . . . .
   a. lingkaran
   b. elips
   c. garis lurus
   d. parabola
   e. heliks
6. Kawat berarus listrik membujur arah timur barat. Jika kawat dialiri arus berarah ke barat maka arah induksi magnetik pada titik di sebelah utara kawat adalah ke . . . .
   a. timur
   b. barat
   c. selatan
   d. bawah
   e. atas
7. Arus i yang mengalir melalui penghantar sepanjang ℓ, dapat dianggap sebagai muatan yang bergerak dengan kecepatan v dalam waktu t. Hubungan besaran-besaran tersebut yang benar adalah . . . .
   a. $F = Bqv \sin \alpha$
   b. $F = qv \sin \alpha$
   c. $q = FBv \sin \alpha$
   d. $qv = i\ell$
   e. $qF = Bv \sin \alpha$
8. Gaya penghantar berarus pada kutub magnet merupakan gaya . . . .
   a. berat
   b. coulomb
   c. lorentz
   d. jarak pendek
   e. ampere

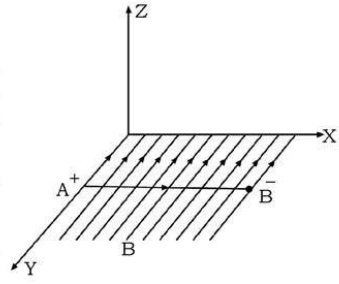
9. Suatu muatan positif 0,2 C bergerak dengan kecepatan 2 m/dt, dalam medan magnet yang besarnya 5 W/m^2. Arah kecepatan sejajar dengan arah medan magnet. Gaya yang dialami muatan tersebut adalah . . . .
   a. nol
   b. 0,80 newton
   c. 0,50 newton
   d. 2 newton
   e. 50 newton

10. Pada dua buah kawat sejajar yang masing-masing dialiri arus listrik yang sama besarnya, timbul gaya yang besarnya 2×10^{-7} newton. Jarak antara kawat 1 m maka besar arus dalam setiap kawat . . . .
    a. 0,125 ampere
    b. 0,250 ampere
    c. 1 ampere
    d. 2 ampere
    e. 2×10^{-7} ampere

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

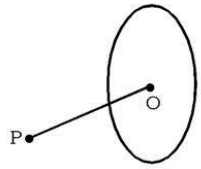
1. Dua buah kawat a dan b masing-masing mengalir arus 2 ampere dan 3 ampere. Jika kedua kawat itu sejajar dan berjarak 5 cm satu terhadap lainnya serta arah arus kedua kawat sama. Tentukan besar dan arah induksi magnetik pada titik yang berjarak 3 cm dari kawat a dan 4 cm dari kawat b.

2. Perhatikan gambar di samping! *B* adalah medan magnet dengan induksi sebesar 5×10^{-2} Wbm^{-2}. Pada penghantar AB yang panjangnya 20 cm mengalir arus listrik sebesar 4 Ampere. Tentukan arah dan besar gaya yang bekerja pada penghantar AB!



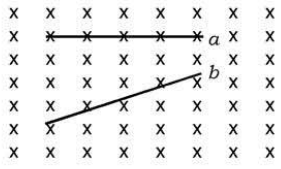
3. Dua penghantar a dan b yang sejajar berjarak 8 cm, masing-masing berarus listrik 2 A dan 4 A. Titik P terletak pada bidang yang melalui penghantar a dan b dan berjarak 2 cm dari b. Tentukan besar induksi magnetik di titik P jika ditentukan hal-hal berikut!
   a. P terletak di antara a dan b!
   b. P tidak berada di antara a dan b!

4. Gambar di samping melukiskan penghantar melingkar dengan jari-jari 12 cm dialiri arus listrik sebesar 10 A. Titik P berjarak 16 cm dari pusat lingkaran O. Tentukan besar induksi magnetik pada tempat-tempat berikut!

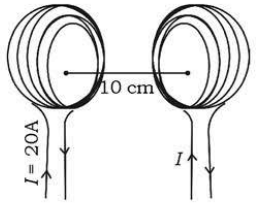


   a. Di titik O!
   b. Di titik P!

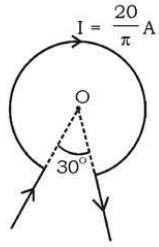
5. Gambar di samping melukiskan medan magnet homogen menuju tegak lurus bidang gambar. Penghantar *a* dan *b* sama panjangnya dan dialiri arus yang sama besarnya. Jelaskan mengapa gaya lorentz yang bekerja pada *a* dan *b* sama?



6. Dua buah kumparan kawat yang masing-masing terdiri dari 200 lilitan dipasang berhadapan pada jarak 10 cm (jari-jari kumparan 20 cm). Kumparan dialiri arus 20 A yang searah. Hitung induksi magnetik pada sumbu di tengah kedua kumparan tersebut! (keterangan: susunan kumparan di atas terkenal dengan nama kumparan Helmholtz).



7. Suatu kawat dilengkungkan seperti pada gambar. Hitung induksi magnetik di titik O. Jika jari-jari lingkaran 20 cm!



8. Proton ditembakkan dengan kecepatan 10^6 m s^{-1} pada arah sumbu *y*. Medan magnet sebesar 20×10^{-4} wb m^{-2} diarahkan pada sumbu *x*.
   a. Hitung besar dan arah yang dialami proton tersebut!
   b. Analog soal a tetap proton diganti elektron ($q_e = q_{\text{proton}} = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C)!
9. Berapakah jari-jari lintasan sebuah elektron ($q = 1{,}6\times10^{-19}$ C, $m = 9{,}1\times10^{-31}$ kg) yang ditembakkan tegak lurus medan magnet homogen dari 20×10^{4} wb m^{-2} dengan kecepatan 10^7 m s^{-1}?
10. Kawat bujur sangkar dengan sisi 20 cm dialiri arus listrik 20 A. Hitung induksi magnetik di pusat bujur sangkar tersebut!

Aplikasi:

"Ayo kembangkan rasa ingin tahu dan mencari informasi lebih jauh".

Pernahkan kalian mendengar fenomena Aurora Borealis. Ion-ion bermuatan mendekati bumi dari matahari ("angin surya") dan tertarik menuju kutub-kutub, kadang-kadang menyebabkan fenomena yang disebut "aurora Borealis atau "Sinar utara" di lintang utara. Mengapa menuju kutub-kutub? Untuk mengetahui mengapa bisa demikian dan menjawab pertanyaan mengapa menuju kutub-kutub. Carilah informasi ini dengan membaca buku referensi dan internet. Kemudian buatlah dalam bentuk artikel dan hasilnya kumpulkan pada guru.

Bab VI

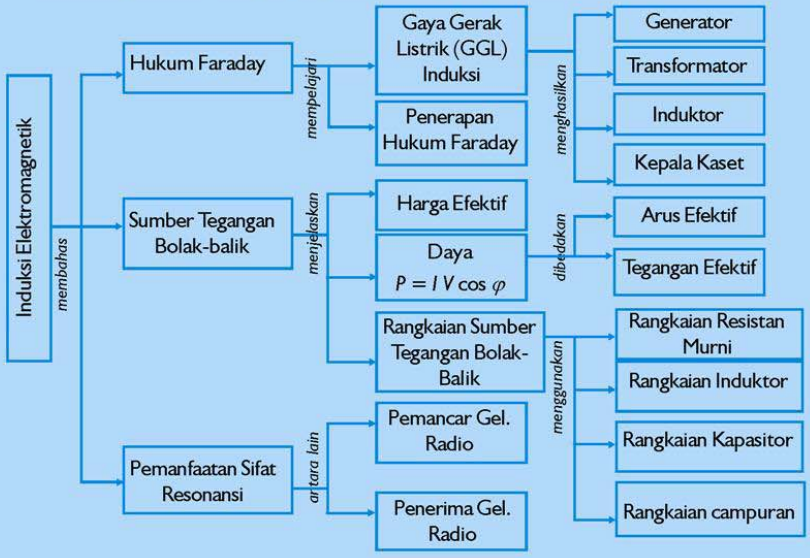
Induksi Elektromagnetik

Sumber gambar: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 6*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan konsep dan menerapkan induksi magnetik pada beberapa produk teknologi.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Gaya gerak listrik
2. Generator
3. Transformator
4. Induktor
5. Reaktansi
6. Induktansi
7. Kapasitor
8. Impedansi

Sumber:
Ensiklopedi Umum untuk Pelajar 6

Gambar. *Magnet pada Alat Berat*

Elektromagnetik dipakai dalam beraneka macam alat listrik modern. Elektromagnetik merupakan jantung motor listrik dan juga jantung alat-alat seperti telegraf, telepon dan bel listrik. Elektromagnetik yang besar sering dipergunakan untuk bongkar-muat bahan-bahan baja dan besi dalam bengkel kereta api, pabrik baja dan dok kapal. Magnet industri yang sangat kuat dapat mengangkat bahan-bahan yang sangat berat sekitar tiga metrik ton motor rongsokan.

A. Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi

Apabila fluks magnetik yang masuk pada sebuah kumparan penghantar mengalami perubahan maka akan timbul gaya gerak listrik (GGL) pada kumparan itu. Gaya gerak listrik yang timbul dinamakan gaya gerak listrik induksi (GGL induksi = ε (epsilon)). Sedangkan arus yang terjadi disebut arus induksi. Hal ini diselidiki oleh Michael Faraday (1791 – 1867) seorang sarjana Fisika dari Inggris. Untuk memahami terjadinya GGL induksi marilah kita lakukan percobaan sebagai berikut.

Percobaan

Tujuan percobaan:

Kalian mampu menjelaskan terjadinya GGL induksi pada *F*.

Konsep:

1. Magnet yang digerakkan di dekat kumparan, menyebabkan fluks magnet yang menembus kumparan berubah.
2. Perubahan fluks magnet menimbulkan GGL induksi.

Saran penyajian:

Mengamati simpangan jarum voltmeter yang tersambung dengan kumparan jika sebuah magnet batang digerakkan di dekatnya.

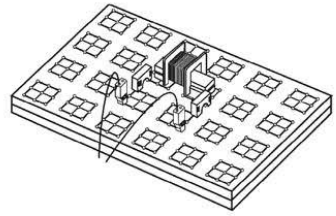
Alat dan bahan:

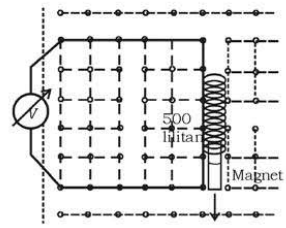
Nama alat dan bahan	Jumlah
Kumparan 1000 lilitan	1
Kumparan 500 lilitan	1
Batang Magnet Alnico	2
Papan Rangkaian	1
Jembatan Penghubung	2
Kabel Penghubung Merah	1
Kabel Penghubung Hitam	1
Meter Dasar	1

Sumber: *Panduan Percobaan Depdiknas 2000*

Persiapan percobaan:

1. Persiapkan peralatan/ komponen sesuai dengan daftar alat/bahan!
2. Buat rangkaian seperti gambar di samping!
   a. Kumparan 500 lilitan dipasang pada papan rangkaian
   b. Sebuah Meter Dasar 90 digunakan sebagai voltmeter dengan batas ukur 1 V DC
   c. Sebuah batang magnet diletakkan di dalam kumparan.
3. Hubungkan kumparan dengan voltmeter (gunakan kabel penghubung)!
4. Periksa kembali rangkaian!





Sumber: *Panduan Percobaan Depdiknas. 2000*

Langkah percobaan:

1. Gerakkan magnet keluar kumparan, selama geraknya amati penyimpangan jarum voltmeter! Catat hasil pengamatan ke dalam tabel di bawah!
2. Masukkan kembali magnet ke dalam kumparan seperti semula! Selama geraknya amati penyimpangan jarum voltmeter dan catat hasil pengamatanmu ke dalam tabel di bawah!
3. Lakukan langkah 1 dan 2 dengan gerakan yang lebih cepat, catat hasilnya ke dalam tabel!
4. Ganti kumparan 500 lilitan dengan kumparan 1000 lilitan, kemudian lakukan seperti langkah 1 sampai dengan 3 dan catat hasilnya ke dalam tabel!

Hasil pengamatan:

Dari kegiatan ini, masukkan hasil pengamatan pada tabel datai berikut.

Tabel hasil pengamatan

No.	Kumparan		Gerakan magnet				Penyimpangan voltmeter			
	500	1.000	keluar		masuk		ke kiri		ke kanan	
			lambat	cepat	lambat	cepat	kecil	besar	kecil	besar
1	x		x							
2				x						
3					x					
4						x				
5		x	x							
6				x						
7					x					
8						x				

1. Apa yang mempengaruhi besar simpangan jarum voltmeter?
2. Apa yang mempengaruhi arus induksi dalam kumparan?

Kesimpulan:

Jelaskan kesimpulan kalian!

1. Hukum Faraday

Jika kegiatan di atas kalian lakukan dengan saksama dapat disimpulkan bahwa perubahan fluks magnetik yang menembus kumparan menghasilkan GGL induksi.

Besarnya GGL induksi tergantung pada laju perubahan fluks dan juga banyaknya lilitan kumparan. Semakin besar laju perubahan fluks, semakin besar pula GGL induksi yang ditimbulkan. Semakin banyak jumlah lilitan yang digunakan makin besar pula GGL induksi yang ditimbulkan. Menurut Faraday, besarnya GGL induksi didapat persamaan:

Saintis

Michael Faraday (1791 - 1867)

Michael Faraday lahir di London, Inggris pada tahun 1791. Dia adalah salah satu ilmuwan terbesar abad XIX, dikenang khususnya karena penemuannya atas dinamo dan keterampilannya menjelaskan sains kepada orang awam. Sebagai penghormatan jasa-jasa Faraday, namanya dipakai sebagai satuan kapasitas listrik, yaitu *F*. Faraday meninggal tahun 1867 pada usia 75 tahun. .

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

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

dengan

ε = GGL induksi (volt)

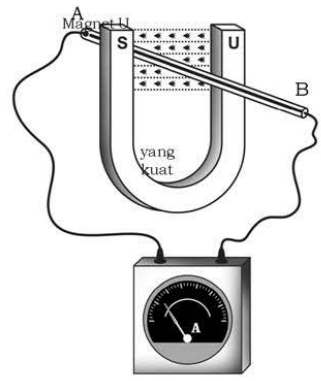
$\frac{d\Phi}{dt}$ = laju perubahan fluks (Wbs^{-1})

N = jumlah lilitan

Tanda negatif (–) dipakai untuk menunjukkan arah arus induksi, yang dapat ditentukan dengan hukum Lenz yang berbunyi: *"Arah arus induksi dalam suatu penghantar itu sedemikian sehingga menghasilkan medan magnet yang melawan perubahan garis gaya yang menimbulkannya."*

2. GGL Induksi yang Terjadi pada Penghantar yang Bergerak di Dalam Medan Magnet

Penghantar AB dirangkaikan dengan mikroamperemeter A. Kemudian digerakkan memotong tegak lurus medan magnet B. Apakah yang terjadi pada penghantar? Sudah dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya bahwa penghantar berarus listrik yang berada dalam medan magnet akan mendapat gaya, yaitu gaya lorentz. Di samping itu, jika suatu penghantar yang berada dalam medan magnet mendapat gaya F dari luar akan menghasilkan arus listrik. Atau dengan kata lain pada penghantar timbul beda potensial, yang merupakan GGL induksi.



Sumber: *Fisika Kertiyasa*

Gambar 6.1 *Gaya gerak listrik induksi (GGL imbas) pada penghantar yang bergerak dalam medan magnet*

Jika kawat bergeser ke bawah sejauh S (gambar 6.1), maka gaya F menghasilkan usaha sebesar $W = -F\,S$. Menurut hukum kekekalan energi, usaha ini akan berubah menjadi energi listrik $W = \varepsilon\, i\, t$. Sehingga diperoleh persamaan:

$$\varepsilon\, i\, t = -F\,S$$

$$\varepsilon = -\frac{F\,S}{i\,t}$$

$$= -\frac{B i \ell S}{i\,t}$$

$$= -B\,\ell\,\frac{S}{t}$$

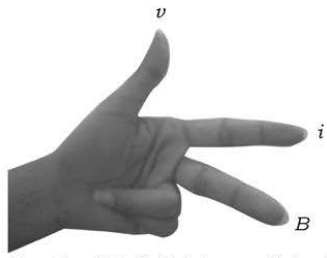
$$\varepsilon = -B\,\ell\,v$$

dengan

ε = GGL induksi (V)
B = medan magnet (Wbm^{-2})
ℓ = panjang penghantar (m)
v = kecepatan penghantar (ms^{-1})

Tanda negatif (–) sesuai dengan hukum Lenz yang arahnya dapat ditentukan dengan aturan tangan kiri sebagai berikut.
"Jika ibu jari menunjukkan arah gerak penghantar, jari tengah menunjukkan arah medan magnet maka arah arus induksi ditunjukkan oleh jari telunjuk".

Dengan kaidah ini maka arah arus induksi adalah dari A ke B. Jadi, potensial di ujung A lebih tinggi dari pada potensial di ujung B.



Gambar 6.2 *Kaidah tangan kiri untuk menunjukkan arah arus induksi*

Contoh Soal 6.1

1. Sebuah kumparan terdiri dari 1.000 lilitan terjadi perubahan fluks magnetik 4×10^{-2} weber dalam waktu 0,1 sekon. Berapakah GGL induksi yang ditimbulkan?

   Penyelesaian:

   Diketahui: N = 1000 lilitan
   $\Phi = 4 \times 10^{-2}$ weber
   t = 0,1 sekon

   Ditanya: ε = ...?

   Jawab:

   $$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{4\times10^{-2}}{0{,}1} = 4 \times 10^{-1}$$

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

   $$\varepsilon = 4 \times 10^{-1} \times 1000 = 400 \text{ volt}$$

2. Sebuah penghantar PQ panjangnya 40 cm digerakkan di dalam medan magnet homogen 8×10^{-2} tesla dengan kecepatan 5 ms^{-1}.

a. Berapa angka yang ditunjukkan pada voltmeter?
b. Tentukan arah arus induksi pada penghantar PQ!

Penyelesaian:

Diketahui:

$B = 8\times10^{-2}\ T$ Ditanya:
$\ell = 40\ cm = 0{,}4\ m$ $\varepsilon = \ldots ?$
$v = 5\ ms^{-1}$

Jawab:

$\varepsilon = B\ \ell\ v$
$= 8\times10^{-2}\times0{,}4\times5$
$= 1{,}6\times10^{-1}$ volt

Dengan menggunakan kaidah tangan kiri, arah arus induksi pada penghantar adalah dari ujung Q menuju P.

Latihan 6.1

1. Pada sebuah kumparan yang terdiri dari 500 lilitan dalam 1 menit terjadi perubahan fluks magnet dari 4×10^{-2} Wb menjadi 10^{-1} Wb. Hitung GGL induksi yang terjadi!
2. Sebuah penghantar panjang 20 cm, bergerak dengan kecepatan 10 ms^{-1} di dalam medan magnet 0,1 T. Jika arah kecepatan tegak lurus arah medan magnet, hitung GGL induksi yang terjadi!

B. Penerapan Hukum Faraday pada Produk Teknologi

Hampir seluruh energi listrik yang kita gunakan berasal dari pengubahan energi mekanik menjadi energi listrik melalui prinsip hukum Faraday, misalnya pada generator, transformator dan kepala kaset. Cara kerja alat-alat tersebut, berdasarkan induksi elektromagnetik. Apakah kalian sudah memahami tentang hal itu?

Sumber: *aster.its.unc.edu*

Gambar 6.3 *Generator*

1. Generator

Generator ialah suatu alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dengan prinsip induksi elektromagnetik. Ada dua macam generator, yaitu generator arus searah dan generator arus bolak-balik yang sering disebut alternator. Bagian-bagian penting dari generator yaitu:

a. Stator, yaitu bagian yang tetap atau diam, terdiri dari magnet yang kuat.
b. Rotor, yaitu bagian yang berputar, terdiri dari kumparan kawat dan cincin luncur.

a. Generator Arus Bolak-balik (Alternating Current (AC))

Jika pada suatu kedudukan penampang kumparan tegak lurus medan magnet, fluks magnet yang masuk ke dalam kumparan Φ_0. Kumparan berputar dengan kecepatan sudut ω (rad s^{-1}). Setelah t sekon ditempuh sudut ωt (rad) = α. Sehingga fluks yang masuk adalah:

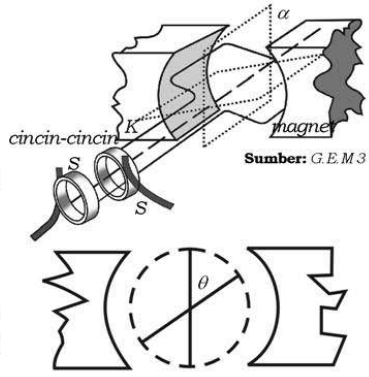
$$\Phi = \Phi_0 \cos \alpha$$
$$\Phi = \Phi_0 \cos \omega t$$
$$d\Phi = -\omega \Phi_0 \sin \omega t \, dt$$
$$\frac{d\Phi}{dt} = -\omega \Phi_0 \sin \omega t$$

Telah diketahui bahwa GGL induksi dirumuskan:

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

Jika dari kedua persamaan disubstitusikan akan diperoleh persamaan GGL induksi:

$$\varepsilon = N \omega \Phi_0 \sin \omega t$$



Sumber: G.E.M 3

Gambar 6.4 *Model generator arus bolak-balik (generator AC)*

Oleh karena Φ_0 = fluks magnet = BA maka akan diperoleh:

$$\varepsilon = N \omega BA \sin \omega t$$

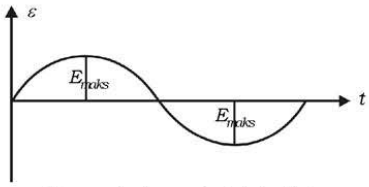
Nilai ε bervariasi tergantung ωt. Harga maksimum dicapai apabila sin ωt =1 sehingga

$$\varepsilon_{maks} = N \omega \; B A$$

Oleh karena itu dapat dituliskan

$$\varepsilon = \varepsilon_{maks} \sin \omega t$$

Apabila ε diplot dalam grafik sebagai fungsi waktu (gambar 6.4) diperoleh grafik sinusoida. Bentuk grafik seperti ini dapat dilihat daya bantuan osiloskop.



Gambar 6.5 *Grafik ε - t dari arus bolak-balik berupa sinusoida*

Sumber arus bolak-balik disimbolkan:

Grafik tegangan terhadap waktu yang berupa sinusoida dapat dilihat dengan menggunakan osiloskop.

b. *Membaca Tegangan dan Frekuensi Arus Listrik Bolak-balik dengan Osiloskop*

Untuk mengukur tegangan bolak-balik, pindahkan saklar pemilih AC/DC pada posisi AC. Misalkan kita mengukur tegangan yang keluar dari bagian sekunder transformator. Bentuk tegangan pada layar osiloskop seperti gambar 6.5.

Sumbu tegak menyatakan tegangan, sumbu mendatar menyatakan periode. Misalkan posisi pemilih tegangan berada pada 5 volt.cm^{-1} dan posisi *sweep time* pada 5 milisekon.cm^{-1}. Dari tayangan sinyal di samping dapat dibaca:

Tegangan maksimum:

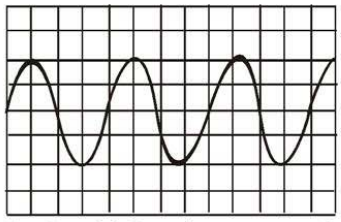
V_m = 2 × 5 volt/kotak
= 10 volt

Periode:

T = 4 × 5 milisekon/kotak
= 20×10^{-3} sekon
= 2×10^{-2} sekon = 0,04 sekon

Frekuensi:

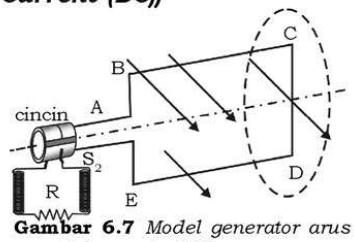
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0{,}02} = 50 \text{ Hz}$$



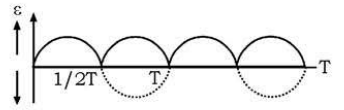
Gambar 6.6 *Bentuk tegangan pada layar ostiloskop*

c. *Generator Arus Searah (Direct Current (DC))*

Generator arus bolak-balik dapat diubah menjadi generator arus searah dengan cara mengubah bentuk cincinnya. Generator arus bolak-balik memiliki dua cincin luncur. Sedangkan pada generator arus searah menggunakan satu cincin pembalik, yang disebut komutator. Komutator terdiri dari sebuah cincin yang dibelah menjadi dua bagian yang sama, kemudian dilekatkan lagi dengan isolator.



Gambar 6.7 *Model generator arus searah (generator DC)*



Gambar 6.8 *Grafik GGL Generator DC*

Walaupun arus di dalam kumparan adalah arus bolak-balik, tetapi arus di luar kumparan searah. Sehingga besarnya arus maksimum dan nol berlangsung secara periodik. Di samping ini menunjukkan grafik GGL generator arus searah terhadap waktu.

Dalam praktiknya, tenaga yang digunakan untuk memutar kumparan berasal dari tenaga air, angin, nuklir, uap, dan lain-lainnya.

Aksi Fisika

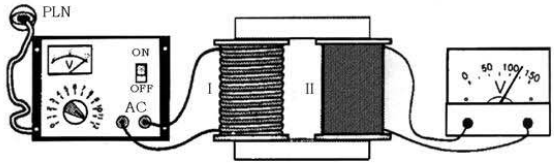
"Ayo kembangkan keingintahuan kalian!"

Perhatikan pada saat kalian melihat orang lain menggunakan alat-alat seperti blender, bor listrik, atau mesin jahit, jika alat mengalami kelebihan beban atau macet sehingga gerakan motor menjadi sangat lambat atau berhenti dan alat masih terpasang pada sumber daya, alat bisa terbakar dan rusak. Terangkan mengapa itu bisa terjadi?

2. Transformator

Sudah kita pelajari di kelas X tentang transformator, yaitu alat untuk menaikkan atau menurunkan tegangan listrik bolak-balik.

Prinsip kerja transformator adalah terjadinya GGL induksi karena perubahan fluks magnet.



Sumber: *Fisika Suwaido. B.A*

Gambar 6.9 *Transformator*

Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC akan terjadi perubahan fluks magnetik yang menimbulkan GGL induksi sebesar:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt}$$

Perubahan fluks magnetik pada kumparan primer mengakibatkan fluks magnetik yang menembus ke kumparan sekunder juga berubah-ubah. Perubahan fluks magnetik di kumparan sekunder ini juga akan menimbulkan GGL induksi, sebesar:

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt}$$

Dari persamaan diperoleh:

$$\frac{\varepsilon_1}{N_1} = \frac{\varepsilon_2}{N_2} \text{ atau } \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{N_1}{N_2},$$

dan sering ditulis dengan persamaan:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

dengan

V_1 = tegangan primer (tegangan masukan/input (V))
V_2 = tegangan sekunder (tegangan keluaran/output (V))
N_1 = jumlah lilitan primer
N_2 = jumlah lilitan sekunder

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan keingintahuan dan kecakapan sosial kalian!"

Daftarkan atau inventariskan peralatan yang menggunakan transformator motor yang kalian kenali dalam kehidupan sehari-hari. Kemudian analisis cara kerja alat-alat tersebut. Hasilnya diskusikan dengan hasil kerja teman kalian!

a. *Transformator Ideal*

Jika kumparan sekunder dihubungkan dengan penahan, misalnya pesawat TV atau radio dikatakan transformator dalam keadaan berbeban. Sehingga timbul arus sekunder I_2, dari arus primer I_1. Pada transformator ideal berlaku bahwa daya primer sama dengan daya sekunder. Atau transformator memiliki efisiensi 100%. Hal ini terjadi, jika kerugian tenaga yang berupa panas pada teras besi diabaikan. Pada transformator ideal berlaku persamaan:

$$P_{input} = P_{output}$$
$$V_1 I_1 = V_2 I_2$$
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

karena $\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$ maka diperoleh:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

dengan

I_1 = arus primer (A)
I_2 = arus sekunder (A)

b. *Efisiensi Transformator*

Kenyataannya dalam praktik kehidupan sehari-hari efisiensi transformator tidak akan mencapai 100%. Karena adanya kerugian tenaga yang berupa panas pada teras besi. Oleh sebab itu pada transformator dikenal adanya efisiensi transformator atau disebut daya guna trafo, yang dilambangkan η.

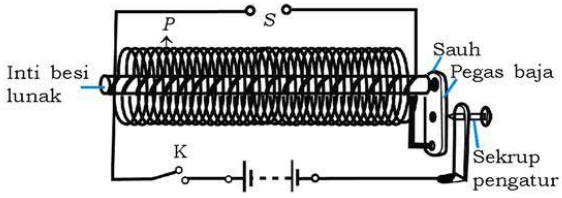
Pada transformator tidak ideal berlaku $P_{\text{input}} \neq P_{\text{output}}$. Daya sekunder selalu lebih kecil daripada daya primer. Daya guna atau efisiensi transformator, adalah perbandingan tenaga yang dihasilkan dengan tenaga yang masuk (W_{in}).

$$\eta = \frac{W_{out}}{W_{in}} \times 100\%$$
$$= \frac{V_2 I_2 t}{V_1 I_1 t} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{V_2 I_2}{V_1 I_1} \times 100\% \quad \text{atau} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

3. Induktor

Pemanfaatan lain dari GGL induksi adalah pada induktor yang juga disebut induktor Ruhmkoff.



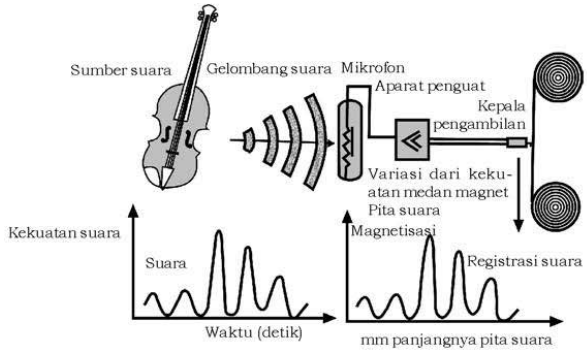
Sumber: *Zat dan Energi . Sumadji*

Gambar 6.10 *Induktor Ruhmkoff*

Jika saklar K ditutup maka kumparan P menjadi elektromagnet sehingga menarik palu, akibatnya arus terputus. Jika arus terputus, kumparan P bukan elektromagnet lagi dan palu kembali ke sekrup kontak. Sementara itu pada kumparan *P* terjadi perubahan arus yang menyebabkan perubahan fluks pada *S*, sehingga pada *S* terjadi GGL induksi yang arahnya bolak-balik dengan tegangan sangat besar. Alat ini berguna pada motor bensin sebagai pengatur percikan api pada busi.

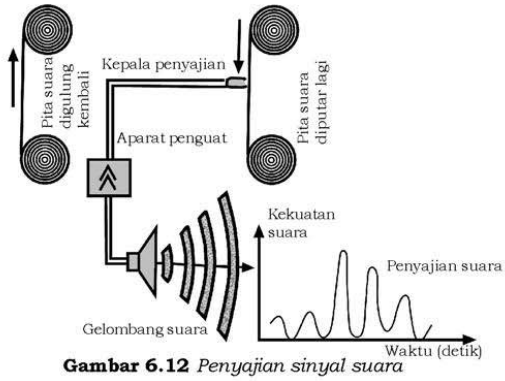
4. Kepala Kaset

Suara musik, teks pidato dan lain-lainnya dapat disimpan pada pita magnetik atau pita magnetofon dalam bentuk kaset. Pada dasarnya segala macam suara diubah oleh mikrofon menjadi denyut-denyut arus listrik. Denyut-denyut arus listrik yang sudah diperkuat dengan aparat penguat diteruskan ke kepala pengambilan. Denyut-denyut listrik yang tidak teratur ini membangkitkan induksi magnetik pada pita rekaman yang telah ditaburi dengan mikromagnetik (gambar 6.11). Mikromagnetik terbuat dari $Fe_2\ O_3$ atau $Fe_3\ O_4$ yang sangat halus (tebalnya 0,1 μ – 0,01 μ). Bahan ini dapat mempertahankan magnetasi yang telah diberikan sampai jangka waktu yang sangat lama.



Sumber: *Teknik di sekitar kita. Anwir Gramedia*

Gambar 6.11 *Pengambilan sinyal suara*

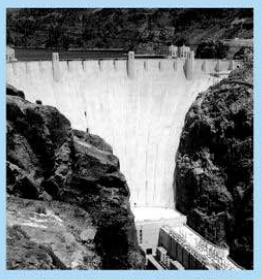


Gambar 6.12 *Penyajian sinyal suara*

Jika kita ingin mendengarkan kembali bunyi yang direkam tadi, maka variasi dari induksi magnetik yang tersimpan pada pita diubah kembali menjadi getaran-getaran suara (gambar 6.11).

"Ayo kembangkan wawasan lingkungan global/ semesta kalian!"

Dimensi Fisika



Sumber: *Oxford Ensiklopedi Pelajar*

Perhatikan gambar di samping!
Gambar di samping adalah bendungan atau waduk. Bendungan dibuat dimanfaatkan untuk irigasi pertanian, mencegah banjir dan juga digunakan untuk pembangkit listrik.
Jika di dekat tempat tinggal kalian ada bendungan atau waduk, kunjungilah dan lakukan observasi. Bagaimana bendungan tersebut dapat membangkitkan listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah kalian. Dari observasi dan kunjungan kalian, buatlah laporannya.

Contoh Soal 6.2

Sebuah trafo *step up* mengubah tegangan 25 volt menjadi 250 volt. Jika efisiensi trafo 80% dan kumparan sekundernya dihubungkan dengan lampu 250 V, 50 W. Hitung kuat arus primernya!

Penyelesaian:

Diketahui: $V_1 = 25$ V
$\eta = 80\%$
Lampu = 250 V, 50 W

Ditanya: $I_1 = ...?$

Jawab:

$$P_2 = I_2 V_2 = 50 \text{ W}$$

$$80\% = \frac{I_2 V_2}{I_1 V_1} \times 100\%$$

$$= \frac{P_2}{I_1 V_1} \times 100\%$$

$$80\% = \frac{50}{25 I_1} \times 100\%$$

$$I_1 = 2{,}5 \text{ A}$$

Latihan 6.2

1. Sebuah trafo *step down* dengan kumparan primer 1200 lilitan dihubungkan dengan tegangan 120 V, kuat arus 0,5 A. Jika daya guna trafo 80% dan tegangan outputnya 12 V. Hitung jumlah lilitan dan kuat arus sekundernya!
2. Pada layar monitor osiloskop yang dihubungkan dengan generator arus searah.

   Jika posisi pemilih tegangan pada 25 Volt cm^{-1} dan *sweep time* pada posisi 0,5 milisekon cm^{-1}. Hitung tegangan maksimum dan kecepatan sudut rotornya!

C. Harga Efektif

Tegangan dan kuat arus pada rangkaian tegangan bolak-balik berubah secara periodik. (Ingat grafik tegangan berupa sinusoida). Untuk keperluan praktis, diperlukan besaran listrik bolak-balik yang dianggap tetap yaitu *harga efektif*. Harga efektif kuat arus bolak-balik didefiniskan sebagai kuat arus bolak-balik yang dianggap setara dengan arus searah yang menghasilkan jumlah kalor yang sama ketika melalui suatu penghantar dalam waktu yang sama. Nilai efektif dihitung sebagai berikut.

Banyaknya kalor yang dihasilkan setiap sekon oleh kuat arus I pada hambatan R adalah $I^2 R$. Untuk kuat arus bolak-balik kuat arusnya = $I \sin \omega t$.

Maka: $I^2 R = (I \sin \omega t)^2 \ R$ atau $I^2 R = I^2 R (\sin \omega t)^2$

Rata-rata $I^2 R$ selama selang waktu satu periode adalah:

$$(I^2 R)_{\text{rata-rata}} = I^2 R (\sin \omega t)^2_{\text{rata-rata}}$$

Jika kuat arus efektif kita sebut I_{ef} maka:

$$I^2_{ef} R = I^2 R (\sin \omega t)^2_{\text{rata-rata}}$$

Padahal: $(\sin \omega t)^2 = \frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t)$ maka:

$$I^2_{ef} R = I^2 R \{\frac{1}{2} (1 - \cos 2\omega t)\}$$

Padahal cos $2\omega t$ rata-rata = 0 (nol) sehingga diperoleh:

$$I^2_{ef}\ R = \frac{1}{2} I^2\ R$$

$$I_{ef} = \frac{I}{\sqrt{2}} \text{ atau } I_{ef} = 0{,}707\ I$$

Dengan cara yang hampir sama dapat diturunkan nilai efektif untuk tegangan.

$$V_{ef} = \frac{V}{\sqrt{2}} \text{ atau } V_{ef} = 0{,}707\ V$$

dengan

I_{ef} = kuat arus efektif (A)
I = kuat arus maksimum (A)
V_{ef} = tegangan efektif (V)
V = tegangan maksimum (V)

Contoh Soal 6.3

1. Pada pengukuran tegangan PLN (Perusahaan Listrik Negara), jarum voltmeter menunjuk angka 220 volt. Berapakah tegangan maksimumnya?

   Penyelesaian:

   Angka yang ditunjuk pada alat ukur listrik arus bolak-balik adalah nilai efektifnya bukan nilai maksimumnya.

   $$V_{ef} = \frac{V_{maks}}{\sqrt{2}}$$
   $$V_{ef} = 220 \text{ volt}$$
   $$V_{maks} = 220\sqrt{2} \text{ volt}$$

2. Kuat arus maksimum suatu arus bolak-balik adalah 4 A. Jika diukur dengan amperemeter, berapakah besar kuat arus?

   Penyelesaian:

   Yang ditunjuk oleh amperemeter adalah kuat arus efektif.

   $$I_{ef} = \frac{I_{maks}}{\sqrt{2}}$$
   $$I_{ef} = \frac{4}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2} \text{ ampere}$$

Latihan 6.3

1. Kuat arus terbesar yang tergambar pada layar osiloskop adalah 6 A. Berapa angka tersebut jika diukur dengan amperemeter?
2. Harga efektif tegangan bolak-balik adalah 20 volt. Hitung tegangan maksimumnya!

Aksi Fisika

"Ayo Apresiasikan wawasan kebhinekaan kalian terhadap potensi kekayaan Indonesia!"

Indonesia memiliki perusahaan negara yang bergerak di bidang listrik yaitu Perusahaan Listrik Negara yang menyediakan listrik di seluruh Indonesia. Listrik dapat dibangkitkan dari tenaga air, uap/gas, diesel dan nuklir. Bagaimana dengan pembangkit listrik di daerah kalian? Setelah tahu pembangkit listrik di daerah kalian, bagaimana jalannya listrik tersebut hingga dapat sampai ke rumah-rumah. Buatlah dalam bentuk diagram atau bagan!

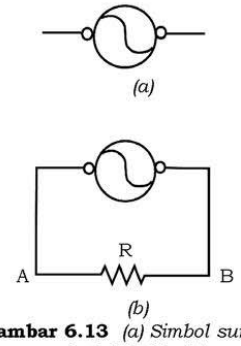
D. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Hambatan Murni

GGL induksi yang terjadi pada sebuah generator arus bolak-balik dinyatakan dengan persamaan $\varepsilon = \varepsilon_{maks} \sin \omega t$. Jadi, bersifat sinusoida. Ini merupakan ciri tegangan bolak-balik.

Gambar 6.13b menunjukkan simbol dan rangkaian arus bolak-balik dengan sebuah hambatan R.

Oleh karena GGL pada sumber tegangan bersifat sinusoida, maka beda tegangan antara ujung-ujung hambatan R juga sinusoida.

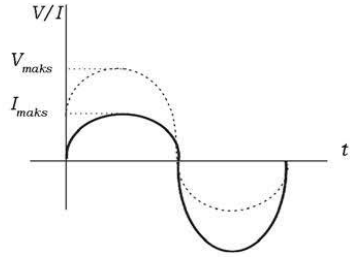
$$\overline{V}_{A-B} = V = V_{maks} \sin \omega t$$



Gambar 6.13 *(a) Simbol sumber tegangan bolak-balik, (b) Rangkaian hambatan murni dengan sumber tegangan*

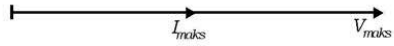
Berdasarkan hukum Ohm ($I = \frac{V}{R}$) diperoleh $I = \frac{V_{maks}}{R} \sin \omega t$

Grafik tegangan dan kuat arus terhadap waktu digambar seperti gambar 6.14.



Gambar 6.14 *Grafik V/I terhadap t*

Grafik tersebut dapat pula dilukiskan dengan diagram fasor sebagai berikut.



Dalam hal ini dikatakan kuat arus dan tegangan berfase sama (I dan V sefase).

Contoh Soal 6.4

1. Persamaan tegangan arus bolak-balik $V = 250 \sin 50t$. Berapakah tegangan maksimum dan kecepatan sudut putaran sumber tegangan?

   Penyelesaian:

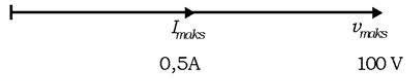
   Persamaan tegangan arus bolak-balik secara umum ditulis:

   $V = V_{maks} \sin \omega t$
   $V_{maks} = 250$ volt
   $\omega t = 50t$
   $\omega = 50$ rads^{-1}

2. Dari diagram fasor ini, hitung hambatan pada rangkaian yang dimaksud!

   Penyelesaian:

   $R = \frac{V}{I} = \frac{100}{0,5} = 200$ ohm



Latihan 6.4

1. Tulis persamaan sinusoida tegangan arus bolak-balik yang mempunyai kecepatan sudut 40 $rads^{-1}$ dan tegangan maksimum 120 volt!
2. Tulis persamaan sinusoida kuat arus bolak-balik yang mempunyai kuat arus efektif $10\sqrt{2}$ A dan frekuensi 20 Hz!

E. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Induktor

Kumparan atau induktor yang dirangkai dengan sumber tegangan searah tidak mempunyai hambatan (jika ada relatif kecil). Tetapi jika dirangkai dengan sumber tegangan AC, terjadi hambatan yang disebut hambatan induktif. Salah satu yang menentukan besar hambatan induktif adalah induktansi kumparan.

1. Induktansi

Suatu kumparan yang terdiri dari N lilitan, panjang ℓ dan luas penampang A mempunyai induktansi sebesar:

$$L = \frac{\mu_0 A N^2}{\ell}$$

dengan

L = induktansi Henry (H)
μ_0 = permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7} WbA^{-1}m^{-1}$)
A = luas penampang kumparan/induktor (m^2)
ℓ = panjang kumparan/induktor (m)

Definisi

Induktansi penghantar dinyatakan 1 henry apabila terjadi perubahan kuat arus sebesar 1 ampere setiap sekon yang menyebabkan GGL induksi 1 volt.

Atau dapat ditulis dengan persamaan:

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$$

dengan

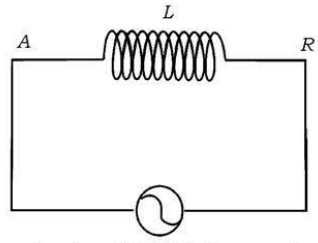
ε = GGL induksi (volt)

$\frac{dI}{dt}$ = perubahan kuat arus tiap sekon (As^{-1})

Tanda negatif sesuai dengan hukum Lenz.

2. Rangkaian Induktor Murni

Suatu kumparan dengan induktansi L, dipasang pada sumber tegangan bolak-balik yang kecepatan sudut putarnya ω.



Gambar 6.15 *Induktor murni*

Pada kumparan terjadi GGL induksi diri:

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}$$

Menurut hukum Kirchoff II:

$$\Sigma I\ R + \Sigma\varepsilon = 0$$

Karena tidak ada R maka $\Sigma I\ R = 0$, sehingga diperoleh:

$$-L\frac{dI}{dt} + V_{maks} \sin \omega t = 0$$

$$dI = \frac{V_{maks} \sin \omega t}{L}\, dt$$

$$I = \frac{V_{maks}}{\omega L} \sin (\omega t - \frac{\pi}{2})$$

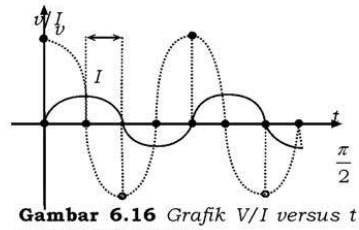
Diperoleh:

$$I = I_{maks} \sin (\omega t - \frac{\pi}{2})$$

Kedua persamaan

$I = I_{maks} \sin (\omega t - \frac{\pi}{2})$ dan

$V = V_{maks} \sin \omega t$, Terlihat bahwa antara I dan V mempunyai beda fase $\frac{\pi}{2}$,



Gambar 6.16 *Grafik V/I versus t pada induktor murni*

Gambar 6.17 *Diagram fasor V dan I pada induktor murni*

Tegangan (V) mendahului arus (I). ditunjukkan seperti gambar 6.16.

Gambar 6.17 menampilkan hubungan V dan I dengan diagram fasor.

3. Reaktansi Induktif

Reaktansi induktif adalah hambatan yang terjadi pada induktor jika dirangkai dengan sumber tegangan bolak-balik.
Dari penjabaran di atas telah diperoleh bahwa:

$$I = \frac{V_{maks}}{\omega L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$I = I_{maks} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Hal ini berarti: $I_{maks} = \frac{V_{maks}}{\omega L}$

Besaran ωL disebut reaktansi induktif dari sebuah induktor ditulis dengan simbol X_L.
Jadi: $X_L = \omega L$ atau $X_L = 2\pi f L$

dengan

X_L = reaktansi induktif (ohm/Ω)
ω = frekuensi anguler ($rads^{-1}$)
L = induktansi (H)
f = frekuensi (Hz)

Contoh Soal 6.5

Sebuah induktor 0,5 H, dirangkai dengan sumber tegangan bolak-balik yang kecepatan sudutnya 200 rad s^{-1}, dan mempunyai tegangan maksimum 150 V. Hitung kuat arus yang mengalir pada rangkaian!

Penyelesaian:

Diketahui: L = 0,5 H $\quad V_{maks}$ = 150 volt
ω = 200 rad s^{-1}

Ditanya: I = ...?

Jawab:

$X_L = \omega L$
$= 200 \times 0{,}5 = 100$ ohm

$$V_{ef} = \frac{V_{maks}}{\sqrt{2}} = \frac{150}{\sqrt{2}} = 75\sqrt{2} \text{ V}$$

$$I = \frac{V_{ef}}{X_L} = \frac{75\sqrt{2}}{100} = 0{,}75\sqrt{2} \text{ A}$$

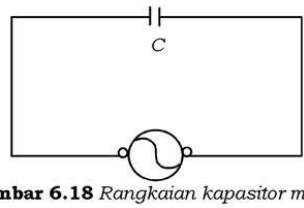
Latihan 6.5

Sumber tegangan bolak-balik yang dihubungkan dengan induktor 0,8 H mempunyai persamaan $\varepsilon = 120 \sin (30t - \frac{\pi}{2})$. Hitunglah:

a. tegangan maksimum sumber tegangan,
b. kecepatan sudut sumber tegangan,
c. reaktansi induktif pada induktor,
d. kuat arus maksimum pada induktor,
e. tegangan efektif sumber tegangan,
f. kuat arus efektif pada induktor,
g. gambar diagram fasor V dan I!

F. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Kapasitor

Arus listrik searah tidak dapat mengalir pada kapasitor. Arus listrik bolak-balik dapat mengalir pada kapasitor walaupun mengalami hambatan. Hambatan yang terjadi pada kapasitor yang dirangkai pada sumber tegangan bolak-balik dinamakan hambatan kapasitif, diberi simbol X_C.



Gambar 6.18 *Rangkaian kapasitor murni*

1. Rangkaian Kapasitor Murni

Kapasitor dengan kapasitas C dipasang pada sumber tegangan bolak-balik dengan kecepatan sudut ω rads^{-1}. Dari rumus pada kapasitor:

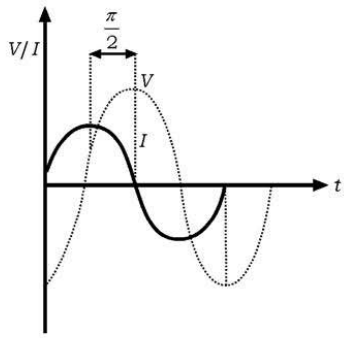
$$q = C\,V$$
$$q = C\,V_{maks} \sin \omega t$$
$$dq = \omega\, C\, V_{maks} \cos \omega t\, dt$$
$$\frac{dq}{dt} = \omega\, C\, V_{maks} \cos \omega t$$

$$I = \frac{V_{maks}}{X_C} \sin(\omega t + 90°)$$

$$I = \frac{V_{maks}}{X_C} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$I = I_{maks} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Tegangan dan kuat arus mempunyai beda fase $\frac{\pi}{2}$. Kuat arus (I) mendahului tegangan (V).



Gambar 6.19 *Grafik V/I versus t pada kapasitor murni*

2. Reaktansi Kapasitif

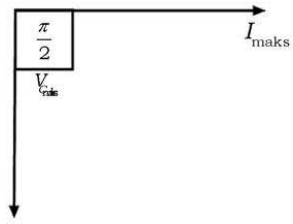
Dari penjabaran di atas diperoleh bahwa:

$$I = \frac{V_{maks}}{\frac{1}{\omega C}} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$I = I_{maks} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Hal ini berarti:

$$I_{maks} = \frac{V_{maks}}{\frac{1}{\omega C}} \quad \text{atau} \quad I_{maks} = \frac{V_{maks}}{X_C}$$



Gambar 6.20 *Diagram fasor pada kapasitor murni*

dengan

X_C = reaktansi kapasitif (ohm/Ω), dimana $X_c = \frac{1}{\omega . C}$
ω = kecepatan sudut sumber tegangan ($rads^{-1}$)
C = kapasitas kapasitor (F)

Contoh Soal 6.6

1. Sebuah kapasitor dengan kapasitas 8μF dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik yang kecepatan sudutnya 200 $rads^{-1}$. Tentukan reaktansi kapasitifnya!

   Penyelesaian:

   Diketahui: $\omega = 200\ rads^{-1}$
   $C = 8\ \mu F = 8 \times 10^{-6}$ F
   Ditanya: X_C = ...?

Jawab:

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

$$= \frac{1}{200 \times 8 \times 10^{-6}} = 625 \text{ ohm}$$

2. Pada rangkaian arus bolak-balik di mana terpasang kapasitor 0,2 μF mempunyai persamaan kuat arus $I = 0{,}4 \sin (50t \frac{\pi}{2})$

Hitung tegangan maksimumnya!

Penyelesaian:

Diketahui: $C = 0{,}2\ \mu F$

$I = 0{,}4 \sin (50 + \frac{\pi}{2})$

Ditanya: $V_{maks} = ...?$

Jawab:

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

$$= \frac{1}{50 \times 0{,}2 \times 10^{-6}} = 10^5 \text{ ohm}$$

$$= 100 \text{ kiloohm}$$

$$V_{maks} = I_{maks}\ X_C$$
$$= 0{,}4 \times 10^5 = 4 \times 10^4 \text{ volt}$$

Latihan 6.6

Sebuah sumber tegangan AC yang dirangkai dengan sebuah kapasitor 1μF, mempunyai persamaan GGL induksi $\varepsilon = 150 \sin (50t - \frac{\pi}{2})$

Hitung:

a. tegangan maksimumnya,
b. tegangan efektifnya,
c. kecepatan sudutnya,
d. hambatan kapasitif yang terjadi,
e. kuat arus maksimumnya,
f. kuat arus efektifnya!

G. Rangkaian Sumber Tegangan Bolak-balik dengan Resistor, Induktor, dan Kapasitor yang Disusun Seri

Dengan menggabungkan diagram kuat arus dan tegangan pada:

a. Hambatan resistif, di mana kuat arus sefase dengan tegangan.
b. Hambatan induktif, di mana kuat arus tertinggal $\frac{\pi}{2}$ terhadap tegangan.
c. Hambatan kapasitif, di mana kuat arus mendahului $\frac{\pi}{2}$ terhadap tegangan.

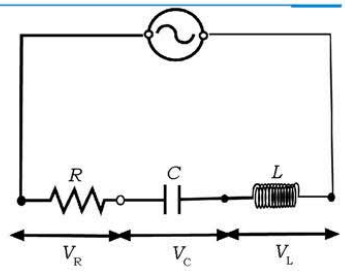
Diperoleh diagram fasor tegangan seperti gambar di samping.

Dari gambar tersebut dapat diperoleh:

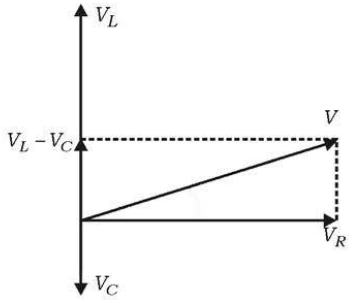
$$\overline{V} = \overline{V}_R + \overline{V}_L + \overline{V}_C$$

Nilainya:

$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$$



Gambar 6.21 *Rangkaian R, L, C dengan sumber tegangan bolak-balik*



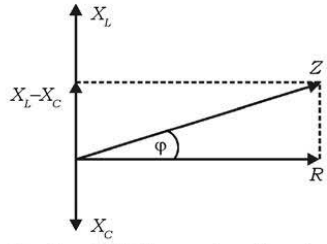
Gambar 6.22 *Diagram fasor tegangan pada rangkaian R, L, dan C*

1. Impedansi

Total hambatan yang terjadi pada rangkaian arus bolak-balik dinamakan impedansi, diberi simbol Z. Hampir sesuai dengan diagram fasor tegangan, maka diagram fasor hambatan dapat digambar seperti di samping.

Dari gambar di samping diperoleh nilai impedansi sebesar:

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$$



Gambar 6.23 *Diagram fasor impedansi*

dengan

Z = impedansi (ohm)
R = hambatan resistif (ohm)
X_L = hambatan induktif (ohm)
X_C = hambatan kapasitif (ohm)

2. Frekuensi Resonansi

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Sudut φ merupakan beda fase antara tegangan dan kuat arus pada rangkaian bolak-balik. Sifat rangkaian ditentukan oleh hal-hal berikut:

a. Apabila $X_L > X_C$ maka tan φ positif, berarti tegangan mendahului kuat arus, dikatakan rangkaian bersifat induktif.
b. Apabila $X_L < X_C$ maka tan φ negatif, berarti tegangan mengikuti kuat arus, dikatakan rangkaian bersifat kapasitif.
c. Apabila $X_L = X_C$ maka tan φ = *nol*, $Z = R$, pada rangkaian hanya ada hambatan ohm, dikatakan terjadi resonansi seri. Besar frekuensi resonansinya dapat dihitung sebagai berikut:

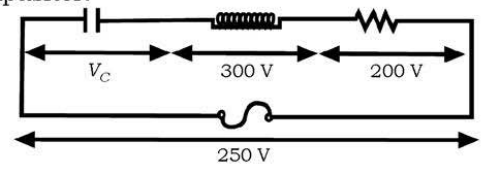
$$X_L = X_C$$
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$
$$\omega^2 = \frac{1}{L C}$$
$$2\pi f = \sqrt{\frac{1}{L C}} \quad \text{atau} \quad f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{L C}}$$

Jadi, pada saat terjadi resonansi seri berlaku:

a. Nilai impedansi minimum
b. Kuat arus maksimum

Contoh Soal 6.7

1. Pada rangkaian seperti pada gambar, tentukan tegangan pada kapasitor!



Penyelesaian:

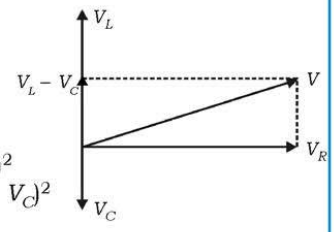
Rangkaian tersebut dapat digambarkan dengan diagram fasor seperti gambar sehingga akan diperoleh hubungan berikut.

$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$

diketahui: $V = 250$ V
$V_R = 200$ V
$V_L = 300$ V

Ditanya: $V_C = \ldots . ?$

Jawab: $V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$
$250^2 = 200^2 + (300 - V_C)^2$
$V_C = 150$ V



2. Hitunglah frekuensi resonansi pada rangkaian induktor 0,1 H dan kapasitor 0,1 μF yang dipasang pada sumber arus bolak-balik!

Penyelesaian:

Diketahui: $L = 0{,}1$ H
$C = 0{,}1\ \mu\text{F} = 10^{-7}$ F

Ditanya: $f = \ldots ?$

Jawab:

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

$$= \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{0{,}1 \times 10^{-7}}}$$

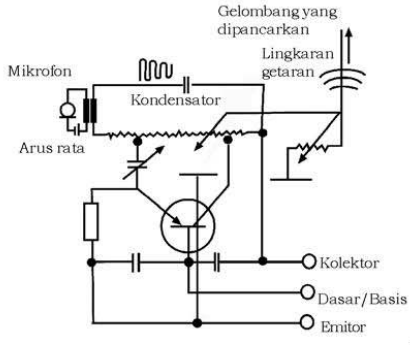
$$f = \frac{5000}{\pi}\ \text{Hz}$$

Latihan 6.7

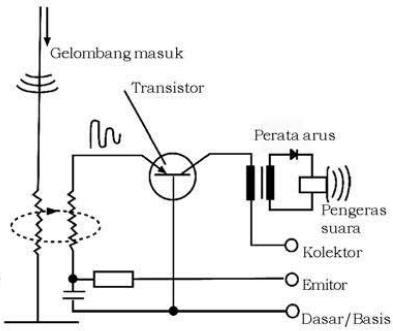
1. Sebuah hambatan sebesar 300 Ω disusun seri dengan induktor 0,5 H, kemudian dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik yang kecepatan sudutnya 2000 rads^{-1}. Hitunglah impedansinya!
2. Hambatan 1 kΩ, induktor 9 H dan kapasitor 9 μF disusun seri dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik. Ternyata menghasilkan resonansi seri.
   a. Hitung impedansinya!
   b. Hitung frekuensi resonansinya!
   c. Hitung kecepatan sudut sumber tegangan!

H. Pemanfaatan Sifat Resonansi

Rangkaian resonansi banyak digunakan pada pemancar dan penerima gelombang radio dan juga peralatan elektronik yang lain. Di bawah ini digambarkan secara sederhana rangkaian resonansi pemancar dan penerima gelombang radio.



Gambar 6.24 *Pemancar gelombang radio*



Gambar 6.25 *Pesawat penerima gelombang radio*

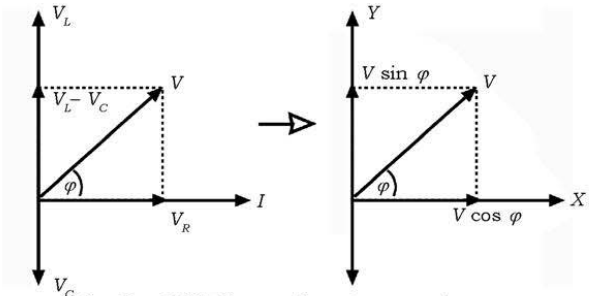
Dari osilator akan dipancarkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi yang memenuhi persamaan berikut. (gambar 6.24)

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

Di luar rangkaian, gelombang elektromagnetik menjalar, menyebar di udara. Untuk menangkap gelombang elektromagetik kembali digunakan suatu metode resonansi yang bagannya seperti gambar 6.25.

I. Daya

Kita tinjau kembali diagram fasor tegangan dan kuat arus pada rangkaian *R*, *L*, *C*, seperti pada gambar 6.26 berikut.



Gambar 6.26 *Diagram fasor tegangan dan arus*

Pada materi pokok arus searah sudah kita pahami bahwa daya listrik $P = I^2R = I\,V$. Daya pada arus bolak-balik dapat kita hitung dengan menggunakan diagram fasor. Daya sama dengan hasil kali kuat arus dengan tegangan yang sefase dengan kuat arus. Tegangan yang sefase dengan kuat arus = $V \cos \varphi$.

Jadi:

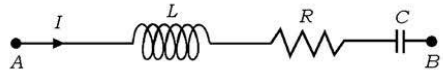
$$P = V I \cos \varphi$$

dengan

P = daya rata-rata (W)
V = tegangan efektif (V)
I = kuat arus efektif (A)
cos φ = faktor daya
φ = beda fase antara kuat arus dan tegangan

Contoh Soal 6.8

Dalam suatu rangkaian seperti gambar di bawah ini:
Diukur dengan voltmeter, tegangan pada V_L = 15 V pada V_R = 8 V dan pada V_C = 9 V. Jika pada rangkaian mengalir arus 0,5 A.



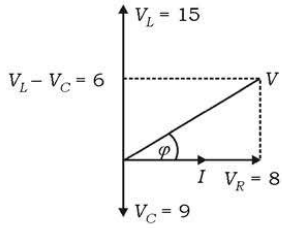
Hitung:
a. tegangan total antara A – B,
b. faktor daya pada rangkaian,
c. daya yang terjadi pada rangkaian!

Penyelesaian:

Diketahui: V_L = 15 V
V_R = 8 V
V_C = 9 V
I = 0,5 A

Ditanya: a) V = ...?
b) cos φ = ...?
c) P = ...?

Jawab:
Dilukis diagram fasornya sebagai berikut.



a. Tegangan total:

$$V = \sqrt{(V_L - V_C)^2 + V_R{}^2}$$
$$= \sqrt{(15-9)^2 + 8^2}$$
$$= 10 \text{ V}$$

b. Faktor daya:

$$\cos \varphi = \frac{V_R}{V} = \frac{8}{10} = 0{,}8$$

c. Daya:

$$P = V\, I \cos \varphi$$
$$= 10 \times 0{,}5 \times 0{,}8$$
$$= 4 \text{ V}$$

Latihan 6.8

Sumber tegangan bolak-balik dengan frekuensi sudut 50 rad s^{-1} dihubungkan dengan induktor 0,6 H dan kapasitor $0{,}5 \times 10^{-3}$ F secara seri. Jika tegangan maksimum $100\sqrt{2}$ V. Hitung:

a. impedansinya,
b. faktor dayanya,
c. daya pada rangkaian!

Rangkuman

1. Besarnya GGL induksi dirumuskan: $\varepsilon = N\dfrac{d\Phi}{dt}$.
2. Besarnya GGL induksi pada penghantar yang bergerak dalam medan magnet: $\varepsilon = -B\,\ell\,v$
3. GGL induksi pada generator arus bolak-balik:
$$\varepsilon = N\,\omega\,\Phi_0 \sin\omega t$$
4. GGL induksi pada transformator: $\varepsilon = -N_1\dfrac{d\Phi}{d\Phi}$
5. Persamaan transformator ideal: $\dfrac{N_1}{N_2} = \dfrac{V_1}{V_2} = \dfrac{I_2}{I_1}$
6. Efisiensi transformator: $\eta = \dfrac{V_2\,I_2}{V_1\,I_1}\times 100\% = \dfrac{P_2}{P_1}\times 100\%$
7. Harga efektif arus: $I_{ef} = \dfrac{I}{\sqrt{2}}$ atau $I_{ef} = 0{,}707\ I$
8. Harga efektif tegangan: $V_{ef} = \dfrac{V}{\sqrt{2}}$ atau $V_{ef} = 0{,}707\ V$
9. Induktansi sebuah induktor atau penghantar:
$$L = \frac{\mu_0\ A\,N_2}{\ell}$$
10. GGL induktansi diri: $\varepsilon = -L\dfrac{dI}{dt}$
11. Reaktansi induktif sebuah induktor
$$X_L = \omega\,L \text{ atau } X_L = 2\pi f\,L$$
12. Impedansi: $Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2$
13. Frekuensi resonansi: $f = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{1}{LC}}$
14. Frekuensi osilator yang dipancarkan oleh gelombang elektromagnetik: $f = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{1}{L\,C}}$
15. Daya rata-rata: $P = I\,V\cos\varphi$

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Sepotong kawat panjangnya 2 m bergerak dengan kecepatan v = 12 ms^{-1} tegak lurus suatu medan magnetik. Selisih potensial listrik yang timbul antara ujung kawat adalah ε = 1,8 volt. Besar induksi magnetik adalah . . . .
   a. 0,075 W/m^2
   b. 0,380 W/m^2
   c. 0,750 W/m^2
   d. 7,5 W/m^2
   e. 13 W/m^2
2. Pernyataan arah arus induksi selalu sedemikian hingga medan magnetnya melawan yang menimbulkannya merupakan hukum . . . .
   a. Ampere
   b. Biot Savart
   c. Joule
   d. Lenz
   e. Savart
3. Transformator digunakan untuk . . . .
   a. menaikkan tegangan
   b. menurunkan tegangan
   c. menstabilkan tegangan
   d. menaikkan dan menurunkan tegangan
   e. menaikkan dan menurunkan tegangan bolak balik
4. Jumlah lilitan primer sebuah transformator 10.000 diberi tegangan 110 volt. Potensial sekunder 165 V, maka jumlah lilitan sekundernya . . . .
   a. 165.000
   b. 110.000
   c. 20.000
   d. 15.000
   e. 6.000
5. Kondensator 2 μF dihubungkan seri pada hambatan 1000 ohm, dipasang pada tegangan bolak-balik yang frekuensinya 500 $rads^{-1}$. Impedansinya . . . Ω.
   a. 1410
   b. 2410
   c. 1013
   d. 2810
   e. 141

6. Jika n kapasitor masing-masing C farad, dipasang seri pada tegangan bolak-balik dengan frekuensi sudutnya ω rad s^{-1}, maka reaktansi kapasitifnya . . . .

   a. $\frac{n}{\omega C}$ ohm

   b. $\frac{\omega C}{C}$ ohm

   c. $n \omega C$ ohm

   d. ωC ohm

   e. $\frac{C \omega}{n}$ ohm

7. Delapan buah kapasitor masing-masing 0,4 μF disusun seri dan dipasang pada tegangan bolak-balik dengan frekuensi sudut 2.500 rad s^{-1}. Hambatan kapasitifnya adalah . . . ohm.

   a. 4
   b. 6
   c. 8
   d. 10
   e. 12

8. Dalam rangkaian RLC seri yang dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik akan terjadi resonansi bila . . . .

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

   b. $\omega L = \omega C$

   c. $Z = 0$

   d. $P^2 = (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2$

   e. $X_L = \frac{1}{\omega C}$

9. Jika sebuah induktor dipasang pada sumber arus bolak-balik maka . . . .

   a. kuat arus dan tegangan sefase

   b. kuat arus mendahului tegangan $\frac{1}{2}\pi$

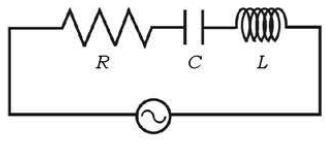
   c. kuat arus tertinggal $\frac{1}{2}\pi$ terhadap tegangan

   d. kuat arus mendahului π terhadap tegangan

   e. kuat arus tertinggal π terhadap tegangan

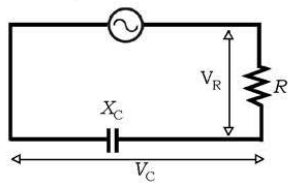
10. Bila pada rangkaian arus bolak-balik dipasang sebuah kumparan induktif, maka . . . .
    a. I dan V sefase
    b. I mendahului V dengan beda fase $\frac{\pi}{2}$
    c. I mengikuti V dengan beda fase $\frac{\pi}{2}$
    d. I mendahului V dengan beda fase π
    e. I mengikuti V dengan beda fase π

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Sepotong kawat panjang 60 cm bergerak dengan kecepatan 5 ms^{-1} dengan arah tegak lurus pada arah panjangnya di dalam sebuah medan magnet homogen yang induksi magnetiknya 0,5 Wb m^2. Apabila kawat memotong tegak lurus garis gaya magnet, hitung GGL induksi yang terjadi!
2. Sebuah trafo *step up* dengan efisiensi 80% digunakan untuk mengubah tegangan 80 volt menjadi 240 V. Jika tegangan sekunder dihubungkan dengan lampu 60 watt 240 volt, berapakah kuat arus dalam kumparan primer dan perbandingan jumlah lilitan primer dan sekundernya?
3. Sebuah kumparan yang panjangnya 10 cm luas penampangnya 20 cm^2 mempunyai 1000 lilitan. Fluks magnetik yang menembus penampang kumparan tersebut selalu berubah sebesar 0,05 weber dalam waktu 1 sekon. Hitung GGL induksi yang dapat dihasilkan oleh ujung-ujung lilitan kawat pada kumparan tersebut!
4. Suatu rangkaian yang terdiri dari hambatan 120 ohm, hambatan induktif 80 ohm dan hambatan kapasitif 30 ohm disusun seri dengan sumber arus bolak-balik bertegangan 260 volt. Hitunglah daya sesungguhnya!
5. 

Perhatikan gambar di samping!
Tentukan impedansinya jika R = 0,8 kΩ, C = 0,2 μF, dan L = 0,55 H dipasang pada tegangan 2.000 $rads^{-1}$!

6. Suatu rangkaian seri *RC* mempunyai 4 A dengan $R = 50\ \Omega$ dan $X_C = 240\ \Omega$.



   a. Hitung V_R, V_C, ϕ, dan Zl
   b. Gambarkan diagram V_R, V_C, V terhadap waktu.

7. Suatu arus bolak-balik memberikan tegangan 220 watt. Tegangan ini diukur dengan voltmeter AC. Hitung harga maksimum tegangan AC ini!
8. Suatu rangkaian resonansi seri mempunyai induktor 0,2 mH, kapasitor dan hambatan 10 Ω yang dihubungkan pada sumber AC 200 V, 500 Hz. Hitung reaktansi kapasitif, reaktansi induktif, impedansi, sudut fase, kuat arus dan tegangan pada masing-masing elemen!
9. Suatu kumparan 50 H dalam suatu filter sumber arus bekerja pada frekuensi 60 Hz.

   Hitung: a. Reaktansi induktif!
   b. Arus yang mengalir pada kumparan jika diberi tegangan 100 volt!
   c. Arus efektif, arus rata-rata, dan arus maksimal!
10. Suatu hambatan 6.000 Ω dan kapasitor dipasang seri pada frekuensi sumber AC 120 Hz. Jika tegangan hambatan 60 V dan tegangan pada kapasitor 120 V.

    Hitung: a. Tegangan sumber!
    b. Arus pada hambatan!
    c. Reaktansi kapasitif!
    d. Kapasitas kapasitor!

Evaluasi Semester Gasal

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Sebuah gelombang merambat dengan persamaan:
   $y = 20 \sin 20\pi \cos 5t$
   y dalam meter sedangkan Amplitudo dalam sentimeter. Pernyataan yang benar adalah . . . .
   a. gelombang stasioner pada ujung bebas
   b. besar amplitudo gelombang di 20 cm
   c. besarnya jarak tempuh gelombang adalah 20 meter
   d. panjang gelombangnya 20 meter
   e. besar waktu yang dibutuhkan untuk merambat adalah 2,5 sekon

2. Sebuah gelombang yang mempunyai panjang gelombang 0,40 m berjalan menyusuri kawat yang panjangnya 5 meter dan massa total kawat 20 kg maka frekuensi gelombang ini jika tegangan total kawat 1600 N adalah . . . (Hz)
   a. 20
   b. 30
   c. 40
   d. 50
   e. 60

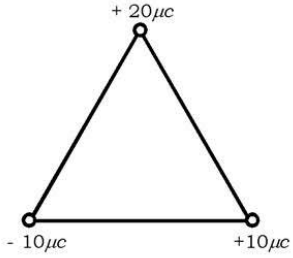
3. Dua gelombang cahaya digunakan dalam percobaan Young (interferensi celah ganda). Jika panjang gelombang yang satu dalam 1000 mm maka panjang gelombang lainnya supaya garis terang kedua yang satu bertepatan dengan garis terang kelima dari yang lainnya adalah . . . .
   a. 400 mm
   b. 2500 mm
   c. 500 mm
   d. 620 mm
   e. 750 mm

4. Sebuah cahaya yang tidak terpolarisasi jatuh pada permukaan cairan yang indeks biasnya $\frac{1}{3}\sqrt{3}$ sehingga cahaya terpolarisasi linear. Besar sudut polarisasinya sebesar . . . .
   a. 53°
   b. 60°
   c. 45°
   d. 37°
   e. 30°

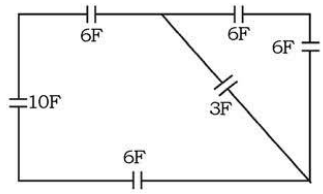
5. Pipa organa terbuka, nada atas ketiga dihasilkan panjang gelombang sebesar A dan pada pipa organa tertutup pada nada atas keempat dihasilkan panjang gelombang B. Jika kedua pipa mempunyai panjang yang sama maka A/B . . . .
   a. 8 : 9
   b. 9 : 8
   c. 6 : 5
   d. 5 : 6
   e. 3 : 4

6. Sebuah mesin memiliki taraf intensifas sebesar 50 dB. Maka jumlah mesin yang dibutuhkan untuk mendapatkan taraf intensitas 100 dB . . . .
   a. 10
   b. 100
   c. 1.000
   d. 10.000
   e. 100.000

7. Resultan gaya yang bekerja pada mutan + 20 μc adalah . . . .
   a. $\frac{3}{4} \times 10^3$N
   b. $\frac{4}{3} \times 10^3$N
   c. 4000 N
   d. 2000 N
   e. nol

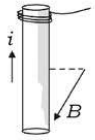


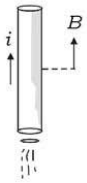
8. Kapasitas kapasitor pengganti pada rangkaian adalah . . . .
   a. 12 F
   b. 5,7 F
   c. 5 F
   d. 6 F
   e. 32 F

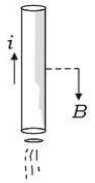


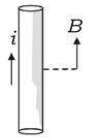
9. Sebuah kapasitor keping sejajar dengan luas keping 25 cm^2, jarak antarkeping 4,425 mm. Jika kapasitor tersebut diberi tegangan 1000 volt maka besarnya energi kapasitor tersebut adalah . . . .
   a. $7{,}5\times10^{-5}$ joule
   b. $7{,}5\times10^{-6}$ joule
   c. $2{,}5\times10^{-5}$ joule
   d. $2{,}5\times10^{-6}$ joule
   e. 5×10^{-6} joule

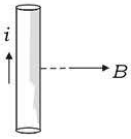
10. Arah induksi magnetik yang benar ditunjukkan oleh gambar . . . .

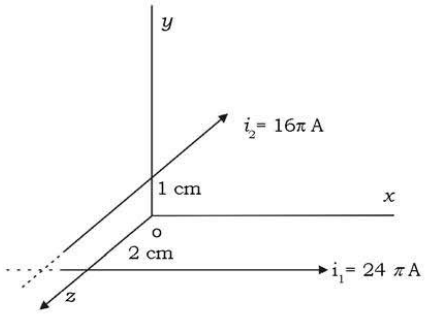
a.


b.


c.


d.


e.


11.


Dua buah kawat konduktor masing-masing dialiri arus 24 π ampere dan 16 π ampere kawat pertama berada pada bidang *xoz* sejajar dengan sumbu *x*, jarak kawat dengan sumbu *x* = 2 cm. Kawat kedua berada pada bidang *yoz*, sejajar dengan sumbu *z* dan berjarak 1 cm dari sumbu *z*. Maka besar induksi magnetik di titik o . . . .

a. 6 μ_o Tesla
b. 8 μ_o Tesla
c. 10 μ_o Tesla
d. 14 μ_o Tesla
e. 0

12. Proton ditembakkan tegak lurus medan magnet homogen 8 : 1 Tesla dengan kecepatan 10^6 ms^{-1} maka jari-jari lintasan proton adalah . . . .
    a. 0,104 cm
    b. 0,0104 cm
    c. 1,04 cm
    d. 10,4 cm
    e. 104 cm
13. GGL yang timbul pada suatu penghantar dari 10 cm yang bergerak dengan kecepatan 20 ms^{-1} pada suatu medan homogen 10^{-2} T adalah . . . .
    a. 200 V
    b. 20 V
    c. 2 V
    d. 0,2 V
    e. 0,02 V
14. Suatu transformator *step up* mempunyai 100 lilitan pada kumparan primer dan 2000 pada kumparan sekunder. Arus pada kumparan sekunder 0,5 A dan tegangan kumparan primer 220 V. Maka arus pada kumparan sekunder bila efisiensi transformator 80% adalah . . . .
    a. 12,5 A
    b. 15 A
    c. 17,5 A
    d. 20 A
    e. 25 A
15. Banyak lilitan dari suatu kumparan yang induktansi dirinya 0,001 πH, diameter kumparan 14 cm dan diameter kawat 0,2 mm lilitan kawat satu berimpit dengan kawat yang lainnya adalah . . . .
    a. 100 lilitan
    b. 50 lilitan
    c. 32 lilitan
    d. 1200 lilitan
    e. 500 lilitan

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

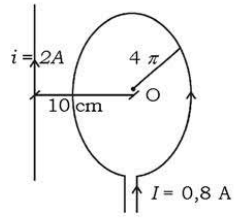
1. Gelombang stasioner berjalan dengan persamaan
   $y = 10$ (cm) sin 50 π cos 20 π
   y dalam meter
   a. Bergerak ke ujung bebas atau tetapkah gelombang tersebut?
   b. Berapakah amplitudo, panjang gelombang, periode dan frekuensi gelombang setelah berjalan selama 2 sekon dan menempuh jarak 100 meter?

2. Untuk menentukan panjang gelombang sinar monokromatik digunakan percobaan Young yang datanya sebagai berikut.

   Jarak antara dua celah = 0,2 mm, jarak celah ke layar sama dengan 100 cm dan jarak antara garis terang ke dua dengan garis terang ketiga adalah 0,5 mm. Berapa panjang gelombang monokromatik tersebut?

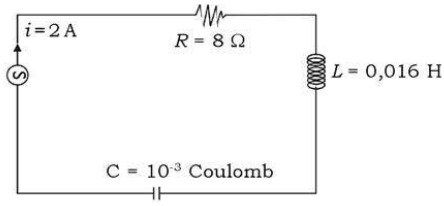
3. Mobil polisi mendekati terminal dengan kecepatan tetap 36 km/jam sambil bergerak, mobil membunyikan sirine dengan frekuensi 400 Hz. Seorang pengamat berdiri di stasiun kecepatan bunyi di udara 340 m s^{-1}. Hitunglah frekuensi sirine yang didengar pengamat:
   a. sebelum mobil lewat,
   b. sesudah mobil lewat!

4. Perhatikan gambar!



   Berapakah induksi magnetik di titik O?

5.



   Pada rangkaian di atas, hitung:
   a. tegangan pada tiap-tiap elemen,
   b. impendensi rangkaian,
   c. fase rangkaian,
   d. tegangan rangkaian!

Bab VII

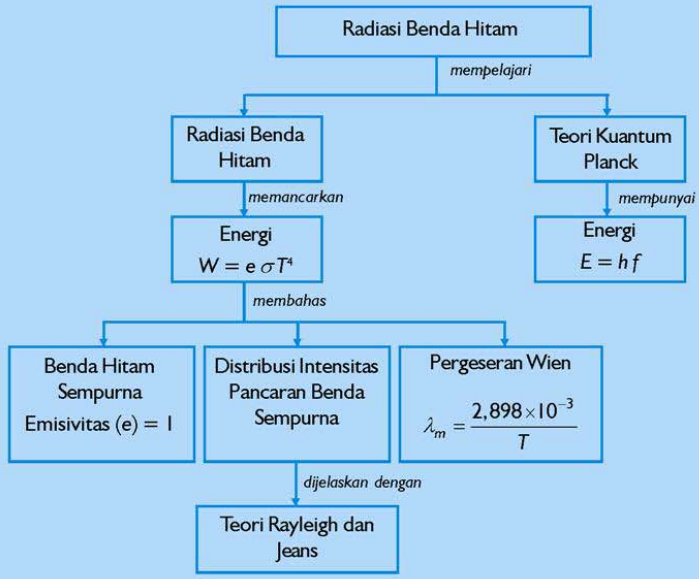
Radiasi Benda Hitam

Sumber gambar: *Jendela Iptek*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menjelaskan konsep gejala kuantum yang mencakup hakikat serta penerapannya.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Emisivitas
2. Kuantum

Sumber:
Jendela Iptek

Gambar. *Pancaran Cahaya dari dalam Rumah*

Pada gambar di atas, lampu yang dinyalakan di dalam rumah menyebabkan kaca memancarkan cahaya, sedangkan dinding tidak memancarkan cahaya. Mengapa demikian? Karena dinding menyerap sebagian besar energi cahaya yang menimpanya dan kaca lebih banyak memantulkan energi cahaya daripada menyerapnya. Untuk mengetahui fenomema ini, mari kita ikuti penjelasan dalam bab berikut!

A. Pancaran Benda Hitam

Sudah kita pelajari di kelas satu bahwa permukaan suatu benda pada suhu mutlak T, setiap satuan waktu memancarkan energi:

$$W = e\,\sigma\,T^4$$

dengan

W = energi yang dipancarkan permukaan benda tiap satuan waktu, tiap satuan luas permukaan (Wm^{-2})

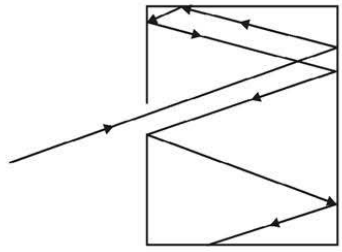
e = [illegible] ($0 \leq e \leq 1$)

σ = tetapan Stefan Boltzmann ($5{,}67\times10^{-6}$ $Wm^{-2}K^{-4}$)

T = suhu mutlak (K)

1. Benda Hitam Sempurna

Nilai e (emisivitas) bergantung pada sifat permukaan benda. Benda hitam sempurna adalah benda dengan harga e = 1. Benda semacam ini merupakan pemancar kalor yang paling baik, sekaligus merupakan penyerap kalor yang paling baik. Keadaan hitam sempurna didapat pada sebuah lubang kecil pada suatu selubung yang rapat.

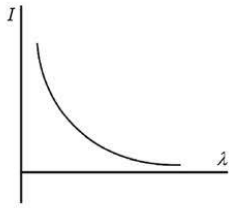


Gambar 7.1 *Benda hitam sempurna, menyerupai sebuah lubang pada suatu selubung yang rapat*

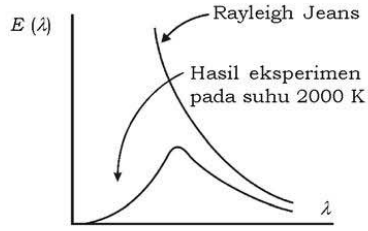
Seberkas sinar yang masuk pada lubang hanya mempunyai kesempatan yang sangat kecil untuk keluar lagi. Hal ini disebabkan karena di dalam selubung, setiap terjadi pemantulan sinar oleh dinding selubung terjadi penyerapan sinar oleh dinding selubung. Dengan demikian proses yang terjadi pada benda hitam sempurna dapat digantikan dengan kumpulan gelombang elektromagnetik dan berbagai panjang gelombang yang ada dalam suatu selubung rapat.

2. Distribusi Intensitas Pancaran Benda Hitam Sempurna

Dengan menggunakan teori ekuipartisi energi, Rayleigh dan Jeans secara teoritis menjelaskan hubungan antara intensitas radiasi benda hitam dengan panjang gelombang. Hasilnya diperoleh grafik seperti gambar 7.2.



Gambar 7.2 *Grafik hubungan antara intensitas radiasi benda hitam dengan panjang gelombang*



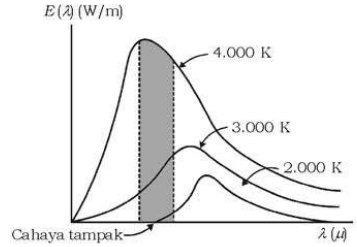
Gambar 7.3 *Intensitas radiasi dalam selang frekuensi yang kecil E(λ) sebagai fungsi panjang gelombang*

Hubungan intensitas radiasi dengan panjang gelombang menurut Reyleigh dan Jeans adalah sebagai berikut. Berdasarkan grafik dapat diketahui bahwa panjang gelombang panjang memiliki intensitas pancaran/radiasi yang kecil dan untuk panjang gelombang pendek memiliki intensitas radiasi besar. Tetapi hanya pada panjang gelombang tertentu saja apa yang dikemukakan Rayleigh dan Jeans sesuai dengan eksperimen. Untuk panjang gelombang pendek teori Rayleigh dan Jeans sangat tidak sesuai dengan hasil eksperimen. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa intensitas pancaran sangat kecil pada panjang gelombang pendek maupun pada panjang gelombang panjang. Hal itu dapat dibaca pada grafik gambar 7.3.

3. Hukum Pergeseran Wien

Pada gambar di samping untuk suhu yang lebih tinggi, intensitas pancaran maksimum bergeser ke arah panjang gelombang pendek. Hal ini dinyatakan dengan hukum pergeseran Wien dengan rumus:

$$\lambda_m = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{T}$$



Gambar 7.4 *Intensitas radiasi E(λ) sebagai fungsi panjang gelombang pada suhu 2000 K, 3000 K, dan 4000 K*

dengan
λ_m = panjang gelombang pada intensitas maksimum (m)
T = suhu mutlak (K)

Intensitas radiasi maksimum bergeser ke arah panjang gelombang pendek apabila suhu benda naik.

Contoh Soal 7.1

1. Sebuah bola dengan jari-jari 7 cm, berpijar pada suhu 2727°C. Jika emisivitasnya = 0,5, hitunglah energi total yang dipancarkan setiap jamnya (dalam joule)!

   Penyelesaian:

   Diketahui: $r = 7$ cm
   $T = 2727°$ C
   $e = 0{,}5$

   Ditanya: $W = ...?$

   Jawab:

   Luas permukaan A:
   $4\pi r^2 = 4 \times 3{,}14\ (7 \times 10^{-2})^2$
   $= 6{,}1544 \times 10^{-2}\ m^2$

   Suhu benda: $T = 2727 + 273 = 3000$ K
   Lama: $t = 60 \times 60 = 3600$ detik
   Energi total yang dipancarkan dalam 1 jam = W
   $W = e\,\sigma\,T\,t\,A$
   $W = 0{,}5 \times 5{,}67 \times 10^{-6} \times 3000 \times 3600 \times 6{,}1544 \times 10^{-2}$
   $W = 1.884$ joule

2. Intensitas pancaran maksimum, sebuah benda pijar terletak pada sinar kuning dengan panjang gelombang 6000 Å. Hitung suhu benda!

   Penyelesaian:

   Diketahui: $\lambda = 6000$ Å
   $= 6 \times 10^{-7}$ m

   Ditanya: $T = ...?$

   Jawab:

   $$T = \frac{2{,}898 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-7}} = 4830\ K$$

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan kecakapan personal kalian!"

Pernahkah kalian merasakan berpakaian warna hitam lebih panas daripada berpakaian warna putih di saat siang hari panas matahari menyengat, mengapa demikian? Apakah peristiwa tersebut merupakan peristiwa radiasi benda hitam? Berikan argumentasi kalian!

Latihan 7.1

1. Sebuah bola hitam sempurna mempunyai suhu 727°C. Hitung energi tiap satuan luas tiap sekonnya, jika garis tengah bola 21 cm!
2. Berapa suhu permukaan matahari, jika intensitas pancaran maksimum terletak pada sinar dengan panjang gelombang 5000 Å!
3. Sebuah lubang kecil dalam suatu perapian dianggap benda hitam, luasnya 1 cm^2 dan suhu dalam perapian 2727°C. Berapakah kalori energi yang diradiasikan ke luar lubang tiap sekon?
4. Suatu permukaan logam dengan luas 10 m3 meradiasikan energi 4×104 Joule/menit. Suatu permukaan logam tersebut 1727 K. Hitung energi radiasi tiap sekon dari permukaan logam ini jika logam dianggap benda hitam sempurna!

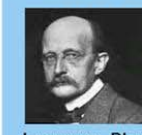
B. Teori Kuantum Planck

Hasil analisis Rayleigh dan Jeans ternyata tidak sesuai dengan hasil eksperimen. Spektrum intensitas yang diramalkan justru naik terus dengan kenaikan frekuensi, sebanding dengan kuadrat frekuensi. Dan tidak meramal-kan adanya intensitas mak-simum pancaran. **Max Planck**, fisikawan Jerman berusaha mencari jawaban dari teka-teki ini.

Menurut analisis Planck, bahwa atom-atom logam seperti pada benda hitam, berperilaku sebagai osilator gelombang elektromagnetik. Setiap osilator, seperti atom logam yang bergetar tidak memancarkan energi secara kontinyu (bersambung terus menerus). Tetapi berupa paket-paket energi (kuantum) yang besarnya $h\,f$ (h suatu konstanta). Dengan ketentuan

Saintis

Max Karl Planck (1858 - 1947)



Planck bernama lengkap Max Karl Ernst Ludwig Planck, adalah ahli Fisika teoritis Jerman yang berhasil menemukan teori kuantum Planck dianggap memberikan revolusi baru dalam pemahaman tentang Fisika teoritis. Menurut teori Planck, api merah memancarkan energi yang kurang (lebih dingin) dari pada api biru, karena caha merah memiliki frekuensi yang lebih rendah dari pada cahaya biru. Pada 1918, Karl Max Planck menerima Nobel bidang Fisika untuk teori kuantumnya.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

tersebut, analisis itu menghasilkan distribusi intensitas yang sesuai dengan hasil pengamatan. Dari hasil pengamatan pada tahun 1901 **Planck** mengemukakan hipotesis: *Energi gelombang elektromagnetik dipancarkan atau diserap oleh suatu bahan sebagai satuan-satuan diskret, yang disebut foton yang besarnya hf.*
Ditulis dengan persamaan:

$$E = hf$$

dengan
E = energi tiap foton (J)
h = tetapan Planck ($6{,}63 \times 10^{-34}$ Js)
f = frekuensi gelombang elektromagnetik (Hz)

Contoh Soal 7.2

Hitung energi foton cahaya merah yang frekuensinya 3×10^{14} Hz!

Penyelesaian:

$E = hf$
$= 6{,}63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{14} = 1{,}989 \times 10^{-19}$ J

Latihan 7.2

1. Hitung energi foton sinar X yang mempunyai panjang gelombang 2 Å!
2. Kalau kita berpanas-panas di matahari, dalam 1 sekon menerima energi foton sebesar $3{,}978 \times 10^{-15}$ J. Jika dianggap panjang gelombang rata-rata sinar matahari 5000 Å, hitung kecepatan foton yang datang!
3. Pada suatu pemanasan, suhu benda hitam berubah dari 1000 K ke 3000 K.
   a. Berapakah perbandingan energi pancarnya?
   b. Berapa (selisih) panjang gelombang yang bersesuaian dengan energi pancaran maksimum?
4. Pada suatu benda hitam dipanaskan, panjang gelombang yang sesuai dengan energi pancaran maksimum berubah dari 0,6 ke 0,4 m. Berapa kali lipat energi pancaran (energi radiasinya yang terakhir dan yang mula-mula)?

Rangkuman

1. Besar energi yang dipancarkan permukaan benda tiap satuan waktu, tiap satuan luas permukaan adalah:
$$W = e\,\tau\,T^4$$
2. Emisivitas yang dimiliki oleh benda hitam sempurna adalah:
$$e = 1$$
3. Hukum pergeseran Wien: $\lambda_m = \dfrac{2{,}898 \times 10^{-3}}{T}$
4. Hipotesis Planck: $E = h\,f$

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Benda pijar pada suatu suhu memancarkan energi A watt s^{-1}. Jika suhu menjadi 3 kali (semua dalam satuan kelvin) tenaga pancar tiap sekon dalam watt s^{-1} adalah . . . .
   a. 3 A
   b. 6 A
   c. 9 A
   d. 81 A
   e. 18 A
2. Jumlah energi yang dipancarkan dalam bentuk radiasi tiap sekon oleh benda hitam pada 600 K dibandingkan dengan 300 K adalah . . . .
   a. 2 kali
   b. 4 kali
   c. 8 kali
   d. 16 kali
   e. 32 kali
3. Sekeping logam yang emisivitasnya 0,05 luas permukaan 2 cm^2, berpijar dan memancarkan tenaga selama 5 sekon. Energi yang dipancarkan jika suhunya 727°C adalah . . . .
   a. 0,28 J
   b. 28 J
   c. 2800 J
   d. 28000 J
   e. 280000 J
4. Suatu benda pijar yang memancarkan energi maksimum pada sinar kuning (λ = 6000 Å). Jika tetapan Wien 2,9 × 10^{-3}, suhu benda pijar . . . .
   a. 483° C
   b. 483 K
   c. 4833 K
   d. 1000 K
   e. 600 K

5. Menurut hukum Wien, makin tinggi suhu benda pijar . . . .
   a. panjang gelombang yang membawa tenaga terbanyak menjadi makin pendek
   b. makin banyak tenaga yang dipancarkan
   c. frekuensi gelombang yang membawa tenaga pancar menjadi makin kecil
   d. makin sedikit tenaga yang dipancarkan
   e. a, b, c, d salah
6. Hukum Wien mengatakan, makin tinggi suhu benda pijar, panjang gelombang cahaya yang membawa tenaga terbanyak bergeser dari . . . .
   a. cahaya kuning ke merah
   b. cahaya jingga ke biru
   c. cahaya biru ke jingga
   d. cahaya ungu ke merah
   e. matahari ke bumi
7. Jika kalor yang dipancarkan oleh suatu benda 16 kali semula maka suhu benda . . . .
   a. 2 kali semula
   b. 3 kali semula
   c. 4 kali semula
   d. 8 kali semula
   e. 16 kali semula
8. Jumlah kalor yang dipancarkan oleh suatu benda yang suhunya lebih dari 10 K, berbanding lurus . . . .
   a. suhunya
   b. massa bendanya
   c. pangkat dua kali suhunya
   d. suhu kelilingnya
   e. luas permukaan benda
9. Tenaga yang dibawa foton cahaya tergantung pada . . . .
   a. frekuensinya
   b. intensitasnya
   c. amplitudonya
   d. kecepatannya
   e. mediumnya
10. Jumlah minimum foton-foton (panjang gelombang 555 nanometer) per sekon yang diperlukan untuk menimbulkan rangsangan visual pada mata normal (dengan kondisi optimal) adalah 100. Jika besaran ini dinyatakan dalam watt, maka besarnya . . . . ($c = 3 \times 10^8$ ms^{-1} ; $h = 6{,}6 \times 10^{-34}$ Js).
    a. 5550 watt
    b. 100 watt
    c. 55,5 watt
    d. $2{,}3 \times 10^{-34}$ watt
    e. $3{,}58 \times 10^{-17}$ watt

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

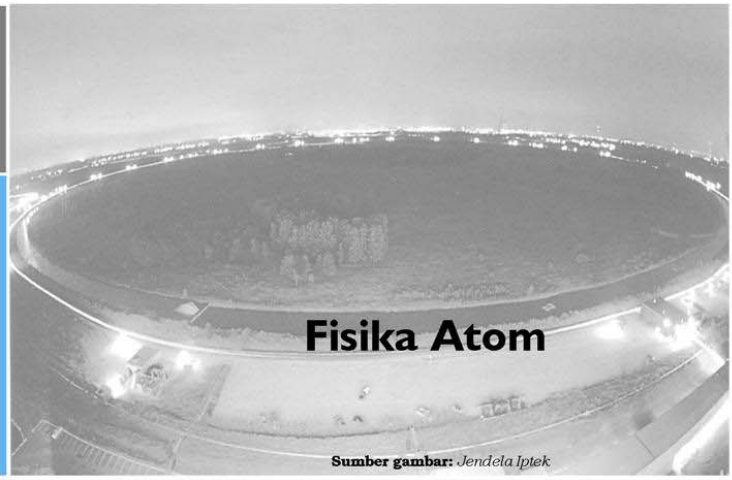
1. Hitung panjang gelombang elektromagnetik yang dipancarkan benda pijar pada suhu 2000 K, jika intensitas radiasinya mencapai harga maksimum!
2. Mengapa energi foton cahaya ungu lebih besar dari merah?
3. Berapakah energi yang dipancarkan benda hitam sempurna bersuhu 400 K selama 2 jam?
4. Tuliskan sekali lagi dengan kata-kata kalian sendiri hukum pergeseran Wien!
5. Hitung energi proton sinar-x yang mempunyai panjang gelombang 4 Å!
6. Sebutkan 4 hal yang menentukan jumlah energi yang diserap suatu benda!
7. Berapakah panjang gelombang benda yang bersuhu 27°C?
8. Pendapat Rayleigh dan Jeans, sering disindir dengan hipotesis malapetaka sinar ultraungu. Jelaskan maksudnya!
9. Berapakah energi foton yang berfrekuensi 10^{14} Hz?
10. Sebuah benda memancarkan frekuensi 50 MHz. Apabila daya yang dikeluarkan sebesar 200 kW. Berapakah jumlah foton per sekon yang dihasilkan benda tersebut?

Aplikasi

"Ayo kembangkan daya saing dan semangat inovatif/ kreatif kalian!"

1. Benda hitam sempurna lebih banyak menyerap panas dibanding benda yang kurang hitam. Buatlah alat sederhana yang menunjukkan hal tersebut!
2. Lubang kecil pada dinding tabung bertindak sebagai benda hitam sempurna. Jika lubang dipanaskan akan memancarkan energi dengan intensitas tinggi. Buatlah lubang kecil pada tabung besi, kemudian dipanaskan! Betulkah hal itu terjadi?
3. Dengan pemahaman bahwa benda hitam menyerap panas lebih banyak, buatlah alat yang bermanfaat bagi keluarga kalian yang ada hubungannya dengan penyerapan panas! (misalnya pemanas air dengan sinar matahari)

Bab VIII



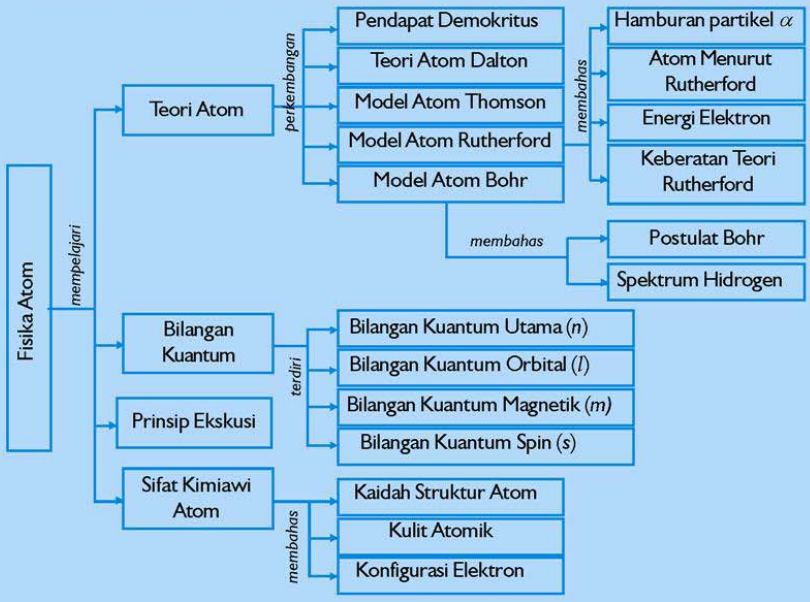
Fisika Atom

Sumber gambar: *Jendela Iptek*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat menggambarkan dan menjelaskan perkembangan teori atom.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Atom
2. Teori atom
3. Bilangan kuantum

Sumber:
Ensiklopedi Umum untuk Pelajar

Gambar. *Akselerator*

Partikel-partikel seperti elektron dapat dibuat agar melaju sangat cepat dalam sebuah akselerator, seperti akselerator bundar ini di Fermilab, Illinois, AS. Partikel-partikel dipacu dengan memanfaatkan medan magnet. Semakin besar energi yang diberikan oleh medan-medan magnet pada partikel, semakin cepat partikel-partikel melaju. Kecepatan tambahan yang berhasil diperoleh partikel-partikel tidak pernah cukup untuk melaju lebih cepat daripada kecepatan cahaya, sebab tidak ada benda yang dapat melesat secepat cahaya. Setiap energi tambahan membuat partikel bertambah berat.

A. Pendapat Demokritus

Kurang lebih dua puluh empat abad yang lalu, ahli filsafat Yunani merumuskan gagasan bahwa zat tidak dapat terus dihancurkan dan pembagiannya mempunyai batas yang tak dapat diteruskan. Partikel terkecil yang tak dapat dipecahkan oleh Demokritus (460 – 370 SM) dinamakan atom. *Atomos* berarti tidak dapat dibagi lagi, konsepsi tentang atom tidak dilandasi eksperimen tetapi hasil pemikiran.

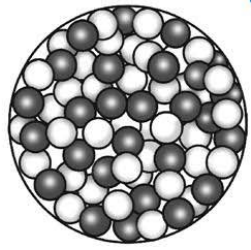
B. Teori Atom Dalton

John Dalton (1766 – 1844) telah mengadakan percobaan-percobaan, yang menunjang pertumbuhan pengertian tentang atom. Dengan teorinya, Dalton dapat menerangkan reaksi-reaksi kimia. Menurut pendapat Dalton bahwa atom merupakan bagian suatu partikel yang paling kecil. Atom suatu unsur tak dapat berubah menjadi atom unsur lain. Dua atom atau lebih yang berasal dari unsur-unsur yang berlainan dapat membentuk molekul. Pada suatu reaksi kimia atom-atom berpisah tetapi dapat bergabung lagi membentuk molekul baru, yang massa keseluruhannya tetap. Pada reaksi itu atom-atom bergabung menurut perbandingan tertentu. Bila dua macam atom membentuk dua macam senyawa atau lebih maka perbandingan atom yang sama dalam dua senyawa itu menjadi sederhana.

Sejak itu teori atom mengalami perubahan dan perkembangan. Sekarang sudah dikenal bahwa atom bukan bagian terkecil lagi, sudah dikenal ukuran atom, massa atom, susunan atom, partikel-partikel pembangun atom dan sifat-sifat atom.

C. Model Atom Thomson

Sejak diketemukannya sinar katode yang tidak lain adalah elektron yang menjadi bagian dari atom, maka **J.J. Thomson** (1897) mengemukakan model atom yang berbeda dengan pendapat Dalton. Menurut Thomson, atom itu mempunyai muatan positif yang terbagi merata ke seluruh isi atom.



Gambar 8.1 *Model atom Thomson*

Muatan ini dinetralkan oleh elektron-elektron yang tersebar di antara muatan positif.

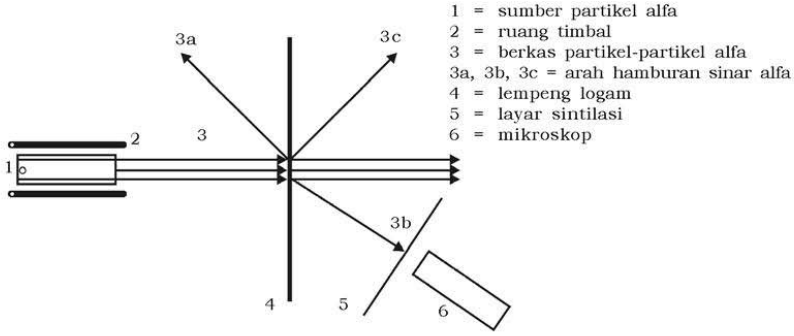
Model ini tidak dikembangkan secara terperinci karena tidak cocok dengan eksperimen-eksperimen berikutnya. Antara lain eksperimen hamburan partikel alfa oleh Rutherford. Walaupun tidak dikembangkan, model atom Thomson ada manfaatnya. Jelaskan!

D. Model Atom Rutherford

Hasil percobaan persebaran partikel mendorong Rutherford menyusun model atom baru, yang berbeda dengan model atom Thompson adalah hasil percobaan hamburan partikel alfa.

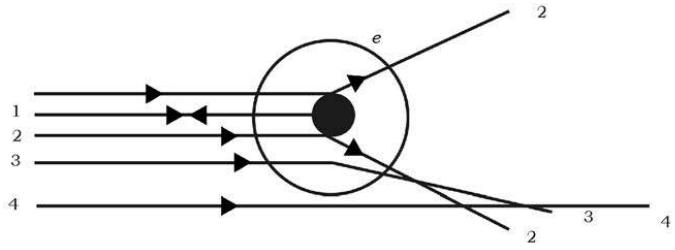
1. Percobaan Hamburan Partikel Alfa (α)

Rutherford (1871 – 1937) mengadakan percobaan dengan menembakkan partikel alfa (α) pada lempengan emas tipis 0,01 mm. Perhatikan gambar 8.2 (hamburan sinar α) berikut!



Gambar 8.2 *Percobaan hamburan partikel-partikel alfa*

Partikel alfa adalah partikel bermuatan positif yang keluar dari zat radioaktif yang daya tembusnya cukup besar untuk logam yang cukup tipis. Sehingga apabila model atom Thomson betul diharapkan partikel alfa akan merambat lurus menembus lempeng emas tanpa gangguan. Tetapi beberapa di antaranya ada yang membelok, bahkan ada yang dipantulkan membentuk sudut antara 90^o sampai 180^o. Hal ini mendorong Rutherford untuk mengambil kesimpulan, bahwa muatan positif terkumpul di pusat atom. Dapat diterangkan dengan gambar 8.3 sebagai berikut!

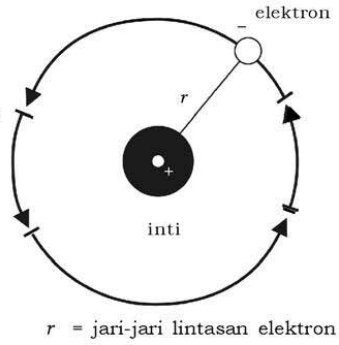


Gambar 8.3 *Partikel alfa jatuh mengenai pusat atom akan dipantulkan dan dibelokkan*

Partikel alfa 1 mengenai tepat di tengah-tengah inti karena keduanya sama-sama bermuatan positif maka dipantulkan 180°. Partikel alfa 2 menumbuk inti tidak secara sentral, sehingga dihamburkan ke arah lain. Sinar 3 yang agak jauh dari inti dibelokkan karena sama-sama bermuatan positif (tolak-menolak). Sinar 4 pengaruh gaya tolak dari inti sangat lemah sehingga merambat lurus. Berdasarkan percobaan inilah Rutherford pada tahun 1911 menyusun model atom baru.

2. Atom Menurut Rutherford

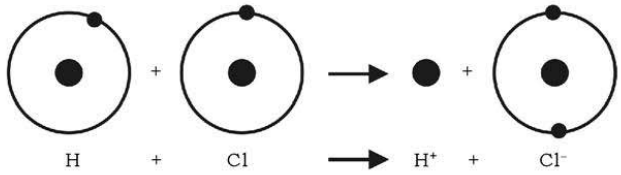
Atas penyelidikan hamburan partikel alfa, Rutherford dalam mengetengahkan model atom mengungkapkan bahwa muatan positif yang sebagian besar massa atom terkumpul pada satu titik di tengah-tengah atom yang disebut *inti atom*. Pada jarak yang relatif jauh elektron-elektron yang mengitarinya mempunyai muatan kelipatan bulat muatan elementer. Misalnya inti H bermuatan satu muatan elementer, inti He bermuatan 2 muatan elementer, dan inti O bermuatan 8 muatan elementer.



Gambar 8.4 *Inti dan elektron tarik-menarik*

Inti dan elektron akan tarik-menarik. Gaya tarik-menarik akan memberikan gaya sentripetal yang menyebabkan elektron-elektron tetap berputar mengelilingi inti, seperti halnya gaya gravitasi dalam tata surya. Pada suatu reaksi kimia, inti atom tidak mengalami perubahan, hanya elektron sebelah luar yang saling mempengaruhi. Misalnya pada HCl, ion hidrogen bermuatan positif karena

kehilangan elektronnya. Ion khlor yang bermuatan negatif mendapat tambahan satu elektron dibanding dengan atom khlor yang netral.
Ion H^+ dan Cl^- saling mengikat membentuk molekul HCl.



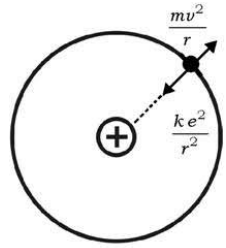
Gambar 8.5 *Pembentukan molekul HCl*

3. Energi Elektron

Dalam mengorbit inti, elektron mempunyai energi yang terdiri dari energi potensial listrik dan energi kinetik.

Sudah kita bahas pada elektrostatika, bahwa energi potensial yang bermuatan $-e$ pada jarak r adalah

$$E_p = -\frac{k e^2}{r}$$



Gambar 8.6 *Bagan gaya tarik antara inti dan elektron hidrogen*

Gaya tarik inti dan elektron sama dengan gaya sentripetal

$$\frac{k e^2}{r} = \frac{m v^2}{r} \text{ diperoleh } \frac{1}{2} m v^2 = E_k = \frac{k e^2}{2r}.$$

Sehingga energi total elektron $E = E_p + E_k$

$$E = -\frac{k\ e^2}{r} + \frac{k\ e^2}{2r}$$

$$E = -\frac{k e^2}{2r}$$

dengan

E = energi total elektron (J atau eV)

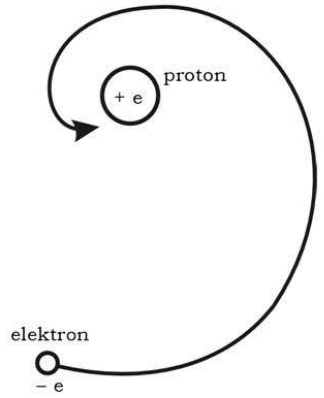
k = $\frac{1}{4\pi\varepsilon_o}$ = 9×10^9 Nm^2C^{-2}

e = muatan elektron $1{,}6\times10^{-19}$ C

r = jari-jari orbit elektron (m)

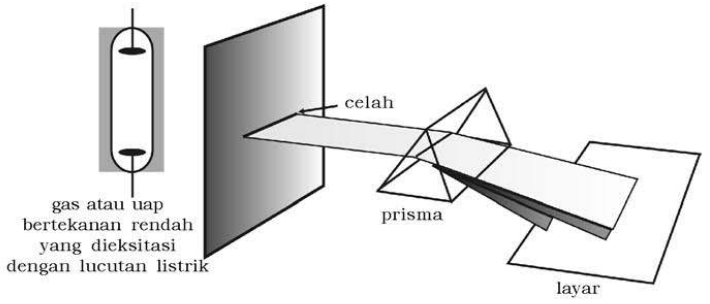
4. Keberatan Teori Rutherford

Elektron yang berputar mengelilingi inti seharusnya memancarkan gelombang elektromagnetik atau memancarkan energi. Dengan memancarkan energi maka energi elektron akan menyusut sehingga jari-jari orbit mengecil. Lintasan elektron tidak lagi merupakan lingkaran dengan jari-jari yang tetap, tetapi merupakan putaran berpilin yang mendekati inti dan akhirnya elektron akan jatuh ke inti. Jadi, atom tidak stabil.



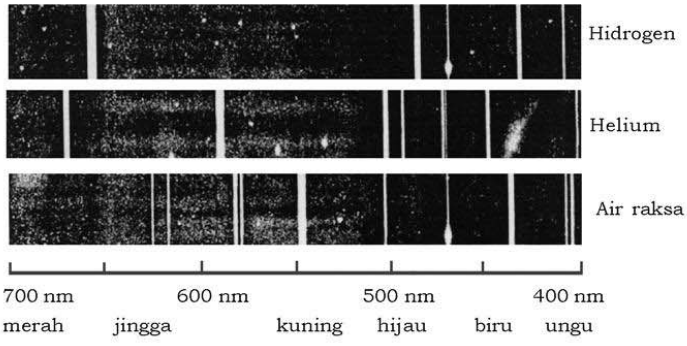
Gambar 8.7 *Ilustrasi dari keberatan teori Rutherford*

Menurut teori klasik, elektron atomik harus secara spiral menuju inti dengan cepat ketika elektron memancarkan energi karena adanya percepatan. Bila elektron mempunyai lintasan yang makin menciut waktu putarnya akan mengecil, sehingga frekuensi gelombang yang dipancarkan menjadi bermacam-macam. Jadi, atom hidrogen tidak menunjukkan spektrum garis tertentu melainkan spektrum yang kontinu. Hal ini bertentangan dengan kenyataan bahwa dengan hasil spektrometer menunjukkan adanya garis-garis khas hidrogen seperti gambar berikut.



Sumber: *Konsep fisika modern- Beiser*

Gambar 8.8 *Spektrometer ideal*



Sumber: *Konsep fisika modern- Beiser*

Gambar 8.9 *Spektrum atom hidrogen, helium dan air raksa*

Contoh Soal 8.1

Dalam suatu eksperimen, diperlukan energi sebesar 13,6 eV untuk memisahkan elektron dari inti atom hidrogen. Hitung jari-jari lintasan elektron dalam mengorbit inti!

Penyelesaian:

Diketahui: E = 13,6 eV

Ditanya: r = ...?

Jawab:

$$E = \frac{k\,e^2}{2r} \text{ diperoleh } r = \frac{k e^2}{2E}$$

$$r = \frac{9\times10^{9}\times(1{,}6\times10^{-19})^2}{2\times1{,}6\times10^{-19}\times13{,}6} = 5{,}3\times10^{-11}\ \text{m}$$

Latihan 8.1

1. Jelaskan mengapa dalam orbitnya elektron harus memancarkan gelombang elektromagnetik!
2. Apa maksud tanda negatif pada persamaan energi elektron $E = -\frac{k\,e^2}{2r}$?
3. Dari soal pada contoh pembahasan, hitunglah nilai kecepatan elektron dalam ms^{-1}!

E. Model Atom Bohr

Hasil pengamatan menggunakan spektrometer menunjukkan bahwa spektrum hidrogen terdiri dari deret garis-garis yang terpisah-pisah menurut aturan tertentu yang dikenal dengan deret Balmer. Hal ini menunjukkan bahwa prinsip fisika klasik terbatas berlakunya terhadap kemantapan hidrogen, atom yang teramati. Pada tahun 1913 **Niels Bohr** menyusun model atom berdasar model atom Rutherford dan teori kuantum.

Saintis

Samuel C.C. Ting seorang ahli fisika, lahir pada tanggal 27 Januari 1936 sebagai seorang bayi premature yang lahir 2 bulan sebelum waktunya. Pada tahun 1959 Ting mendapatkan gelar BS (insinyur fisika dan matematika). 3 tahun kemudian (1962), Ting mendapatkan gelar Master dan Ph.D dengan nilai yang baik.

Ting menyukai penelitian mengenai hubungan elektron-proton. Pada tahun 1974 dia berhasil menemukan partikel-j yang berukuran lebih besar daripada proton dan memiliki waktu getar lebih panjang daripada partikel dasar yang telah diketahui. Oleh karena itulah pada tahun 1976, Ting di usia muda, yaitu 40 tahun mendapatkan nobel fisika.

Sumber: *www.research.umicho.edu*

1. Postulat Bohr

Model atom Bohr berdasarkan dua postulat.

Sumber: *Konsep fisika modern- Beiser*

Gambar 8.10 *Postulat pertama Bohr*

a. *Postulat Pertama*

Elektron mengelilingi inti dalam orbit yang mengandung bilangan bulat kali panjang gelombang de Broglie. Hal tersebut dapat digambarkan seperti gambar 8.10.

Vibrasi sosok kawat, dalam setiap kasus, keliling sama dengan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang. Dapat ditulis sebagai syarat kemantapan orbit:

$$n\lambda = 2\pi r_n$$

$$\lambda = \frac{2\pi r_n}{n}$$

dengan
n = bilangan kuantum n = 1, 2, 3, ...
λ = panjang gelombang elektron (m)
r = jari-jari orbit elektron (m), nilainya adalah:

$$r_n = n^2 \frac{h^2}{4\pi m e^2 k}$$

dengan
r_n = jari-jari orbit elektron pada bilangan kuantum (m).
h = tetapan Planck = $6{,}63\times10^{-34}$ Js
m = massa elektron = $9{,}1\times10^{-31}$ kg
e = muatan elektron = muatan elementer = $1{,}6 \times 10^{-19}$ C
k = tetapan = 9×10^{9} Nm^2C^{-2}

Bila angka-angka tersebut di atas dimasukkan untuk n = 1 diperoleh:
r_1 = $5{,}292\times10^{-11}$ m disebut jari-jari Bohr (a_e).

Dari rumus di atas dapat disimpulkan juga, bahwa:

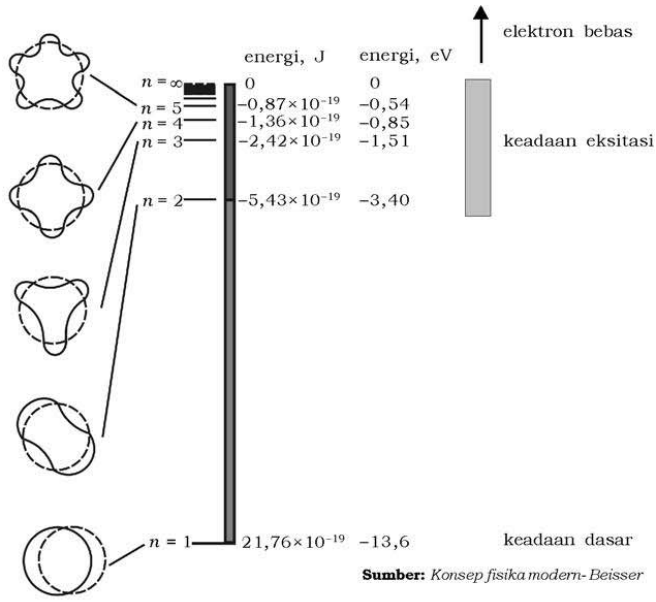
$$r_1 : r_2 : r_3 : r_n = 1^2 : 2^2 : 3^2 : \ldots n^2$$

b. *Postulat Kedua*

Elektron menempati orbit tertentu. Berbagai orbit yang diijinkan berkaitan dengan energi elektron yang berbeda-beda. Dinyatakan dengan persamaan:

$$E_n = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{n^2 h}$$

Persamaan tersebut di atas merupakan tingkat energi dari atom hidrogen. Diplot seperti gambar 8.11 berikut.



Gambar 8.11 *Tingkat energi atom hidrogen*

Untuk $n = 1$, E_1 merupakan tingkat energi terendah disebut tingkat energi dasar. Tingkat energi yang lebih tinggi E_2, E_3, E_4 ... disebut keadaan eksitasi. Apabila n $\rightarrow$ ~ (mendekati tak berhingga), E~ $\rightarrow$ 0, di mana elektron tidak terikat lagi pada inti dikatakan atom terionisasi. Kerja yang dibutuhkan untuk membebaskan elektron dari atom dalam keadaan dasar disebut energi ionisasi atom hidrogen. Besarnya adalah 13,6 eV.

Apabila sebuah elektron berpindah ke orbit yang jari-jarinya lebih kecil akan memancarkan energi, sebaliknya apabila mengabsorbsi energi akan berpindah ke orbit yang jari-jarinya lebih besar. Energi yang dipancarkan atau yang diabsorpsi berupa foton cahaya sebesar $h\,f$ ditulis dengan persamaan:

$$E = 13{,}6\left(\frac{1}{n_A{}^2} - \frac{1}{n_B{}^2}\right)$$

Pernyataan di atas sebagai postulat dari kedua Bohr.

2. Spektrum Hidrogen

Apabila elektron meloncat dari tingkat energi lebih tinggi B ke keadaan tingkat energi lebih rendah A, dipancarkan foton:

$$E_B - E_A = hf$$

$$E_B - E_A = h\frac{c}{\lambda}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{E_B - E_A}{hc}$$

Apabila persamaan energi dimasukkan diperoleh:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{2\pi^2 k^2 m e^4}{ch^3}\left(\frac{1}{n_A{}^2} - \frac{1}{n_B{}^2}\right)$$

atau

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_A{}^2} - \frac{1}{n_B{}^2}\right)$$

dengan

λ = panjang gelombang foton yang dipancarkan (m)

c = kecepatan foton = kecepatan gelombang elektromagnetik = 3×10^8 ms^{-1}

$R = \dfrac{2\pi^2 k^2 m e^4}{ch^3} = 1{,}097\times10^7$ m^{-1} (= konstanta Rydberg)

Apabila elektron loncat ke lintasan dengan bilangan kuantum:

n_A = 1, menghasilkan spektrum deret Lyman (deret ultraungu)

n_A = 2, menghasilkan spektrum deret Balmer (deret sinar tampak)

n_A = 3, menghasilkan spektrum deret Paschen (deret inframerah pertama)

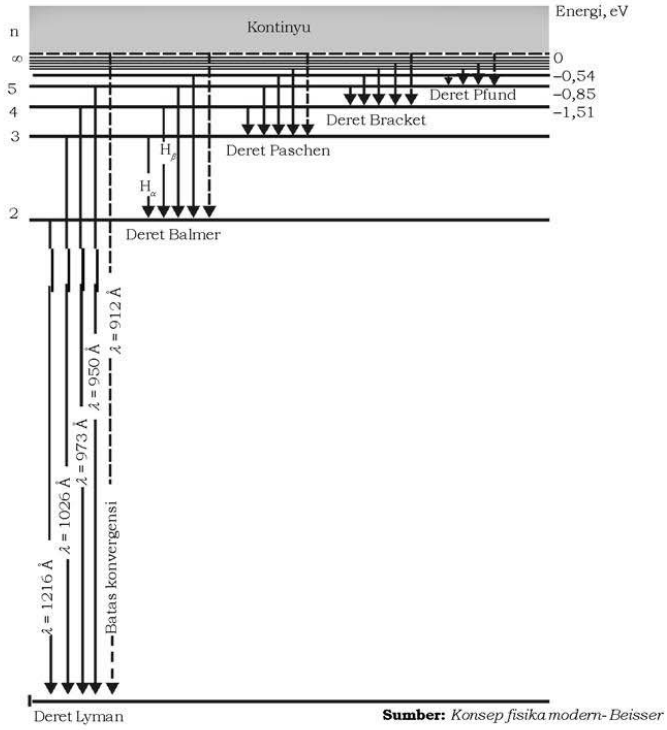
n_A = 4, menghasilkan spektrum deret Bracket (deret inframerah kedua)

n_A = 5, menghasilkan spektrum deret Pfund (deret inframerah ketiga)

n_B = bilangan yang lebih tinggi dari n_A, yang menyatakan tempat transisi.

Secara skematik bagaimana garis spektral hidrogen berkaitan dengan tingkat energi hidrogen dapat di plot seperti pada gambar 8.12.

Garis spektral berasal dari transisi antara tingkat energi. Deret spektral ini ditunjukkan oleh hidrogen. Bila $n = \infty$, maka elektron dalam keadaan bebas.



Sumber: *Konsep fisika modern- Beisser*

Gambar 8.12 *Garis spektral hidrogen*

Contoh Soal 8.2

Hitung energi foton yang dipancarkan dari keadaan tingkat energi pada bilangan kuantum 3 pada deret Lyman!

Penyelesaian:

Diketahui: $n_B = 3$

Ditanya: $E = \ldots?$

Jawab:

$$E = 13{,}6\left(\frac{1}{n_A^{\,2}} - \frac{1}{n_B^{\,2}}\right)$$

$$= 13{,}6\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{3^2}\right) = 12{,}1 \text{ eV}$$

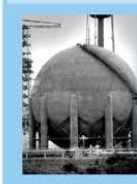
Latihan 8.2

Berapa eV energi yang diperlukan untuk mengeksistensi elektron atom hidrogen dari keadaan bilangan kuantum 3 ke bilangan kuantum 6?

F. Bilangan Kuantum

Keadaan elektron tidak hanya ditentukan oleh bilangan kuantum utama saja, tetapi ditentukan oleh 4 bilangan kuantum, yaitu bilangan kuantum utama (n), bilangan kuantum orbital (ℓ), bilangan kuantum magnetik (m) dan bilangan kuantum spin (s).

Info Sains



Tangki penyimpanan hidrogen cair. Hidrogen cair pertama kali dihasilkan oleh James Dewar, kimiawan Inggris pada 1898. Hidrogen cair yang tidak berwarna berjumlah sedikit. Tetapi yang berawarna biru terang berjumlah banyak

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

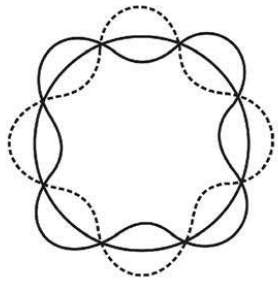
1. Bilangan Kuantum Utama (n)

Menurut teori Bohr, energi elektron atom hidrogen yang mempunyai nomor atom 1, dalam mengorbit inti adalah $E = -\frac{13,6}{n^2}\ eV$. Dengan penalaran yang hampir sama, energi elektron atom yang bernomor atom Z adalah $E = -\frac{13,6\,Z}{n^2}\,eV$. Bilangan n merupakan bilangan kuantum utama. Bilangan kuantum utama menentukan besar energi elektron dan menyatakan tingkat energi elektron dalam mengorbit inti.

2. Bilangan Kuantum Orbital (ℓ)

Berdasarkan analisis spektrum yang lebih teliti ditemukan bahwa pada garis spektrum yang dikemukakan oleh Bohr terdiri lagi dari komponen-komponen garis spektrum yang sangat berdekatan. Tentunya di samping bilangan kuantum utama n, masih ada tingkat energi–tingkat energi yang lain yang sangat berdekatan. Sudah kita pahami bahwa elektron dapat berperilaku sebagai

gelombang dengan panjang gelombang $\lambda = \frac{h}{m v}$. Pada gambar 8.13 ini menunjukkan lintasan elektron mengorbit inti atom membentuk 4 panjang gelombang (4λ). Panjang gelombang tersebut dinamakan panjang gelombang resonansi. Sehingga keliling lingkaran $2\pi r = 4\lambda$. Apabila terbentuk $n\lambda$, maka keliling lingkaran (merupakan lintasan elektron) $2\pi r = n\lambda$.



Sumber: *Konsep fisika modern- Beisser*

Gambar 8.13 *Keliling = 4 panjang gelombang*

Menurut de Broglie: $\lambda = \frac{h}{m\ v}$

Maka:

$$2\pi r = \frac{n\ h}{m\ v}$$

atau

$$m\ v\ r = n\frac{h}{2\pi}$$

$m\ v\ r$ adalah momentum sudut, yang diberi simbol L.
Jadi:

$$L = n\frac{h}{2\pi}$$

Untuk menunjukkan elektron yang mempunyai momentum sudut tertentu, yang ada kaitannya dengan panjang gelombang resonansi, keadaan elektron dinyatakan dengan bilangan kuantum orbital (ℓ). Di mana besar momentum sudut orbital adalah:

$$L = \frac{h}{2\pi}\sqrt{\ell(\ell+1)}$$

Harga bilangan orbital

$$\ell = 0,\ 1,\ 2,\ 3,\ 4,\ \ldots\ldots\ (n-1)$$

Misalnya pada bilangan kuantum utama $n = 4$ memiliki bilangan kuantum orbital: $\ell = 0,\ 1,\ 2,\ 3$.

Pada $\ell = 2$, besar momentum sudut orbital:

$$L = \frac{h}{2\pi}\sqrt{2(2+1)} = \frac{6{,}63\times10^{-34}}{2\pi}\cdot\sqrt{6} = 2{,}6\times10^{-34}\ \text{Js}$$

Biasanya kita memberi spesifikasi keadaan momentum sudut orbital dengan abjad sebagai berikut.
Keadaan ℓ = 0, 1, 2, 3
Momentum sudut = *s, p, d, f (sharp, principial, diffuse, fundamental)*

3. Bilangan Kuantum Magnetik (*m*)

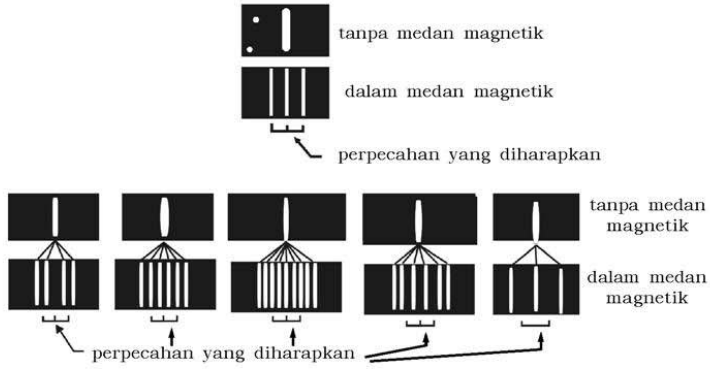
Momentum sudut adalah besaran vektor, sehingga memiliki besar dan arah. Bilangan kuantum magnetik (m) memberi spesifikasi arah L.
Nilai bilangan kuantum magnetik adalah:

$$m = 0,\ \pm1, \pm2, \pm3, \ldots\ldots \pm\ell$$

Misalnya untuk $\ell = 3$; $m = -3, -2, 0, +1, +2, +3$

4. Bilangan Kuantum Spin

Di dalam medan magnet, atom dalam keadaan bilangan kuantum tertentu terpecah menjadi beberapa sub keadaan, sehingga garis spektrumnya juga mengalami perpecahan. Gejala yang menyebabkan "terpecahnya" garis spektral individual menjadi garis-garis spektral terpisah yang lebih halus dinamakan efek Zeeman. Hal ini dapat diplot seperti gambar 8.14.



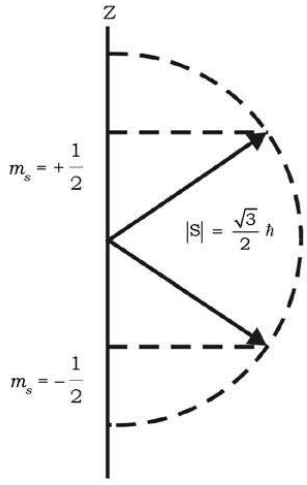
Gambar 8.14 *Efek Zeeman normal dan anomalous pada berbagai garis spektral*

Dalam usaha untuk menerangkan struktur halus garis spektral dan efek Zeeman, **S.A Goudsmit dan G.E Uhlenbeck** pada tahun 1925 mengu-sulkan bahwa elektron memiliki momentum sudut intrinsik yang bebas dari momentum sudut orbitalnya. Momentum sudut intrinsik tersebut berkaitan dengan gambaran dari elektron

sebagai bola yang berpusing pada sumbunya. Bilangan kuantum spin (s) dipakai untuk memerikan momentum sudut elektron. Harga s yang diperbolehkan ialah $s = \frac{1}{2}$. Besar momentum sudut yang disebabkan oleh spin elektron dinyatakan dengan rumus:

$$S = \frac{h}{2\pi}\sqrt{s(s+1)}$$

Bilangan kuantum magnetik spin (m_s) memiliki dua orientasi yang diberi spesifikasi $m_s = +\frac{1}{2}$ dan $m_s = -\frac{1}{2}$.



Gambar 8.15 *Dua orientasi yang mungkin dari vektor momentum sudut spin*

Contoh Soal 8.3

1. Hitung momentum sudut spin elektron!

   Penyelesaian:

   $$S = \frac{h}{2\pi}\sqrt{s(s+1)} = \frac{h}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}+1\right)} = 1{,}056\times10^{-34}\times\sqrt{\frac{3}{4}} = 0{,}528\times10^{-34}\sqrt{3}\ \text{Js}$$

2. Pada bilangan kuantum utama 3, tentukan nilai-nilai momentum sudut orbitalnya!

   Penyelesaian:

   Pada $n = 3$, harga $\ell = 0, 1, 2$
   Momentum sudut orbitalnya
   Untuk $\ell = 0 \rightarrow L = 0$

   $$\ell = 1 \rightarrow L = \frac{h}{2\pi}\sqrt{1(1+1)}$$
   $$= 1{,}056\times10^{-34}\sqrt{2}\ \text{Js}$$
   $$\ell = 2 \rightarrow L = \frac{h}{2\pi}\sqrt{2(2+1)}$$
   $$= 1{,}056\times10^{-34}\sqrt{6}\ \text{Js}$$

Latihan 8.3

1. Tentukan nilai-nilai momentum sudut orbital elektron yang menempati bilangan kuantum utama 5!
2. Tentukan bilangan-bilangan kuantum magnetik pada elektron yang berada di tingkat energi pada bilangan kuantum utama 3!

G. Prinsip Eksklusi

Pada tahun 1925 **Wolfgang Pauli** menemukan prinsip pokok yang mengatur konfigurasi elektronik atom yang memiliki lebih dari satu elektron, dengan prinsip eksklusi (larangan) sebagai berikut. "Tidak terdapat dua elektron dalam sebuah atom yang dapat berada dalam keadaan kuantum yang sama". Kita ambil contoh atom lithium (Li) yang mempunyai 3 elektron.

Elektron ke–	n	ℓ	m	s
1	1	0	0	+½
2	1	0	0	-½
3	2	0	0	+½
4	2	1	0	-½

Dari 4 kemungkinkan itu tidak ada 2 elektron yang keempat bilangan kuantum sama.

Info Sains

Tahukah kalian bahwa Magnetic Resonance imaging dipakai pada mesin "scan" tubuh pasien di rumah sakit.

H. Sifat Kimiawi Atom

Struktur elektron dalam atom sangat mempengaruhi sifat kimiawi atom.

1. Kaidah Struktur Atom

Terdapat dua aturan dasar yang menentukan struktur elektron dari atom yang berelektron banyak. Dua aturan dasar antara lain:

a. Sebuah sistem partikel mantap (stabil) bila energi totalnya minimum.
b. Hanya satu elektron yang dapat berada dalam keadaan kuantum tertentu dalam atom (asas larangan Pauli).

2. Kulit Atomik

Elektron yang memiliki bilangan kuantum (n) yang sama dan berada pada jarak rata-rata yang sama terhadap inti dikatakan bahwa elektron menempati kulit atomik yang sama. Kulit ini diberi lambang dengan huruf besar sebagai berikut.

n = 1 2 3 4 5
kulit = K L M N O

Jumlah maksimum elektron dalam kulit ke-n adalah $2n^2$. Misalnya untuk:

n = 1, jumlah maksimum elektron $2\times1^2 = 2$
n = 2, jumlah maksimum elektron $2\times2^2 = 8$
n = 3, jumlah maksimum elektron $2\times3^2 = 18$

Energi elektron pada kulit tertentu masih tergantung pada bilangan kuantum orbital (ℓ), walaupun ketergantungan ini tidak terlalu besar. Elektron-elektron yang memiliki harga ℓ yang sama dalam satu kulit dikatakan menempati subkulit yang sama. Prinsip eksklusi membatasi banyaknya elektron yang dapat menempati suatu subkulit tertentu. Masing-masing subkulit dapat berisi maksimum $2(2\ell + 1)$ elektron. Kulit atomik atau subkulit atomik yang berisi penuh jatah elektron dinamakan *tertutup*, jumlah elektron pada kulit dan subkulit atomik dapat dibaca pada tabel berikut.

Konfigurasi Elektron Unsur-unsur

	K	L		M			N					O			P		Q	
	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s
1 H	1																	
2 He	2	Gas mulia																
3 Li	2	1	Logam alkali															
4 Be	2	2																
5 B	2	2	1															
6 C	2	2	2															
7 N	2	2	3															
8 O	2	2	4															
9 F	2	2	5	Halogen														
10 Ne	2	2	6	Gas mulia														
11 Na	2	2	6	1	Logam alkali													
12 Mg	2	2	6	2														
13 Al	2	2	6	2	1													
14 Si	2	2	6	2	2													
15 P	2	2	6	2	3													
16 S	2	2	6	2	4													
17 Cl	2	2	6	2	5	Halogen												
18 Ar	2	2	6	2	6	Gas mulia												
19 K	2	2	6	2	6		1	Logam alkali										
20 Ca	2	2	6	2	6		2											
21 Sc	2	2	6	2	6	1	2											
22 Ti	2	2	6	2	6	2	2											
23 V	2	2	6	2	6	3	2											
24 Cr	2	2	6	2	6	5	1											
25 Mn	2	2	6	2	6	5	2											
26 Fe	2	2	6	2	6	6	2		Unsur-unsur transisi									
27 Co	2	2	6	2	6	7	2											
28 Ni	2	2	6	2	6	8	2											
29 Cu	2	2	6	2	6	10	1											
30 Zn	2	2	6	2	6	10	2											
31 Ga	2	2	6	2	6	10	2	1										
32 Ge	2	2	6	2	6	10	2	2										
33 As	2	2	6	2	6	10	2	3										
34 Se	2	2	6	2	6	10	2	4										
35 Br	2	2	6	2	6	10	2	5	Halogen									
36 Kr	2	2	6	2	6	10	2	6	Gas mulia									
37 Rb	2	2	6	2	6	10	2	6		1	Logam alkali							
38 Sr	2	2	6	2	6	10	2	6		2								
39 Y	2	2	6	2	6	10	2	6	1	2								
40 Zr	2	2	6	2	6	10	2	6	2	2								
41 Nb	2	2	6	2	6	10	2	6	4	1								
42 Mo	2	2	6	2	6	10	2	6	5	1								
43 Tc	2	2	6	2	6	10	2	6	5	2								
44 Ru	2	2	6	2	6	10	2	6	7	1			Unsur-unsur transisi					
45 Rh	2	2	6	2	6	10	2	6	8	1								
46 Pd	2	2	6	2	6	10	2	6	10									
47 Ag	2	2	6	2	6	10	2	6	10	1								
48 Cd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2								
49 In	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	1							
50 Sn	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2							
51 Sb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	3							
52 Te	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	4							

Sumber: *Konsep fisika modern- Beisser*

	K	L		M			N				O			P		Q		
	1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	6s	6p	6d	7s	
53 I	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	5	Halogen						
54 Xe	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	Gas mulia						
55 Cs	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			1	Logam alkali			
56 Ba	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6			2				
57 La	2	2	6	2	6	10	2	6	10		2	6	1		2				
58 Ce	2	2	6	2	6	10	2	6	10	2	2	6			2				
59 Pr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	3	2	6			2				
60 Nd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	4	2	6			2				
61 Pm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	5	2	6			2				
62 Sm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	6	2	6			2				
63 Eu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6			2				
64 Gd	2	2	6	2	6	10	2	6	10	7	2	6	1		2				
65 Tb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	9	2	6			2				
66 Dy	2	2	6	2	6	10	2	6	10	10	2	6			2				
67 Ho	2	2	6	2	6	10	2	6	10	11	2	6			2				
68 Er	2	2	6	2	6	10	2	6	10	12	2	6			2				
69 Tm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	13	2	6			2				
70 Yb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6			2				
71 Lu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	1		2				
72 Hf	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	2		2				
73 Ta	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	3		2				
74 W	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	4		2				
75 Re	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	5		2				
76 Os	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	6		2				
77 Ir	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	7		2				
78 Pt	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	9		1				
79 Au	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		1				
80 Hg	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2				
81 Ti	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	1			
82 Pb	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	2			
83 Bi	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	3			
84 Po	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	4			
85 At	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	5	Halogen		
86 Rn	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	Gas mulia		
87 Fr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		1	Logam
88 Ra	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6		2	alkali
89 Ac	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	1	2	
90 Th	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10		2	6	2	2	
91 Pa	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	2	2	6	1	2	
92 U	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	3	2	6	1	2	
93 Np	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	4	2	6	1	2	
94 Pu	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	5	2	6	1	2	
95 Am	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	6	2	6	1	2	
96 Cm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	7	2	6	1	2	
97 Bk	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	8	2	6	1	2	
98 Cl	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	10	2	6		2	
99 Es	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	11	2	6		2	
100 Fm	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	12	2	6		2	
101 Md	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	13	2	6		2	
102 No	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6		2	
103 Lr	2	2	6	2	6	10	2	6	10	14	2	6	10	14	2	6	1	2	

Lantanida

Unsur-unsur transisi

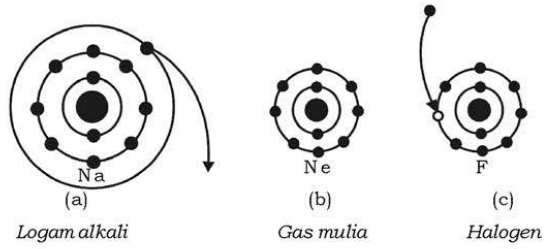
Aktinida

Sumber: *Konsep fisika modern- Beisser*

3. Atom Alkali, Atom Gas Mulia, dan Atom Halogen

Dalam tabel konfigurasi di atas dapat dibaca sebuah atom dari setiap logam alkali dalam group I mempunyai elektron tunggal pada kulit terluarnya. Elektron ini letaknya relatif jauh dari inti dan terperisai oleh elektron dalam. Jadi, hanya perlu energi yang relatif kecil untuk melepaskan elektron dari atom. Sehingga logam alkali mudah menjadi ion positif dan bervalensi +1.

Lain halnya dengan atom gas mulia, yang semuanya mempunyai subkulit tertutup. Elektron dalam kulit tertutup semuanya terikat kuat, karena muatan inti yang positif lebih besar dibandingkan muatan negatif elektron perisai yang di dalam. Karena sebuah atom yang hanya mengandung kulit tertutup tidak memiliki momen dari kutub, atom itu tidak menarik elektron lain dan elektron-elektronnya tidak mudah lepas. Atom semacam ini bersifat *kimiawi pasif*.



Gambar 8.16 *Struktur elektron*

Pada atom halogen yang muatan intinya terperisai tak sempurna cenderung untuk melengkapi subkulitnya dengan mengambil satu elektron tambahan. Jadi, atom halogen mudah menjadi ion negatif dan bervalensi −1.

Gambar 8.16a: Atom Na dengan 11 elektron, kulit terluar hanya ada satu elektron, cenderung untuk dilepaskan.

Gambar 8.16b: Atom Ne dengan 10 elektron, kulit terluar tertutup, sangat sukar untuk melepas atau menerima elektron.

Gambar 8.16c: Atom F dengan 9 elektron, kulit terluar masih kurang satu elektron, cenderung menarik elektron dari luar.

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!"

Untuk menguji kemampuan kalian setelah mempelajari konsep fisika atom, jawablah pertanyaan berikut ini!

1. Pada reaksi kimia, teori Dalton masih banyak yang berlaku. Dalam hal tertentu teori Dalton sudah tidak sesuai dengan kenyataan. Jelaskan kembali menurut bahasa kalian sendiri teori Dalton!
2. Gambarkan secara skematik terjadinya molekul NaCl!
3. Tuliskan dengan jelas mengapa atom Cu mudah menjadi ion positif!
4. Tuliskan dengan jelas mengapa atom Cl mudah menjadi ion negatif!

Rangkuman

1. Pendapat Demokritus mengenai atom-atom adalah sesuatu yang tidak dapat dibagi-bagi lagi.
2. Teori atom Dalton
   - Atom merupakan bagian terkecil dari suatu partikel.
   - Dua atom atau lebih dapat bergabung membentuk molekul.
   - Atom suatu unsur tidak dapat berubah menjadi atom suatu unsur lain.
3. Model atom Thomson: atom memiliki muatan positif yang terbagi merata ke seluruh inti atom yang dinetralkan oleh elektron-elektron yang tersebar diantara muatan positif.
4. Model atom Rutherford
   - Muatan-muatan positif terdapat dalam inti atom.
   - Sebagian besar massa atom terkumpul pada inti atom.
   - Pada jarak yang cukup jauh elektron-elektron mengitarinya dengan muatan kelipatan bulat muatan elementer.
5. Energi elektron: $E = \dfrac{-k e^2}{2r}$
6. Postulat Bohr
   - Elektron mengelilingi inti dalam orbit yang mengandung bilangan bulat kali panjang gelombang de Broglie.
   - Elektron menempati orbit tertentu sesuai dengan energi yang dimilikinya.
7. Jenis bilangan kuantum: bilangan kuantum utama, bilangan kuantum magnetik, bilangan kuantum orbital, dan bilangan kauntum spin.

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Pernyataan yang benar tentang energi elektron adalah . . . .
   a. makin besar jika jari-jari lintasan elektron makin besar energinya
   b. makin besar jika jari-jari lintasan elektron makin kecil energinya
   c. sebanding dengan kuadrat jari-jari lintasan
   d. berbanding terbalik dengan kuadrat jari-jari lintasan
   e. berbanding terbalik dengan kuadrat muatan elektron
2. Deret berikut ini yang menunjukkan urutan panjang gelombang naik adalah deret . . . .
   a. Lyman, Paschen, Balmer
   b. Paschen, Bracket, Pfund
   c. Balmer, Lyman, Pfund
   d. Pfund, Balmer, Lyman
   e. Bracket, Pfund, Lyman
3. Atom dikatakan dalam keadaan eksitasi jika atom tersebut . . . .
   a. mempunyai elektron pada tingkat dasarnya
   b. elektron terionisasi
   c. mempunyai elektron pada tingkat tertinggi
   d. mempunyai elektron yang berada pada tingkat energi yang bukan tingkat dasarnya
   e. tidak mempunyai elektron pada tingkat dasarnya
4. Jika tetapan Rydberg = R maka panjang gelombang terpendek deret Pfund adalah . . . .
   a. R
   b. $25\,R$
   c. $83\,R$
   d. $\frac{25}{R}$
   e. $\frac{83}{R}$
5. Landasan teori atom Rutherford adalah . . . .
   a. hamburan sinar ungu
   b. hamburan frekuensi tinggi
   c. hamburan partikel alfa
   d. relativitas Einstein
   e. teori kuantum Planck

6. Arah momentum sudut orbital ditentukan oleh . . . .
   a. bilangan kuantum utama
   b. bilangan kuantum orbital
   c. bilangan kuantum magnetik
   d. bilangan kuantum spin
   e. panjang gelombang elektron

7. Besar momentum sudut spin untuk bilangan kuantum spin = +½ adalah . . . .
   a. $0{,}87\times10^{-34}$ Js
   b. $0{,}78\times10^{-34}$ Js
   c. $0{,}76\times10^{-34}$ Js
   d. $0{,}67\times10^{-34}$ Js
   e. $0{,}56\times10^{-34}$ Js

8. Panjang gelombang salah satu garis pada deret Balmer adalah 6×10^{-7} m maka energi foton yang menyebabkan terjadinya garis tersebut adalah . . . .
   a. 3,03 eV
   b. 3,313 eV
   c. 2,07 eV
   d. 5 eV
   e. 1,03 eV

9. Jari-jari elektron pada bilangan kuantum 3 atom hidrogen adalah . . . .
   a. $2{,}65\times10^{-10}$ m
   b. $0{,}058\times10^{-10}$ m
   c. $1{,}77\times10^{-10}$ m
   d. $1{,}59\times10^{-10}$ m
   e. $4{,}77\times10^{-10}$ m

10. Panjang gelombang yang memancar dalam deret Lyman ketika bertransisi dari tak terhingga menuju n = 3 adalah . . . .
    a. 365,6 Å
    b. 9.873 Å
    c. 3.291 Å
    d. 40,6 Å
    e. 8204 Å

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

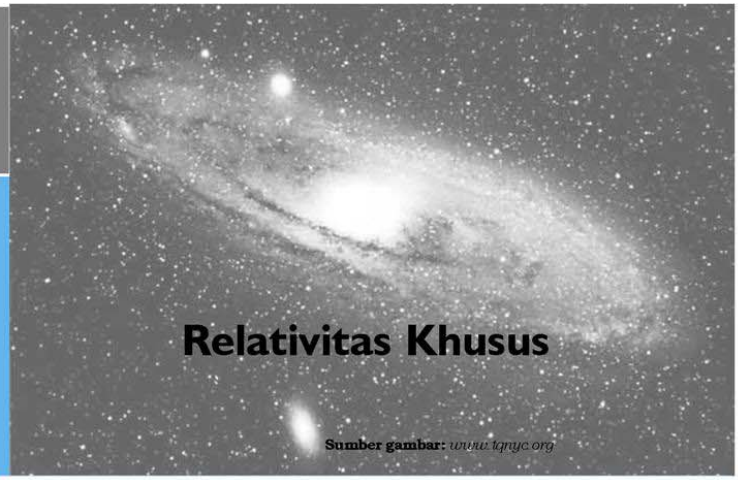
1. Apabila $h = 6{,}63\times10^{-34}$ Js, tentukan nilai-nilai momentum sudut orbital pada bilangan kuantum utama 3!
2. Apa yang dimaksud dengan atom yang terionisasi?
3. Tulislah bilangan kuantum magnetik pada bilangan kuantum orbital 6!
4. Hitung jari-jari Bohr pertama atom aluminium ($z = 13$)!
5. Hitung energi elektron pada bilangan kuantum ke-2!
6. Hitung panjang gelombang terpendek dan terpanjang dari:
   a. Deret Lyman!
   b. Deret Balmer!
   c. Deret Pfund!
7. Berapakah panjang gelombang terpendek dari deret inframerah pertama?
8. Hitung energi kinetik, energi potensial dan energi total elektron, pada orbit pertama Bohr pada atom hidrogen!
9. Hitung jari-jari elektron pada bilangan kuantum 4 pada atom hidrogen!
10. Berapa panjang gelombang transisi ke-5 dari deret Pfund?

Aplikasi

"Ayo kembangkan daya saing dan semangat inovatif/kreatif kalian!"

Bentuk kelompok yang terdiri dari dua atau tiga orang. Buatlah miniatur model atom Dalton, Thomson dan Rutherford dengan menggunakan plastisin (malam) atau dengan bahan lain di sekitar kalian. Untuk rangkanya gunakan kawat tipis atau blendrat. Karya yang telah kalian buat, hasilnya presentasikan di depan kelas.

Bab IX



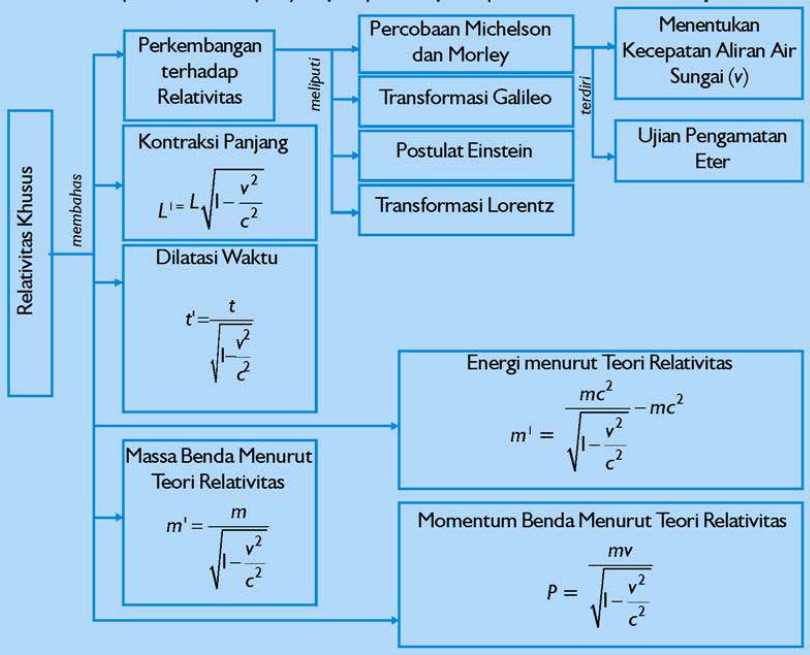
Relativitas Khusus

Sumber gambar: www.tqnyc.org

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat memahami konsep dan teori relativitas khusus untuk waktu, panjang, dan massa serta kesetaraan massa dengan energi yang diterapkan dalam teknologi.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Relativitas
2. Transformasi

Sumber: *www.tqnyc.org*

Gambar. *Milky Way*

Sudah kalian pahami bahwa suatu benda dikatakan bergerak jika kedudukan benda itu berubah dari titik acuan.

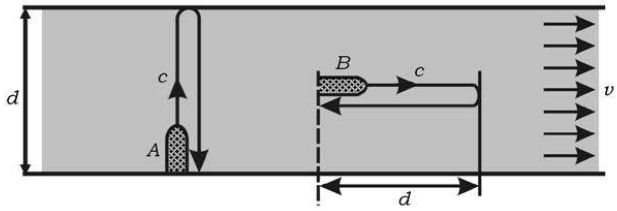
Ketika kita duduk di suatu tempat, dikatakan bahwa kita diam terhadap Bumi, namun sebenarnya kita bersama-sama bumi berevolusi mengelilingi matahari. Matahari pun berputar mengelilingi pusat galaksi bimasakti. Begitu pula dengan planet-planet dan galaksi yang lain. Untuk memahami hal itu semua, marilah kita bicarakan bersama tentang teori relativitas.

A. Percobaan Michelson dan Morley

Pada teori perambatan cahaya, **Huygens** mengemukakan suatu hipotesis bahwa cahaya merambat sebagai gelombang dengan "eter" sebagai zat perantara. Tetapi orang belum bisa membuktikan tentang keberadaan eter tersebut. Michelson dan Morley mencoba menyelidiki ada atau tidaknya eter itu, serta mencoba mengukur kecepatan aliran eter di permukaan bumi jika memang eter itu benar-benar ada.

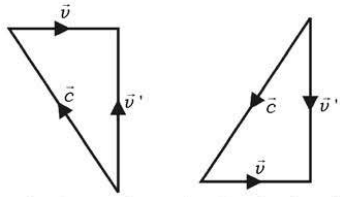
1. Menentukan Kecepatan Aliran Air Sungai (v)

Gambar 9.1 menunjukkan sungai dengan lebar d, mengalir arus dengan kecepatan v (akan dihitung).



Gambar 9.1 *Perahu A bergerak dalam arah tegak lurus aliran sungai dan perahu B bergerak dalam arah sejajar aliran sungai*

Perahu A bergerak dari satu tepi ke tepi yang lain dan kembali ke tempat semula dengan lintasan yang tegak lurus aliran sungai.



a. Perahu berangkat b. Perahu kembali

Gambar 9.2 *Vektor kecepatan dari perahu*

Vektor kecepatan dapat digambar seperti gambar 9.2 di samping. Perahu berangkat:

$\vec{v}$ = kecepatan aliran air sungai

$\vec{c}$ = kecepatan perahu terhadap air sungai

$\vec{v}' = \vec{v} + \vec{c}$ = resultan kecepatan aliran air dan kecepatan perahu segaris dengan lintasan perahu

$v' = \sqrt{c^2 - v^2}$ = laju perahu

Waktu yang diperlukan perahu *A* dari satu tepi ke tepi yang lain dan kembali ke tempat semula:

$$t_A = 2 \times \frac{d}{v'} = 2 \times \frac{d}{\sqrt{c^2 - v^2}} = 2 \times \frac{\frac{d}{c}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Perahu *B* bergerak dari suatu titik searah aliran sungai dengan kecepatan *c*, menempuh jarak *d*. Dalam gerakannya perahu *B* mendapat tambahan kecepatan *v* (dari aliran air). Waktu yang diperlukan $t_1 = \frac{d}{c + v}$. Perahu kembali ke tempat semula dengan kecepatan *c* pula. Dalam gerakannya perahu *B* mendapat pengurangan kecepatan *v* (dari aliran air). Waktu yang diperlukan

$$t_2 = \frac{d}{c - v}$$

Dengan demikian seluruh perjalanan perahu *B* memerlukan waktu.

$$t_B = t_1 + t_2$$

$$t_B = \frac{d}{c + v} + \frac{d}{c - v}$$

Dapat dituliskan:

$$t_B = 2 \times \frac{\frac{d}{c}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

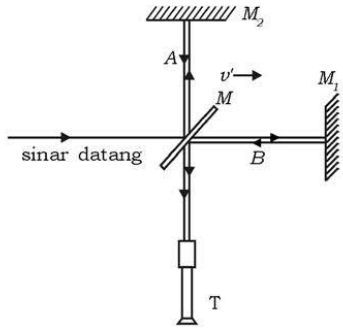
Kalau t_A dan t_B dibandingkan:

$$\frac{t_A}{t_B} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Waktu t_A dan t_B dapat dicatat, dengan demikian jika kecepatan perahu diketahui, kecepatan "aliran air" sungai dapat dihitung.

2. Ujian Pengamatan Eter

Prinsip pengukuran kecepatan "aliran air" sungai yang dipakai oleh **Michelson dan Morley** digunakan untuk membuktikan keberadaan eter yang dihipotesiskan oleh Huygens. Diagram percobaan seperti gambar 9.3 berikut disebut interferometer.



Gambar 9.3 *Diagram percobaan Michelson dan Morley (interferometer)*

Sinar datang dari matahari ditangkap oleh kaca setengah cermin *M*. Sinar itu sebagian dipantulkan ke cermin M_2 dan sebagian diteruskan ke cermin M_1. Sinar *A* dan sinar *B* sama kedudukannya seperti perahu A dan perahu *B*. Pada gambar 9.3 sinar *A* setelah dipantulkan oleh M_2 dan sinar *B* setelah dipantulkan oleh M_1 diteruskan ke teleskop T. Bila jarak $M_1M = M_2M = d$ maka selisih lintasan: $S = c\ t_B - c\ t_A$

$$S = \frac{2d}{1-\frac{v^2}{c^2}} - \frac{2d}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

Dengan adanya beda lintasan ini diharapkan terjadi pola interferensi yang dapat dilihat lewat teropong. Meskipun seluruh alat (interferometer) diputar 90° terhadap sumbu vertikal, tetapi tidak pernah terjadi pergeseran letak interferensi maksimum.

Dari percobaan Michelson dan Morley dapat disimpulkan sebagai berikut.

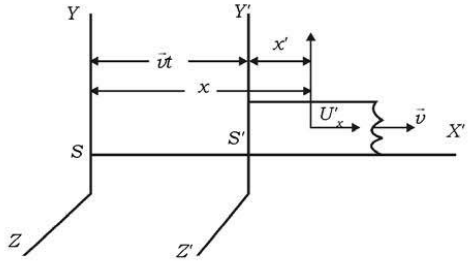
1. Hipotesis tentang eter tidak dibenarkan.
2. Kecepatan cahaya (*c*), selalu sama dalam segala arah, tidak tergantung pada gerak bumi.

Aksi Fisika *"Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!"*

Setelah kalian mempelajari dan memahami percobaan yang dilakukan Michelson dan Morley. Apakah tujuan Michelson dan Morley melakukan percobaan tersebut? Apakah kesimpulan yang diperoleh dari percobaan Michelson dan Morley?

B. Transformasi Galileo

Sudah disinggung pada awal materi pokok ini, bahwa kedudukan suatu benda diam atau bergerak memerlukan suatu kerangka acuan tertentu.



Gambar 9.4 *Kerangka acuan inersial*

Pada gambar 9.4 terdapat dua kerangka acuan S dan S'. Kerangka acuan S' terhadap kerangka acuan S bergerak ke kanan sepanjang sumbu X dengan kecepatan tetap v disebut *kerangka acuan inersial*. Kerangka acuan inersial adalah kerangka acuan yang padanya berlaku hukum kelembaman Newton. Kerangka acuan inersial tidak mengalami percepatan dan tidak berotasi.

Misalkan S adalah sebuah tiang di stasiun kereta api, dan S' adalah sebuah titik sudut sebuah gerbong kereta api yang sedang bergerak dengan kecepatan tetap v terhadap S. Mula-mula S dan S' berimpit dan setelah t sekon, S' sudah menempuh jarak $d = vt$. Sebuah benda P di dalam kereta api terhadap kerangka acuan S', bergerak ke kanan dengan kecepatan tetap U_x. Setelah t sekon, benda P terhadap kerangka acuan S mempunyai koordinat P(x, y, z) dan terhadap kerangka acuan S' mempunyai koordinat P(x', y', z') sehingga antara kedua koordinat itu terdapat hubungan.

$$x' = x - vt$$
$$y' = y$$
$$z' = z$$

Selanjutnya kita menganggap waktu yang diamati oleh pengamat pada kerangka acuan S sama dengan waktu yang diamati oleh pengamat dalam kerangka acuan S' yang bergerak, maka:

$$t' = t$$

Dari kedua persamaan di atas disebut *transformasi Galileo*.

Oleh karena waktu $t' = t$, maka turunan x' atau x terhadap t' sama dengan turunan x' atau x terhadap t yang tidak lain berupa kecepatan.

Jika persamaan diturunkan terhadap waktu t akan diperoleh kecepatan,

$$\frac{dx'}{dt} = \frac{dx}{dt} - v$$

Bentuk $\frac{dx'}{dt} = u'_x$, yaitu kecepatan benda P terhadap S' dan $\frac{dx}{dt} = u_x$, yaitu kecepatan benda P terhadap S.

Maka hasil diferensial menjadi,

$$u'_x = u_x - v$$

$$u'_y = \frac{dy'}{dt} = \frac{dy}{dt} = u_y$$

$$u'_z = \frac{dz'}{dt} = \frac{dz}{dt} = u_z$$

Kecepatan diturunkan terhadap waktu menghasilkan percepatan,

$$a'_x = \frac{du'_x}{dt} = \frac{du_x}{dt} = a_x$$

$$a'_y = \frac{du'_y}{dt} = \frac{du_y}{dt} = a_y$$

$$a'_z = \frac{du'_z}{dt} = \frac{du_z}{dt} = a_z$$

Dilihat dari persamaan percepatan benda P dalam kerangka acuan S' sama dengan percepatan benda P dalam kerangka acuan S, maka $a' = a$.

Massa benda P dipandang dari kerangka acuan S dan S' kita anggap tetap sama, maka gaya pada kerangka acuan S dan S' menjadi sama pula, $F = m\,a$ dan $F' = m\,a'$, sehingga $F = F'$.

Dari uraian tersebut di atas dapat disimpulkan:

1. Hukum-hukum *Newton* tentang gerak dan persamaan gerak suatu benda tetap sama dalam semua kerangka acuan inersial.
2. Kecepatan suatu benda tidak mutlak tetapi bersifat relatif dan disebut relativitas *Newton*. Ditulis dengan persamaan:

$$u = u' + v$$

Contoh Soal 9.1

Seorang berjalan di dalam kereta api dengan kecepatan 2 ms^{-1}. Sedangkan kereta api melaju dengan kecepatan 20 ms^{-1}. Hitung kecepatan orang itu terhadap stasiun, jika orang berjalan:

a. searah laju kereta api,
b. berlawanan arah dengan laju kereta api?

Penyelesaian:

Diketahui: $u = 2\ ms^{-1}$
$v = 20\ ms^{-1}$

Ditanya: a. u jika orang berjalan searah laju kereta api
b. u jika orang berjalan berlawanan arah dengan laju kereta api?

Jawab:

Dijawab dengan menggunakan relativitas *Newton*. Kecepatan orang terhadap stasiun:

a. $u = u' + v$
$= 2 + 20$
$= 22\ ms^{-1}$

b. $u = u' - v$
$= 2 - 20$
$= -18\ ms^{-1}$

Latihan 9.1

1. a. Tulislah 2 kesimpulan dari transformasi Galileo!
   b. Apa yang dimaksud dengan kerangka acuan inersia?
2. Dua kendaraan A dan B meluncur masing-masing dengan kecepatan 25 ms^{-1}. Hitung kecepatan A terhadap B kalau keduanya berpapasan!

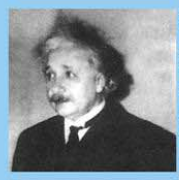
C. Postulat Einstein

Telah kalian ketahui bahwa kerangka acuan inersial adalah kerangka acuan yang bergerak dengan kecepatan tetap, terhadap kerangka acuan inersial ini. **Albert Einstein** (1879-1955) mengemukakan teori relativitas yang berbeda dengan teori relativitas Newton. Teori ini disebut teori *relativitas khusus*.

Pada tahun 1905 Einstein mengembangkan teori relativitas khusus dengan mengemukakan dua postulat.

1. Hukum fisika dapat dinyatakan dalam persamaan yang berbentuk sama dalam semua kerangka acuan inersia.
2. Kelajuan cahaya dalam ruang hampa sama besarnya untuk semua pengamat, tidak bergantung pada keadaan gerak pengamat itu.

Saintis



Albert Einstein adalah salah seorang ahli fisika terbesar di dunia. Einstein lahir pada tahun 1879 di Wurttemberg, Jerman. Gagasannya dalam sains begitu baru dan aneh sehingga selama bertahun-tahun orang awam menganggapnya sukar dipahami. Namun kini teorinya tentang waktu dan ruang (relativitas) dan atom dipelajari oleh semua mahasiswa di dunia. Einstein meninggal pada tahun 1955 di usia 76 tahun.

Sumber: *Oxford Eksiklopedi Pelajar*

Menurut teori relativitas Newton, pengamat S' yang bergerak terhadap pengamat S, mengamati kecepatan cahaya yang berbeda besarnya dengan kecepatan cahaya menurut pengamat S, yaitu dengan persamaan:

$$u = u' + v$$

dengan
u = kecepatan cahaya menurut pengamat S
u' = kecepatan cahaya menurut pengamat S'
v = kecepatan S' terhadap S.

Menurut relativitas Einstein kecepatan cahaya yang diamati oleh pengamat di S' dan pengamat di S sama besarnya, yaitu:

$$u = u' = c$$

Perbedaan ini terjadi karena dalam transformasi Galileo dan relativitas Newton, waktu yang diamati oleh pengamat diam S, sama dengan waktu yang diamati oleh pengamat yang bergerak S',

$$t' = t$$

dan koordinat $x' = x - vt$. Sedangkan menurut Einstein waktu t' tidak sama dengan t dan x' tidak sama dengan $x - vt$.

Akibatnya penjumlahan kecepatan menurut Einstein menjadi:

$u = \dfrac{u' + v}{1 + \dfrac{u'v}{c^2}}$ (lihat pada transformasi Lorentz)

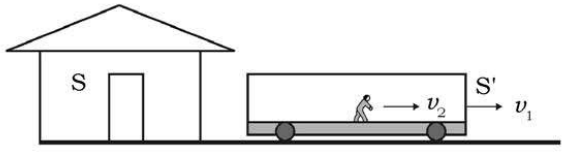
Misalkan kecepatan cahaya menurut pengamat S' yang bergerak terhadap pengamat S adalah $u' = c$, maka kecepatan cahaya menurut pengamat S yang diam menjadi:

$$u = \frac{c + v}{1 + \dfrac{cv}{c^2}} = \frac{c(c + v)}{c + v} = c$$

Ternyata relativitas Newton adalah keadaan khusus untuk kecepatan v yang jauh lebih kecil dari kecepatan cahaya sehingga $v/c^2 = 0$ dan persamaan di atas menjadi $u = u' + v$.

Untuk memudahkan kita mengingatnya, persamaan di atas dapat dibuat dalam bentuk lain, sebagai berikut. Kerangka acuan S' (gerbong kereta api), bergerak dengan kecepatan v_1 terhadap kerangka acuan S (stasiun kereta api). Di dalam S' ada sebuah partikel (orang) bergerak terhadap S' dengan kecepatan v_2. Kecepatan partikel terhadap S:

$$u = \frac{v_1 + v_2}{1 + \dfrac{v_1 v_2}{c^2}}$$



Gambar 9.5 *Ilustrasi kerangka acuan*

Contoh Soal 9.2

Dua buah partikel bergerak saling mendekati masing-masing dengan kecepatan 0,25 c (c = kecepatan cahaya). Hitung kecepatan partikel satu terhadap yang lain:

a. menurut teori relativitas Newton,
b. menurut teori relativitas Einstein!

Penyelesaian:

Diketahui: $v_1 = 0{,}25\ c$
$v_2 = 0{,}25\ c$

Ditanya: a. u menurut teori relativitas Newton?
b. u menurut teori relativitas Einstein?

Jawab:

a. $u = v_1 + v_2$
$u = 0{,}25c + 0{,}25c$
$= 0{,}5c$

b. $$u = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}} = \frac{0{,}25c + 0{,}25c}{1 + \frac{0{,}25c \times 0{,}25c}{c^2}} = \frac{0{,}5c}{1 + 0{,}0625} = 0{,}47c$$

Latihan 9.2

1. Peristiwa pada contoh pembahasan soal di atas memberikan hasil a berbeda dengan b. Buatlah kesimpulan dari peristiwa itu!
2. Dua partikel A dan B bergerak searah masing-masing dengan kecepatan 0,3c dan 0,2c. Hitung kecepatan A terhadap B:
   a. menurut teori relativitas Newton,
   b. menurut teori relativitas Einstein!

D. Transformasi Lorentz

Sudah kita bicarakan di depan tentang teori relativitas Newton yang diturunkan dari transformasi Galileo. Dengan transformasi Lorentz kita buktikan persamaan penjumlahan kecepatan menurut Einstein

$$u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u' \cdot v}{c^2}}$$

Dalam gambar tentang transformasi Galileo, hubungan antara x' dan x dari benda P bentuknya adalah:

$$x' = k(x - vt)$$

bila x dan x' dianggap mempunyai hubungan yang linear. Kalau kerangka acuan S' terhadap kerangka acuan S bergerak ke kanan dengan kecepatan tetap v, maka kerangka acuan S terhadap S' bergerak ke kiri dengan kecepatan $-v$. Hubungan x terhadap x' menjadi:

$$x = k(x' + vt')$$

Dari dua persamaan diperoleh:

$$\begin{aligned} x &= k[k(x - vt) + vt'] \\ &= k^2(x - vt) + kvt' \end{aligned}$$

atau

$$kvt' = x - k^2x + k^2vt$$

dan

$$t' = kt + \frac{x(1 - k^2)}{kv}$$

Misalkan kecepatan P terhadap kerangka acuan S' adalah kecepatan cahaya $u'_x = c$, maka menurut Einstein kecepatan cahaya terhadap kerangka acuan S sama besarnya $u_x = c$. Dari sini diperoleh hubungan:

$$x = ct$$
$$x' = ct'$$

Bertolak dari ini, maka

$$k(x - vt) = ct'$$

Selanjutnya:

$$k(x - vt) = c\left[kt + \frac{x(1 - k^2)}{kv}\right]$$

Faktor yang mengandung x dikumpulkan di sebelah kiri diperoleh:

$$x\left[1 - \frac{c}{v}\left(\frac{1}{k^2} - 1\right)\right] = ct\left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

Diperoleh harga $x = ct\left[\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{c}{v}\left(\frac{1}{k^2} - 1\right)}\right]$. Harga x ini harus sama dengan $x = ct$, maka bentuk:

$$\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{c}{v}\left(\frac{1}{k^2} - 1\right)} = 1$$

atau

$$1 + \frac{v}{c} = 1 - \frac{c}{v}\left(\frac{1}{k^2} - 1\right)$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{k^2}$$

atau

$$k^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{1\ c^2}}$$

$$k = \frac{}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Setelah harga k dimasukkan akan diperoleh transformasi pengukuran suatu kejadian dalam kerangka acuan S terhadap pengukuran yang sesuai dalam kerangka S' yang disebut *transformasi Lorentz.*

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$
$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Transformasi Lorentz akan tereduksi menjadi transformasi Galileo apabila kelajuan v jauh lebih kecil dari kelajuan cahaya. Dari transformasi Lorentz kita dapat menghitung hubungan antara kecepatan menurut kerangka acuan S dan S' dengan cara diferensiasi. Kalian sudah mengetahui bahwa:

$$u_x = \frac{dx}{dt}; u_y = \frac{dy}{dt}; u_z = \frac{dz}{dt}$$
$$u'_x = \frac{dx'}{dt}; u'_y = \frac{dy'}{dt}; u'_z = \frac{dz'}{dt}$$

Persamaan di atas akan diperoleh:

$$dx' = \frac{dx - vdt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$dt' = \frac{dt - \left(\frac{v}{c^2}\right)dx}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Kecepatan $u'_x = \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx - vdt}{dt - \left(\frac{v}{c^2}\right)dx}$

Ruas kanan persamaan di atas dibagi dengan dt, diperoleh:

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}}$$

Kecepatan relativitas Einstein:

$$u'_x = \frac{u_x - v}{1 - \frac{u_x v}{c^2}}$$

$$u'_x - \frac{u_x u'_x v}{c^2} = u_x - v$$

$$u_x\left(1 + \frac{u'_x v}{c^2}\right) = u'_x + v \text{ atau } u_x = \frac{u'_x + v}{1 + \frac{u'_x \cdot v}{c^2}}$$

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan kecakapan sosial dan kecakapan akademik kalian!"

Apabila kalian telah memahami materi transformasi, diskusikanlah pertanyaan di bawah ini dengan teman sebangku.

1. Tuliskan rumus transformasi Lorentz!
   a. Tentang jarak (x)
   b. Tentang waktu (t)
2. Apa perbedaan yang mendasar antara transformasi Galileo dan transformasi Lorentz?
3. Apa manfaat yang dapat diambil dari adanya relativitas?

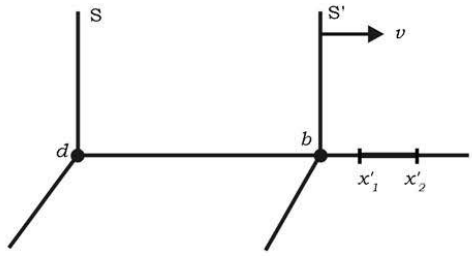
E. Kontraksi Panjang Lorentz

Teori relativitas membawa akibat terhadap pengukuran panjang suatu benda yang bergerak terhadap seorang pengamat. Pada gambar 9.6 sebuah tongkat terletak pada sumbu x' dalam kerangka acuan S' yang bergerak dengan kecepatan tetap v terhadap kerangka acuan S. Kedudukan ujung-ujung tongkat terhadap S' terletak pada x'_1 dan x'_2 dan terhadap S terletak pada x_1 dan x_2. Tongkat terhadap S' berada dalam keadaan diam dan seorang pengamat di S' mengukur tongkat:

$$L = x'_2 - x'_1.$$

Panjang tongkat menurut pengamat di S adalah:

$$L' = x_2 - x_1.$$



Gambar 9.6 *Kontraksi panjang*

Menurut transformasi Lorentz dalam persamaan:

$$x'_2 = \frac{x_2 - vt_2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ dan } x'_1 = \frac{x_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

dengan $t_2 = t_1 = t$.

Maka panjang tongkat menurut pengamat di S' menjadi:

$$x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ atau } L = \frac{L'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \text{ atau } L' = L\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Ternyata panjang tongkat yang bergerak terhadap pengamat dalam arah sejajar dengan panjangnya menyusut. Ini disebut *kontraksi panjang Lorentz.*

dengan

L' = panjang tongkat menurut pengamat yang bergerak terhadap tongkat (panjang tongkat yang bergerak terhadap pengamat)
L = panjang tongkat diam
v = kecepatan tongkat terhadap pengamat kecepatan pengamat terhadap tongkat)
c = kecepatan cahaya

"Ayo kembangkan kecakapan personal kalian!"

Dimensi Fisika

Sumber: *CD Image*

Perhatikan gambar di samping!
Setelah kalian memperhatikan gambar di samping, analisislah gambar tersebut menggunakan konsep fisika tentang Teori Relativitas!

Contoh Soal 9.3

Sebuah roket panjang 100 m bergerak dengan kecepatan 0,6 c (c = kecepatan cahaya). Hitung panjang roket itu oleh pengamat di bumi!

Penyelesaian:

Diketahui: $L = 100$ m
$v = 0{,}6\ c$

Ditanya: $L' = ...?$

Jawab:

$$L' = L\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$
$$= 100\sqrt{1 - \frac{(0{,}6c)^2}{c^2}}$$
$$= 100\sqrt{0{,}64}$$
$$= 80 \text{ m}$$

Latihan 9.3

Sebuah tongkat panjang 52 cm bergerak searah panjangnya dengan kecepatan $\frac{5}{13}c$ terhadap pengamat diam. Hitung panjang tongkat menurut pengamat!

F. Dilatasi Waktu

Menurut teori relativitas Einstein selang waktu yang diamati oleh pengamat yang bergerak lebih besar dari selang waktu oleh pengamat yang diam. Hal ini dinamakan pemuaian waktu atau dilatasi waktu. Misalkan di bumi ada dua kali kejadian. Kejadian pertama pada pukul t_1, kejadian kedua pada pukul t_2. Oleh orang yang berada di pesawat antariksa yang bergerak dengan kecepatan v kejadian itu diamati pada pukul t'_1 dan t'_2.

Berdasar persamaan $t' = \dfrac{t - \dfrac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$ pada transformasi Lorentz diperoleh: $\dfrac{t - \dfrac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$

Contoh Soal 9.4

Sebuah tempat di bumi terjadi dua kejadian dalam selang waktu 1 sekon. Hitung selang waktu itu jika diamati oleh pengamat yang berada di pesawat antariksa yang bergerak dengan kecepatan 0,6 c (c = kecepatan cahaya)!

Penyelesaian:

Diketahui: $\Delta t = 1$ s
$v = 0{,}6\ c$

Ditanya: $\Delta t' = ...?$

Jawab:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$$

$$\Delta t' = \frac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{(0{,}6c)^2}{c^2}}}$$

$$\Delta t' = 1{,}25 \text{ sekon}$$

Catatan:
Hati-hati dalam penggunaan persamaan. Waktu yang dicatat oleh pengamat bergerak lebih besar dari waktu yang dicatat oleh pengamat diam.

Latihan 9.4

Dua kejadian diamati oleh A terjadi dalam selang waktu 2 sekon. Oleh pengamat B kejadian itu dicatat dalam selang waktu 2,6 sekon. Hitung kecepatan B terhadap A!

G. Massa Benda menurut Teori Relativitas

Massa suatu benda yang menyatakan kuantitas partikel dan kuantitasnya tetap, baik dalam keadaan diam atau bergerak. Akan tetapi, apabila benda tersebut bergerak dengan kecepatan sangat tinggi apabila dilihat oleh pengamat yang diam seolah-olah massanya berubah menjadi m'.

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

dengan
m = massa benda yang diam terhadap pengamat
m' = massa benda yang bergerak dengan kecepatan v terhadap pengamat yang diam

Contoh Soal 9.5

Hitung massa elektron yang bergerak dengan kecepatan $\frac{1}{3}c$, jika massa diam elektron $9{,}1\times10^{-31}$ kg!

Penyelesaian:

Diketahui: $v = \frac{1}{3}c$
$m = 9{,}1\times10$ kg

Ditanya: $m' = ...?$

Jawab:

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1-\frac{v^2}{v^2}}} = \frac{9{,}1\times10^{-31}\text{kg}}{\sqrt{1-\left(\frac{1}{3}\right)^2}} = 9{,}7\times10^{-31}\text{kg}$$

Latihan 9.5

Sebuah roket dalam keadaan diam massanya 1000 kg. Hitung massa roket saat diluncurkan dengan kecepatan 0,1 c!

H. Energi Menurut Teori Relativitas

Menurut teori Newton sebuah benda yang massanya m bergerak dengan kecepatan v mempunyai energi kinetik $E_k = \frac{1}{2} mv^2$.

Menurut teori relativitas, energi kinetik benda adalah:

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$$

Einstein memberi interpretasi besaran $\frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ sebagai energi total benda (E_t).

Jadi

$$E_t = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sedangkan mc^2 sebagai energi diam benda.

jadi

$$E = mc^2$$

sehingga

$$E_t = E_k + E$$

Contoh Soal 9.6

Massa diam sebuah benda 2 kg, bergerak dengan kecepatan 0,6 kali kecepatan cahaya. Hitung:
a. energi diam benda (E),
b. energi total benda (E_t),
c. energi kinetik benda (E_k)!

Penyelesaian:

Diketahui: $m = 2$ kg
$v = 0{,}6\ c$

Ditanya: a. $E = \ldots?$
b. $E_t = \ldots?$
c. $E_k = \ldots?$

Jawab:

a. $E = mc^2$
$= 2\ (3\times10^8)^2$
$= 1{,}8\times10^{17}$ J

b. $$E_t = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1{,}8\times10^{17}\ \text{J}}{\sqrt{1-\frac{(0{,}6c)^2}{c^2}}} = \frac{1{,}8\times10^{17}\ \text{J}}{0{,}8} = 2{,}25\times10^{17}\ \text{J}$$

c. $E_k = E_t - E_o$
$= 2{,}25\times10^{17} - 1{,}8\times10^{17}$
$= 0{,}45\times10^{17}$ J

Latihan 9.6

1. Agar lebih paham tentang energi menurut teori relativitas, tulislah persamaan energi diam, energi kinetik dan energi total benda dalam hubungan m, v, dan c!
2. Sebuah benda dengan massa 1 gram bergerak dengan kecepatan $2{,}4\times10^8$ ms^{-1}. Hitung:
   a. energi diam benda,
   b. energi total benda,
   c. energi kinetik benda!

I. Momentum Benda

Menurut teori relativitas, momentum benda yang bergerak nilainya:

$p = m' v$ dimana $m' = \dfrac{m}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$ maka diperoleh: $p = \dfrac{m \cdot v}{\sqrt{1-\dfrac{v^2}{c^2}}}$

Latihan 9.7

Sebuah benda massa diamnya 0,1 kg bergerak dengan kecepatan $\frac{12}{13}c$. Hitung momentum benda:

a. dengan teori klasik (Newton),
b. dengan teori relativitas (Einstein)!

Rangkuman

1. Hasil percobaan Michelson-Morley:
   a. Hipotesis tentang eter tidak dibenarkan.
   b. Kecepatan cahaya (c), selalu sama dalam segala arah, tidak tergantung pada gerak bumi.
2. Hukum-hukum Newton tentang gerak dan persamaan gerak suatu benda tetap sama dalam kerangka acuan universal.
3. Kecepatan suatu benda tidak mutlak tetapi bersifat relatif dan disebut relativitas Newton. Ditulis dengan persamaan:

$$u = u' + v$$

4. Kontraksi panjang Lorentz:

$$L' = L\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

5. Dilatasi waktu:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

6. Massa benda menurut teori relativitas:

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

7. Energi benda menurut teori relativitas:

$$E_k = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2$$
$$= E_t - E$$

8. Momentum benda menurut teori relativitas:

$$P = \frac{m\,v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Yang merupakan postulat Einstein adalah . . . .
   a. massa diam lebih besar daripada massa bergerak
   b. panjang diam lebih besar daripada panjang bergerak
   c. zat yang dinamakan eter yang dihipotesiskan Huygens tidak ada
   d. kelajuan cahaya di ruang hampa sama besar untuk semua pengamat di alam semesta ini
   e. hukum Newton tidak berlaku lagi

2. Jika a adalah panjang benda dalam keadaan diam, dan b adalah panjang benda yang bergerak dengan kecepatan c, dimana c = kecepatan cahaya di ruang hampa maka akan diperoleh hubungan . . . .

   a. $a = b\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

   b. $b = a\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$

   c. $b = a\sqrt{1 - \frac{v}{c}}$

   d. $b = a\sqrt{1 - \frac{c^2}{v^2}}$

   e. $a = b\sqrt{1 - \frac{c^2}{v^2}}$

3. Menurut teori relativitas . . . .
   a. benda yang diam tidak mempunyai energi
   b. energi total benda sama dengan energi kinetik benda
   c. energi diam sama dengan energi kinetik benda
   d. energi kinetik sama dengan energi total ditambah energi diam
   e. energi benda terdiri dari energi kinetik dan energi diam

4. Menurut teori relativitas benda yang bergerak massanya . . . .
   a. tetap
   b. bertambah tergantung kelajuan benda
   c. berkurang tergantung kelajuan benda
   d. bertambah, tidak tergantung kelajuan benda
   e. berkurang, tidak tergantung kelajuan benda
5. Menurut Einstein, dalam keadaan diam energi benda . . . .
   a. sama dengan nol
   b. sebanding dengan massa dan laju cahaya di ruang hampa
   c. sebanding dengan massa dan kuadrat laju cahaya di ruang hampa
   d. sebanding dengan kuadrat massanya
   e. sebanding dengan laju cahaya di ruang hampa
6. Sebuah benda angkasa bergerak menjauhi bumi dengan kecepatan 0,1 c (c = laju cahaya di ruang hampa). Benda angkasa tersebut memancarkan sinar laser ke bumi. Kecepatan laser tersebut menurut pengamat di bumi adalah . . . .
   a. c
   b. 0,9 c
   c. 1,1 c
   d. 1,2 c
   e. a, b, c, d salah
7. Sebuah benda mempunyai energi diam sama dengan besar energi kinetiknya. Menurut teori relativitas benda itu mempunyai kelajuan sama dengan . . . .
   a. nol
   b. $\sqrt{0,25}\,c$
   c. $\sqrt{0,6}\,c$
   d. $\sqrt{0,75}\,c$
   e. $\sqrt{0,85}\,c$
8. Momentum benda yang massanya m dan bergerak dengan laju 0,8 c (c = laju cahaya di ruang hampa) menurut teori relativitas adalah . . . .
   a. 0,75 mc
   b. 0,80 mc
   c. 0,85 mc
   d. 0,95 mc
   e. 1,33 mc

9. Dua benda angkasa A dan B bergerak saling menjauhi dengan kecepatan masing-masing 0,5 c. Jika c = laju cahaya di ruang hampa, maka kecepatan A terhadap B menurut teori relativitas Einstein adalah . . . .
   a. 0,8 c
   b. 0,9 c
   c. 1,0 c
   d. 1,1 c
   e. 1,2 c

10. Sebuah benda massa diamnya adalah m, bergerak dengan kecepatan 0,1 c, sehingga massa bergeraknya adalah m'. Maka menurut teori relativitas momentum benda adalah . . . .
   a. 0,1 $m'c$
   b. [illegible] mc'
   c. mc^2
   d. 0,1 mc^2
   e. 1,1 mc

11. Jarak antara 2 menara yang berada di bumi adalah 150 km. Jarak antara 2 menara tersebut menurut orang yang berada dalam pesawat terbang yang sedang bergerak dengan kecepatan 0,6 c adalah . . . .
   a. 120 km
   b. 100 km
   c. 80 km
   d. 70 km
   e. 50 km

12. Energi yang dimiliki sebuah elektron untuk bergerak adalah 128,1 keV dan massa diam elektron $9{,}11 \times 10^{-31}$ kg, maka kelanjuan elektron tersebut adalah . . . .
   a. c
   b. 0,8 c
   c. 0,5 c
   d. 0,4 c
   e. 0,6 c

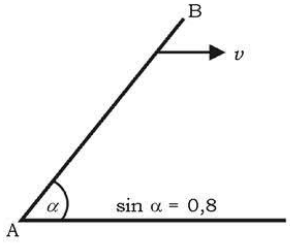
13. Dua sepeda berjalan beriringan dengan kecepatan sepeda pertama 0,6 c terhadap sepeda kedua. Kecepatan sepeda pertama terhadap orang yang berdiri di pinggir jalan jika kecepatan sepeda kedua 0,8 c terhadap orang yang berdiri di pinggir jalan adalah . . . .
   a. 0,8 c
   b. 0,6 c
   c. 0,9 c
   d. c
   e. 0

14. Percobaan Michelson – Morley mempunyai kesimpulan:
    1. *Gerak bersifat relatif.*
    2. *Adanya kesetaraan massa dan energi.*
    3. *Tidak ada eter.*
    4. *Laju cahya tetap untuk semua pengamat*

    Kesimpulan yang benar adalah . . . .
    a. 1, 2 dan 3
    b. 1 dan 3
    c. 3 saja
    d. 3 dan 4
    e. 1, 2, 3 dan 4

15. Besaran yang selalu memiliki nilai yang sama terhadap semua pengamat dan sama untuk segala arah adalah . . . .
    a. panjang
    b. laju benda
    c. kecepatan cahaya
    d. selang waktu
    e. massa

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. 

Batang AB panjang 20 m, posisi seperti pada gambar di samping, bergerak ke kanan dengan kecepatan v. Jika kecepatan cahaya di ruang hampa = 3×10^8 ms^{-1}, hitunglah panjang benda menurut teori relativitas!

2. Sebuah benda bermassa 20 kg bergerak dengan kecepatan 0,2 kali kecepatan cahaya. Jika kecepatan cahaya di ruang hampa = 3×10^8 ms^{-1}, hitunglah energi kinetik benda tersebut (dalam satuan J)!
3. Berapakah momentum benda bermassa 10 kg yang bergerak dengan kecepatan $1{,}8\times10^8$ ms^{-1}, jika kecepatan cahaya di ruang hampa 3×10^8 ms^{-1}?
4. Sebuah persegi dalam keadaan diam luasnya 100 m^2. Persegi tersebut bergerak searah salah satu rusuknya dengan kecepatan 0,6 kali kecepatan cahaya. Hitunglah luas persegi tersebut menurut pengamat yang diam!
5. Hitunglah energi total benda (dalam J) yang massanya 2 kg bergerak dengan kecepatan $1{,}8\times10^8$ ms^{-1}, jika kecepatan cahaya 3×10^8 ms^{-1}!

Aplikasi

"Ayo kembangkan semangat kewirausahaan dan etos kerja kalian!"

Untuk menambah wawasan dan pengetahuan kalian, buatlah kliping yang ada hubungannya dengan relativitas! bahan kliping dapat diambil dari majalah, koran ataupun dari internet. Kemudian kumpulkan pada guru!

Bab X

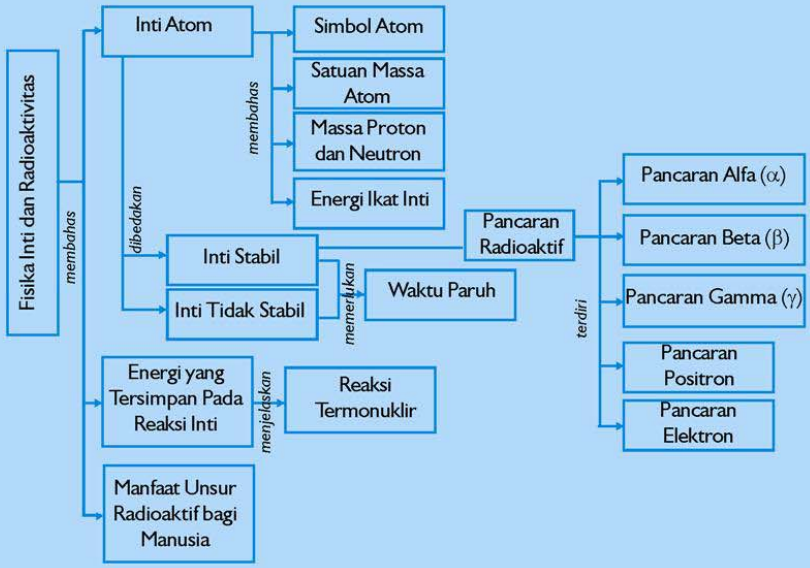
Fisika Inti dan Radioaktivitas

Sumber gambar: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembahasan dalam bab ini, kalian dapat mengidentifikasi inti atom dan radioaktivitas dan mendeskrip-sikan pemanfaatan radioaktif dalam teknologi dan ke-hidupan sehari-hari.

Untuk mempermudah tercapainya tujuan pembelajaran, perhatikanlah **Peta konsep** berikut.



Setelah Peta konsep kalian kuasai, perhatikan **Kata kunci** yang merupakan kunci pemahaman materi dalam bab ini, ingatlah beberapa kata kunci berikut.

1. Atom
2. Reaktor
3. Radioaktif

Sumber:
Ensiklopedi Umum untuk Pelajar
Gambar. *Ledakan Bom Atom*

Energi nuklir merupakan sumber energi yang sangat efektif dibandingkan dengan sumber energi lain. Penggunaan energi nuklir harus terkendali dan tepat. Energi nuklir dapat diibaratkan dengan api yang sangat banyak manfaatnya tetapi juga sangat membahayakan. Reaksi fusi yang menghasilkan energi yang sangat besar adalah bom atom.

Kebutuhan listrik di negara kita semakin meningkat walaupun dengan adanya pembangkit listrik tenaga air dan tenaga uap jumlah energi listrik yang dihasilkan belum juga mencukupi. Setujukah kalian kalau negara kita membangun pembangkit listrik tenaga nuklir? Jangan tergesa-gesa menjawab, pelajari dahulu materi pokok berikut!

A. Inti Atom

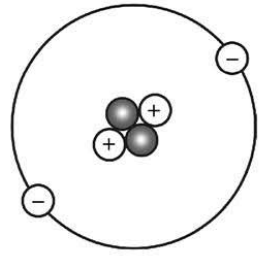
Atom terdiri dari elektron yang bermuatan negatif dan inti yang bermuatan positif. Partikel-partikel penyusun inti adalah neutron (netral, tidak bermuatan listrik) dan proton (bermuatan listrik positif).

1. Simbol Atom

Untuk mempermudah penulisan suatu atom diberi simbol sebagai berikut.

$$ {}_{Z}X^{A} $$

dengan
X = nama atom
Z = nomor atom, menunjukkan jumlah proton atau jumlah elektron pada atom netral
A = nomor massa atom, menunjukkan jumlah proton dan neutron dalam inti atom



Gambar 10.1 *Atom helium ($_2He^4$)*

Misalkan atom helium $_2He^4$, dapat ditentukan banyaknya proton, elektron, dan neutron.

Nomor massa = 4
Nomor atom = 2
Banyaknya elektron = nomor atom = 2
Banyaknya proton = banyaknya elektron = 2
Banyaknya neutron = nomor massa – banyaknya proton
= 2

2. Satuan Massa Atom

Selain kg, satuan massa atom adalah amu.

1 amu = 1 atomik massa unit
= 1 sma (satuan massa atom)
= $1{,}6604 \times 10^{-27}$ kg
= $\frac{1}{12}$ massa atom $_6C^{12}$

Sesuai dengan energi sebesar 931,46 MeV (mega elektron volt)
1 eV = 1 elektron volt = $1{,}6019 \times 10^{-19}$ J
1 MeV = 10^6 eV = $1{,}6019 \times 10^{-13}$ J

3. Massa Proton dan Neutron

Instrumen yang dipakai untuk mengukur massa atom adalah spektrometer massa. Spektrometer massa mempunyai ketelitian 1 bagian dari 10^6. Dengan alat tersebut dapat ditentukan massa beberapa atom misalnya: massa proton 1,0078 amu; massa neutron 1,0086 amu; massa lithium 7,0160 amu; massa hidrogen 1,0078 amu; massa deutrium 2,0151 amu; massa tritium 3,0161 amu; massa helium 4,0140 amu.

4. Energi Ikat Inti

Untuk menjelaskan tentang energi ikat inti, kita ambil contoh atom lithium $_3Li^7$ yang mempunyai massa 7,0160 amu. Inti atom lithium tersusun dari 7 nukleon yaitu 3 proton dan 4 neutron. Di atas sudah disebutkan massa 1 proton adalah 1,0078 dan massa 1 neutron = 1,086 amu, maka:

Massa 3 proton = 3 × 1,0078 = 3,0234 amu
Massa 4 neutron = 4 × 1,0086 = 4,0344 amu +
= 7,0578 amu
dengan massa lithium = 7,0160 amu −
Jadi ada selisih massa = 0,0418 amu
= 38,94 MeV

Energi sebesar itu setara dengan energi yang diperlukan untuk memecah inti lithium. Kesetaraan energi massa itu disebut *energi ikat inti*. Jadi, semakin besar energi ikatnya, lebih banyak energi yang diperlukan untuk memecah inti tersebut. Misalnya diperlukan 1640 MeV untuk memecah inti bismuth $_{83}Bi^{209}$ dan 38,94 MeV untuk memecah inti lithium. Kesetaraan energi dapat pula dengan satuan-satuan massa atau (sma) yang harganya sama dengan $1{,}6 \times 10^{-14}$ J.

Perhitungan di atas dapat ditulis dengan rumus:

$$\Delta m = \{Z\, m_p + (A - Z) m_n\} - m_i$$

dengan
Δm = energi ikat inti (amu)
m_p = massa 1 proton (amu)
m_n = massa 1 neutron (amu)
m_i = massa 1 inti atom (amu)
Z = nomor atom = jumlah proton
A = nomor massa atom
$(A - Z)$ = jumlah neutron

Latihan 10.1

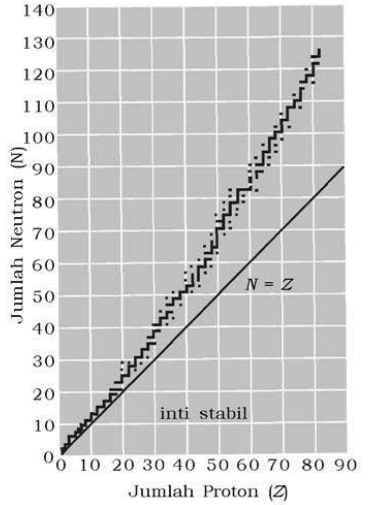
1. Hitung energi ikat inti atom deutrium!
2. Tentukan jumlah proton, neutron, dan elektron atom-atom dari:
   ${}_{82}Pb^{207}$, ${}_{84}Po^{210}$, dan ${}_{88}Ra^{226}$!

B. Pancaran Radioaktif

Inti atom dibedakan menjadi dua, yaitu inti yang stabil (=inti mantap) dan inti yang tidak stabil (radioaktif).

1. Inti Stabil

Pada umumnya inti stabil mengandung jumlah proton dan neutron sama. Inti stabil terdapat pada inti ringan yang nomor massanya kurang dari 40 ($A < 40$), atau unsur yang nomor atomnya kurang dari 20 ($Z < 20$), dapat dibaca pada diagram proton-neutron di samping.



Sumber: *Konsep Fisika modern-Beisser*

Gambar 10.2 *Diagram proton-neutron*

Tabel Muatan-muatan Partikel

Isotop	Simbol	Partikel yang dipancarkan	Waktu paruh	Konstanta peluruhan	Energi pancar (MEV)
Uranium I (UI)	$^{92}_{238}U$	α	4,51 × 109 y	$4,88 \times 10^{-18}$	4,19
Uranium X_1 (UX_1)	$^{234}_{90}Th$	β	24,1 d	$3,33 \times 10^{-7}$	0,19
Uranium X_2 (UX_2)	$^{234}_{91}Pa$	β	1,18 m	$9,77 \times 10^{-3}$	2,31
Uranium Z (UZ)	$^{234}_{92}Pa$	β	6,66 h	$2,88 \times 10^{-5}$	0,5
Uranium H (UH)	$^{234}_{92}U$	α	$2,48 \times 10^{5}$ y	$8,80 \times 10^{-14}$	4,769
Thorium (Th)	$^{230}_{90}Th$	α	$8,0 \times 10^{4}$ y	$2,75 \times 10^{-13}$	4,68
Radium (Ra)	$^{226}_{88}Ra$	α	1620 y	$1,36 \times 10^{-11}$	4,777
Radon (Rn)	$^{222}_{86}Rn$	α	3,82 d	$2,10 \times 10^{-6}$	5,486
Radium A (Ra A)	$^{218}_{84}Po$	α, β	3,05 m	$3,78 \times 10^{-3}$	α: 5,998 β: ?
Radium B (Ra b)	$^{214}_{82}Rb$	β	26,8 m	$4,313 \times 10^{-4}$	0,7
Astatine-218 (^{218}At)	$^{218}_{85}At$	α	1,3 s	0,4	6,70
Radium C (RaC)	$^{214}_{83}Bi$	α, β	19,7 m	$5,86 \times 10^{-4}$	α: 5,51 β: 3,17
Radium C' (RaC')	$^{214}_{84}Po$	α	1,64 ×10-4 s	$4,23 \times 10^{3}$	7,683
Radium C" (RaC")	$^{210}_{81}Tl$	β	1,32 m	$8,75 \times 10^{-4}$	1,96
Radium D (RaD))	$^{210}_{82}Pb$	β	21 y	$1,13 \times 10^{-9}$	0,0185
Radium E (RaE)	$^{210}_{83}Bi$	β	5,0 g	$1,60 \times 10^{-6}$	1,155
Radium F (RaF)	$^{210}_{84}Po$	α	138,4 d	$5,80 \times 10^{-8}$	5,300
Thalium-206 (^{206}Th)	$^{206}_{81}Tl$	β	4,2 m	$2,75 \times 10^{-3}$	1,151
Radium G (RaG)	$^{206}_{82}Pb$	stabel			

2. Inti Tidak Stabil

Inti tidak stabil yang juga disebut *inti radioaktif*. Inti radioaktif akan berubah menjadi inti baru dengan memancarkan partikel-partikel α (alfa), β (beta), γ (gamma).

a. Pancaran alfa (α)

Unsur radioaktif yang memancarkan partikel α akan berubah menjadi unsur baru. Dapat ditulis dengan persamaan reaksi:

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z-2}Y^{A-4} + {}_{2}He^{4}$$

Contohnya:

$$_{92}U^{238} \rightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$$

Pancaran partikel α, mereduksi ukuran inti. Partikel α tidak lain adalah inti atom helium yang berenergi tinggi, bermuatan positif, membelok di dalam medan magnet, dibandingkan dengan β dan γ daya tembus α paling kecil.

b. Pancaran Beta (β)

Unsur radioaktif yang memancarkan partikel β dapat ditulis dengan persamaan reaksi:

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z+1}Y^{A} + {}_{-1}e^{0}$$

Misalnya:

$$_{6}C^{14} \rightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{-1}e^{0}.$$

Pada pancaran β, mengubah neutron menjadi proton. Partikel β tidak lain adalah elektron yang bergerak cepat, bermuatan negatif, membelok di dalam medan magnet, daya tembusnya lebih kecil dari γ dan lebih besar dari α.

c. Pancaran Gamma (γ)

Dapat ditulis dengan persamaan reaksi:

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z}Y^{A} + \gamma$$

Pancaran γ tidak mengubah inti atom, inti γ memancarkan energi berupa gelombang elektromagnetik yang berfrekuensi tinggi.
Contoh:

$$_{38}Sr^{87} \rightarrow {}_{38}Sr^{87} + \gamma.$$

Partikel γ tidak bermuatan listrik, daya tembusnya paling besar dibanding α dan β.

d. Pancaran Positron

Dapat ditulis dengan persamaan reaksi:

$$_{Z}X^{A} \rightarrow {}_{Z-1}Y^{A} + {}_{1}e^{0}$$

Pancaran positron mengubah proton menjadi neutron.
Contoh:

$$_{29}Cu^{64} \rightarrow {}_{28}Ni^{64} + {}_{1}e^{0}$$

Hal ini terjadi karena inti memiliki jumlah proton yang relatif lebih banyak daripada jumlah neutron.

e. *Penangkapan Elektron*

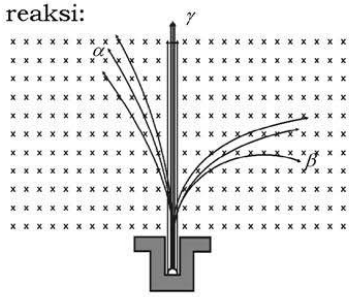
Dapat ditulis dengan persamaan reaksi:

$$ {}_{Z}X^{A} + {}_{-1}e^{0} \rightarrow {}_{Z-1}Y^{A} $$

Penangkapan elektron mengubah proton menjadi neutron. Hal ini terjadi karena inti memiliki jumlah proton yang relatif lebih banyak daripada jumlah neutron.

Contoh: $ {}_{29}Cu^{64} + {}_{-1}e^{0} \rightarrow {}_{28}Ni^{64} $

Gambar 10.3 menunjukkan zat radioaktif berada di dalam medan magnet tegak lurus masuk bidang gambar. Pembelokan partikel α dan β sesuai dengan arah gaya lorentz.



Sumber: *Fisika SMA-Suwardo, dkk*

Gambar 10.3 *Bagan lintasan sinar alfa, beta, dan gamma dalam medan magnetik*

Aksi Fisika

"Ayo kembangkan kecakapan akademik kalian!"

Setelah kalian memahami pancaran radiokatif, dapatkah kalian menyelesaikan soal di bawah ini. Jika tidak dapat carilah informasi dari buku-buku yang ada di perpustakaan sekolah kalian!

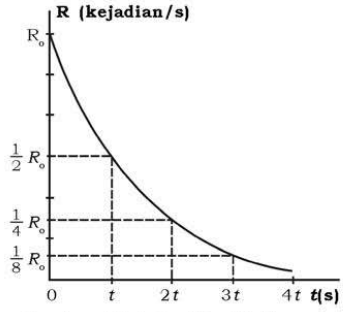
1. Tulis reaksi bahwa proton berubah menjadi neutron ketika memancarkan positron!
2. Tulis persamaan reaksi proton yang menangkap elektron berubah menjadi neutron!

3. Waktu Paruh

Jumlah inti maupun aktivitas pancaran zat radioaktif selalu berkurang setiap saat. Walaupun terus berkurang, tetapi selalu bersisa. Aktivitas pancaran zat radioaktif adalah banyaknya inti atom zat radioaktif yang meluruh setiap satuan waktu. Ditulis dengan persamaan:

$$ R = -\frac{dN}{dt} $$

Tanda (-) dipakai supaya R menjadi kuantitas positif karena $\frac{dN}{dt}$.



Gambar 10.4 *Grafik aktivitas zat radioaktif terhadap waktu*

Pengukuran secara eksperimen menunjukkan bahwa aktivitas zat radioaktif menurun secara eksponensial terhadap waktu. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan grafik gambar 10.4.

Dari grafik dapat dibaca bahwa setiap selang waktu t, aktivitas zat radioaktif menjadi $\frac{1}{2}$ dari semula waktu yang diperlukan. Sehingga aktivitas zat radioaktif tinggal separuh dari semula dinamakan waktu paruh (T).

Perilaku yang ditunjukkan pada grafik itu dapat ditulis dengan persamaan

$$R = R_o \ e^{\lambda t}.$$

Apabila $t = T$, maka $R = \frac{1}{2} R_o$ sehingga diperoleh:

$$\frac{1}{2} R_o = R_o \ e^{\lambda T}$$

$$e^{\lambda T} = 2$$

$$\lambda T = \ln 2$$

$$T = \frac{0{,}693}{\lambda}$$

dengan
T = waktu paruh (s)
λ = tetapan peluruhan (kejadian/sekon)

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 10.4 di atas juga dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang lain:

$$R = R_o \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

dengan
R = aktivitas zat radioaktif setelah meluruh (kejadian/s)
R_o = aktivitas zat radioaktif mula-mula
t = waktu (s)
T = waktu paruh (s)

Dalam SI satuan aktivitas adalah becquerel.

1 becquerel	=	1 Bq
	=	1 kejadian/s

Satuan lain adalah Curie (Ci)

$$1 \text{ Ci} = 3{,}7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Dapatkah kalian memberikan contoh peristiwa yang menggunakan aktifitas pancaran zat radioaktif?

Untuk memahami aktivitas radioaktif dan waktu paruh perhatikan contoh soal berikut.

Saintis

Marie Cuorie (1867-1934)

Marie Cuorie ilmuwan asal Perancis. Penemuan Marie dipicu oleh penemuan sinar mirip dengan sinar X pada uranium oleh Henry Becquerel. Marie mempelajari sinar ini. Pada tahun 1898, Marie menemukan torium dan menciptakan istilah radioaktif. Pada tahun yang sama, ia bersama suaminya menemukan radium. Pada tahun 1898, dalam penelitian rarioaktif, Marie menemukan Polonium. Marie menerima Nobel pada tahun 1911 untuk ilmu kimia karena menemukan polonium radium, dan mengisolasi radium.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

Contoh Soal 10.1

Tetapan peluruhan zat radioaktif $6{,}93 \cdot 10^{-3}$ Bq. Setelah 200 sekon aktivitas pancarannya menjadi 4×10^6 Bq. Hitung aktivitas mula-mula zat radioaktif tersebut!

Penyelesaian:

Diketahui: $\lambda = 6{,}93 \times 10^{-3}$
$T = 200$ s
$R = 4 \times 10^6$ Bq

Ditanya: $R_o = \ldots?$

Jawab:

$$T = \frac{0{,}693}{\lambda} = \frac{0{,}693}{6{,}93 \,.\, 10^{-3}} = 100 \text{ s}$$

$$R = R_o \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$4 \times 10^6 = R_o \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{200}{100}}$$

$$R_o = 16 \times 10^6 \text{ Bq}$$

Latihan 10.2

Zat radioaktif dengan tetapan peluruhan $0{,}693\times10^{-6}$ s. Aktivitas mula-mula zat tersebut 6 Ci.

a. Hitung waktu paruh zat itu!
b. Hitung aktivitasnya setelah 4 juta sekon!

C. Deret Radioaktif

Inti atom yang mengalami peluruhan disebut inti induk. Sedang inti yang dihasilkan disebut inti anak. Inti anak ini meluruh lagi membentuk inti anak baru. Begitu seterusnya sehingga terbentuk deret radioaktif yang berakhir dengan inti stabil.

Partikel yang dipancarkan adalah α, β, dan γ. Pancaran β dan γ tidak mereduksi nomor massa inti, hanya partikel α yang mereduksi nomor massa sebuah inti yaitu 4, sehingga hanya dikenal 4 jenis deret radioaktif.

a. Deret thorium, inti induk ${}_{90}Th^{232}$ yang berakhir dengan inti mantap ${}_{82}Pb^{208}$ dengan umur paruh $1{,}39\times10^{10}$ tahun.
b. Deret neptunium, inti induk ${}_{93}Np^{237}$ berakhir dengan inti mantap ${}_{83}Bi^{209}$ dengan umur paruh $2{,}25\times10^{6}$ tahun.
c. Deret uranium, inti induk ${}_{92}U^{238}$ berakhir dengan inti mantap ${}_{82}Pb^{206}$ dengan umur paruh $4{,}51\times10^{9}$ tahun.
d. Deret aktinium, inti induk ${}_{92}U^{235}$ berakhir dengan inti mantap ${}_{82}Pb^{207}$ dengan umur paruh $7{,}07\times10^{8}$ tahun.

D. Energi yang Tersimpan pada Reaksi Inti

Pada reaksi inti, selain mendapatkan radioisotop baru juga menghasilkan energi yang sangat besar. Di bawah ini dituliskan beberapa contoh reaksi inti.

a. Penembakan lithium dengan proton menghasilkan 2 inti helium dan sejumlah energi.

$$ {}_{3}Li^{7} + p \rightarrow 2\,{}_{2}He^{4} + \text{energi} $$

b. Penembakan uranium dengan neutron lambat, menghasilkan inti baru dan energi.

$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{54}Xe^{140} + {}_{38}Sr^{94} + 2{}_{0}n^{1}$ + energi (200 MeV)

c. Penggabungan (fusi) dua atom ringan menghasilkan inti baru dan energi (misalnya reaksi termonuklir di matahari).

$_{1}H^{1} + {}_{1}H^{1} \rightarrow {}_{1}He^{2} + {}_{1}e$ + energi (3,3 MeV)

$_{1}H^{2} + {}_{1}H^{1} \rightarrow {}_{2}He^{3} + \gamma$ + energi (4,0 MeV)

$_{2}He^{3} + {}_{2}He^{3} \rightarrow {}_{2}He^{4} + {}_{1}H^{1} + {}_{1}H^{1}$ + energi (17,6 MeV)

Untuk menghitung energi yang dihasilkan pada reaksi inti kita ambil contoh sebagai berikut.

Hitung energi yang dihasilkan pada $_{1}H^{2} + {}_{1}H^{3} \rightarrow {}_{2}He^{4} + n$

Ruas kiri:

$_{1}H^{2}$ = 2,0141 amu

$_{1}H^{3}$ = 3,0161 amu +

5,0302 amu

Ruas kanan:

$_{2}He^{4}$ = 4,0140 amu

n = 1,0086 amu +

5,0226 amu −

Energi yang dihasilkan = 0,0076 amu

= 0,0076 × 931 MeV

= 7,0756 MeV

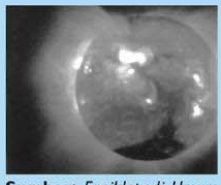
1 sma (satuan massa atom) = 1,6 × 10^{-19} joule

Latihan 10.3

Dengan menggunakan ketentuan massa proton dan massa neutron. Hitung energi yang tersimpan pada reaksi $_{3}Li^{7} + p \rightarrow 2\alpha$ (dalam satuan joule)!

"Ayo kembangkan pengetahuan kalian dengan mencari informasi lebih jauh!"

Dimensi Fisika



Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

Reaksi atom yang menyebabkan terjadinya perubahan pada inti atom disebut dengan reaksi nuklir. Reaksi nuklir dapat terjadi secara alami maupun buatan. Ada 2 jenis reaksi nuklir, yaitu reaksi fusi dan fisi.

Perhatikan gambar di samping! Pada matahari terjadi reaksi nuklir alami, reaksi nuklir apakah yang terjadi? reaksi fusi atau fisi? Untuk menjawabnya, carilah informasi dari buku atau internet! Setelah tahu jawabannya, berikan juga contoh untuk reaksi nuklir buatan!

E. Manfaat Unsur Radioaktif bagi Manusia

Unsur radioaktif memang sangat berbahaya jika ceroboh penggunaannya. Akan tetapi jika penggunaannya terkendali dan tepat, sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia.

1. Reaktor Nuklir

Reaktor atom atau reaktor nuklir merupakan tempat berlangsungnya reaksi inti berantai yang terkendali. Sebagai bahan bakar pada reaktor nuklir adalah uranium $_{92}U^{235}$. Uranium akan mengandung 99,29% $_{92}U^{238}$ dan hanya 0,71% $_{92}U^{235}$. Untuk keperluan itu kadar uranium U^{235} harus ditingkatkan, sering disebut uranium yang diperkaya. Pengayaan itu sampai 2,4% – 3% sesuai dengan jenis reaktornya. Ditinjau dari kegunaannya reaktor dibedakan menjadi tiga macam yaitu:

Info Sains

Unsur radioaktif juga dapat memancarkan radiasi. Radiasi yang dipancarkan oleh unsur radioaktif sangat berbahaya bagi lingkungan karena mampu mengionisasi bahan-bahan yang dilaluinya. Tetapi di dalam bidang kedokteran, sinar radioaktif antara lain digunakan untuk mengobati tumor sehingga penyebaran tumor akan dapat dicegah. Radiasi unsur radioaktif dapat dideteksi oleh pencacah Geiger-Muller.

Sumber: *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar*

a. Reaktor Daya

Reaktor yang menghasilkan tenaga, misalnya pada PLTN.

b. Reaktor Penelitian

Reaktor yang dipakai pada penelitian di bidang teknologi, kimia, industri, biologi, kedokteran dan lain sebagainya.

c. Reaktor Produksi Isotop

Reaktor yang digunakan untuk memproduksi radioisotop (isotop yang bersifat radioaktif). Radioisotop yang dihasilkan dipakai di bidang kedokteran, kimia, farmasi, industri, dan sebagainya.

"Ayo operasikan wawasan kebhinekaan kalian terhadap potensi kekayan Indonesia!"

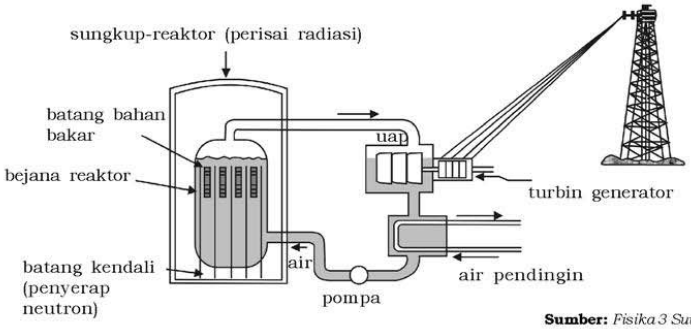
Dimensi Fisika

Sumber: *www.nuclear.pl*

Carilah informasi tentang keberadaan reaktor yang ada di Indonesia! Dan jelaskan kegiatan apa saja yang berlangsung pada reaktor tersebut. Dan jika perlu lakukan kunjungan ke tempat itu untuk melihat jelas kegiatan yang berlangsung di dalamnya.

2. Komponen Utama Reaktor Nuklir

Gambar 10.5 menunjukkan diagram reaktor nuklir air mendidih BWR secara sederhana.



Sumber: *Fisika 3 Suwardo, dkk*

Gambar 10.5 *Reaktor air mendidih (BWR)*

Ada enam komponen utama pada reaktor nuklir, yaitu:

a. Bahan Bakar

Pada umumnya berupa UO_2 dalam bentuk pellet, agar mempunyai luas permukaan yang besar untuk mempermudah perpindahan panas yang dihasilkannya. Bahan bakar dibungkus dalam selongsong agar untuk radioaktif dari reaksi fisi tetap terkungkung. Uraniumnya berupa uranium yang diperkaya. Pada reaktor, terjadi reaksi berantai sebagai berikut.

$$_{92}U^{235} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{54}X_{e}^{140} + {}_{38}Sr^{94} + {}_{0}n^{1} + {}_{0}n^{1}$$

Neuron ($_{0}n^{1}$) yang terbentuk bereaksi lagi dengan $_{92}U^{235}$ dan seterusnya.

b. Moderator

Berfungsi untuk menurunkan energi neutron sampai pada energi termal yaitu 0,025 eV. Bahan yang digunakan adalah bahan yang tersusun dari unsur yang memiliki nomor massa kecil, misalnya air ringan (H_2O), air berat (D_2O), dan grafit.

c. Batang Kendali

Terbuat dari kadmium, boron, dan hafnium. Berfungsi untuk mengurangi populasi neutron yang berarti mengendalikan reaksi fisi yang terjadi.

d. Pendingin

Banyak reaktor yang menggunakan moderator sekaligus sebagai pendingin. Selain pendingin cair (air dan air berat) sering pula digunakan pendingin gas yaitu gas He dan CO_2 atau pendingin logam cair seperti Na dan NaK.

e. Sistem Penukar Panas (heat exchanger)

Pendingin biasanya merupakan suatu siklus tertutup. Dengan mempergunakan pompa, bahan pendingin tadi dikembalikan lagi ke reaktor setelah panas dan dipindahkan ke pendingin sekunder di dalam sistem penukaran panas atau *heat exchanger*.

f. Perisai Radiasi

Perisai radiasi menahan radiasi yang dipancarkan pada proses pembelahan inti maupun nuklida-nuklida hasil pembelahan agar para pekerja dapat bekerja dengan aman.

3. Manfaat Unsur Radioaktif pada Penelitian Ilmiah

Unsur-unsur radioaktif dalam bentuk isotop digunakan secara luas dalam penelitian. Pada bidang biologi, misalnya untuk mempelajari tentang difusi sel, pembentukan molekul-molekul protein, sintesis asam DNA, juga untuk menentukan umur berbagai sel.

Pada ilmu kimia, penggunaan radioaktif telah banyak mengungkap sifat-sifat reaksi kimia, kecepatan reaksi, dan peran katalis dalam proses reaksi kimia.

Dalam kelautan digunakan untuk menganalisis arus laut, misalnya menentukan arah dan kecepatan arus laut, gerakan pasir pantai, aliran endapan sungai dan lain sebagainya.

4. Penggunaan Unsur Radioaktif dalam Diagnosis dan Perawatan Medik

Dalam diagnosis dan perawatan medik banyak digunakan unsur radioaktif, misalnya isotop tulium 170, iridium 192, kobalt 60, sesium 137 dan iodium 131. Dengan memasukkan isotop tersebut dalam aliran darah, dapat dipakai misalnya menentukan letak tumor, penentuan kecepatan detak jantung, penentuan tempat-tempat yang kehilangan darah. Kanker dapat diobati dengan iodium 131.

5. Penggunaan Radioisotop dalam Industri

Polimerisasi berbagai monomer dengan menggunakan isotop dapat digunakan untuk meningkatkan mutu kayu. Radioisotop dapat digunakan untuk menaksir ketebalan suatu bahan, dalam industri makanan digunakan untuk membasmi mikroorganisme yang berbahaya, menghalangi timbulnya jamur pada makanan dan lain sebagainya.

6. Penggunaan Radioisotop dalam Pertanian

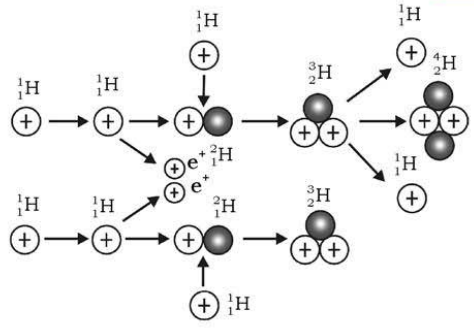
Dengan radiasi dapat mengubah hereditas tanaman, sehingga mutasi-mutasi yang diperoleh menghasilkan tanaman yang lebih baik. Untuk membasmi serangga, dengan cara membuat mandul serangga jantan dengan radiasi.

7. Penggunaan Radioisotop dalam Program Ruang Angkasa

Dengan menggunakan karbon 14 dapat diamati ada tidaknya kehidupan di planet lain. Organisme apapun yang hidup akan menyerap karbon 14.

F. Reaksi Termonuklir

Sumber energi di bumi yang belum pernah habis adalah panas yang dihasilkan oleh reaksi fusi di matahari. Yaitu reaksi penggabungan proton dengan proton yang berlangsung secara berantai. Di samping ini digambarkan bagan reaksi fusi berantai di matahari.



Gambar 10.6 *Bagan reaksi fusi berantai di matahari*

Sebenarnya reaksi ini juga merupakan sumber energi bagi manusia di bumi. Bahan bakunya mudah sekali didapat, yaitu dari air berat (0,1% air berat terdapat pada H_2O) dan reaksinya bersih, artinya tidak memancarkan partikel-partikel yang berbahaya bagi manusia. Sayangnya cara pengendaliannya sampai saat ini belum ditemukan. Dikarenakan

reaksi fusi harus terjadi pada suhu yang sangat tinggi (jutaan derajat), padahal pada suhu tersebut semua zat akan berwujud plasma, yaitu gas, ion, dan elektron. Untuk itu dirancangkan suatu alat yang dapat dipakai untuk tempat reaksi fusi tersebut yang dinamakan botol magnetik. Kalau reaksi ini tidak dapat dikendalikan yang terjadi adalah ledakan yang dahsyat (bom hidrogen).

Aksi Fisika

"Ayo apresiasikan wawasan kebhinekaan kalian terhadap potensi kekayaan Indoensia!"

Setelah mempelajari fisika inti dan radioaktivitas, apakah kalian ingin tahu seperti apa dan bagaimana proses pembuatan radioaktif sehingga menghasilkan sesuatu yang bermanfaat bagi kehidupan manusia. Indonesia memiliki tempat untuk penelitian dan pengembangan radioaktivitas yaitu BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional) yang merupakan lembaga pemerintah non-departemen yang bertugas untuk membantu presiden dalam merumuskan kebijakan di bidang nuklir dan melaksanakan pemanfaatan Tenaga Nuklir di Indonesia. Jika kalian ingin tahu maka sempatkan untuk mengunjunginya untuk menambah pengetahuan kalian tentang teknologi terbaru tentang nuklir!

Rangkuman

1. Energi ikat inti: $\Delta m = \left\{ Z m_p + (A - Z) m_n \right\} - m_i$
2. Waktu paruh: $T = \dfrac{0{,}693}{\lambda}$
3. Aktivitas radioaktif: $R = R_o \left(\dfrac{1}{2} \right) \dfrac{t}{\lambda}$
4. Jenis deret radioaktif antara lain deret thorium, deret neptunium, deret uranium, deret aktinium.
5. Manfaat unsur radioaktif bagi manusia:
   a. Reaktor nuklir
   b. Sistem penukar panas
   c. Perisai radiasi
   d. Penggunaan dalam bidang industri, pertanian, penelitian ilmiah, dan lain-lain.

Evaluasi

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Dalam suatu peluruhan ${}_3Li^7 + {}_1H^1 \rightarrow {}_4Be^8 + X$, X adalah . . . .
   a. elektron
   b. proton
   c. neutron
   d. sinar gamma
   e. sinar beta

2. Satu inti ${}_7N^{14}$ yang bereaksi dengan zarah-zarah alfa menghasilkan ${}_8O^{17}$ dan . . . .
   a. proton
   b. positron
   c. reaksi berantai
   d. neutron
   e. deutron

3. Dalam reaksi ini:
   ${}_1D^2 + {}_1D^2 \rightarrow {}_1H^3 + X + 14{,}7$ MeV, X adalah . . . .
   a. zarah alfa
   b. proton
   c. zarah beta
   d. neutron
   e. foton

4. Bila waktu paruh suatu unsur radioaktif besarnya 1 sekon, maka setelah 4 sekon tinggal . . . .
   a. $\frac{1}{2}$ bagian
   b. $\frac{1}{4}$ bagian
   c. $\frac{1}{8}$ bagian
   d. $\frac{1}{16}$ bagian
   e. tetap

5. Urutan daya tembus sinar radioaktif dimulai dari yang paling kuat . . . .
   a. sinar α, sinar β, sinar γ
   b. sinar γ, sinar α, sinar β
   c. sinar β, sinar γ, sinar α
   d. sinar α, sinar γ, sinar β
   e. sinar γ, sinar β, sinar α

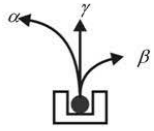
6. Jika suatu neutron dalam satu inti berubah menjadi proton, maka inti memancarkan . . . .
   a. partikel α
   b. partikel β
   c. sinar γ
   d. proton
   e. deutron

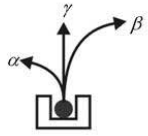
7. Isotop $_{92}U^{235}$ mempunyai . . . .
   a. jumlah proton dan neutron 92
   b. jumlah neutron 92, jumlah proton 92
   c. jumlah neutron 143, jumlah proton 92
   d. jumlah neutron 143, jumlah elektron 235
   e. jumlah elektron 92 dan jumlah proton 235

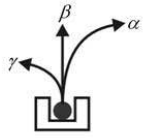
8. Sesudah 2 jam, suatu unsur radioaktif tinggal separuh dari mula-mula. Waktu paruh unsur tersebut adalah . . . .
   a. 15 menit
   b. 30 menit
   c. 45 menit
   d. 60 menit
   e. 120 menit

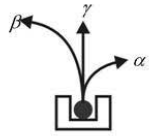
9. Inti atom tembaga dilambangkan $_{29}Cu^{63}$, ion Cu^{++} memiliki . . . .
   a. proton 31
   b. neutron 36
   c. nomor massa 29
   d. elektron 27
   e. elektron 29

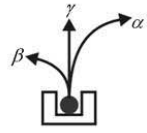
10. Tabung tebal berisi bahan radioaktif diletakkan di dalam medan magnet yang tegak lurus keluar bidang gambar. Gambar yang melukiskan eksperimen itu adalah . . . .

a. 

b. 

c. 

d. 

e. 

11. Sinar γ diarahkan pada suatu logam setebal 5 cm. Setelah keluar dari logam ternyata intensitasnya tinggal 50%. Koefisien pelemahan zat tersebut adalah . . . .
   a. 0,139 cm^{-1}
   b. 1,39 cm^{-1}
   c. 0,0139 cm^{-1}
   d. 0,094 cm^{-1}
   e. 0,94 cm^{-1}

12. Suatu unsur radioaktif akan meluruh separohnya dalam waktu 200 sekon. Konstanta peluruhan unsur tersebut adalah . . . .
    a. $6{,}93\times10^{-3}\ s^{-1}$
    b. $3{,}465\times10^{-3}\ s^{-1}$
    c. $2{,}31\times10^{-3}\ s^{-1}$
    d. $1{,}7325\times10^{-3}\ s^{-1}$
    e. $1{,}386\times10^{-3}\ s^{-1}$

13. Pada reaksi ${}_3Li^6 + {}_0n^1 \rightarrow {}_1H^3 + X$, X adalah partikel . . . .
    a. α
    b. β
    c. γ
    d. netron
    e. elektron

14. Banyaknya netron pada nuklida ${}_{33}Ge^{73}$ adalah . . . .
    a. 32
    b. 41
    c. 73
    d. 20
    e. 74

15. Radium B, ${}_{82}Pb^{214}$ memiliki energi ikat sebesar 0,4 Mev. Massa inti radium apabila diketahui m_p = 1,007825 sma, m_n = 1,008665 sma (1 sma c^2 = 931 Mev) . . . .
    a. 215,85431 sma
    b. 251,85431 sma
    c. 215,85388 sma
    d. 125,8531 sma
    e. 125,85388 sma

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Suatu zat radioaktif mula-mula mempunyai kekuatan radiasi 64 curie dan mempunyai waktu paruh 5 detik. Hitung kekuatan radiasi setelah 1 menit!
2. Massa neutron, proton, dan partikel alfa masing-masing 1,008 sma, 1,007 sma dan 4,002 sma. Jika 1 sma = 931 MeV, hitung tenaga ikat partikel alfa!
3. Massa inti ${}^7_3Li$ adalah 7,016004 sma. Jika massa proton (m_p) = 1,007825 sma massa netron (m_n) = 1,008665 sma, dan 1 sma = 931 MeV. Hitung energi ikat inti ${}^7_3Li$!

4. Hitunglah besarnya energi yang dibebaskan, jika terjadi reaksi penggabungan berikut.

   ${}_1^2H + {}_1^3H \rightarrow {}_2^4He + {}_0^1n$

   (${}_1^2H$ = 2,01402 sma, ${}_1^3H$ = 3,01665 sma, ${}_2^4He$ = 4,002608 sma, ${}_0^1n$ = 1,008685 sma dan 1 sma = 931,4 MeV)

5. Sebongkah batu yang mengandung radioaktif ${}_{92}U^{238}$ ($T = 4{,}5 \times 10^9$ tahun) mempunyai intensitas radioaktif tinggal seperempat dari intensitas semula. Hitung umur batu itu!

Aplikasi

"Ayo kembangkan semangat kewirausahaan dan etos kerja kalian"

Buatlah artikel tentang penggunaan radioaktif untuk tujuan damai. Dapat diambil dari buku, majalah, koran ataupun internet. Artikel dikumpulkan kemudian dipresentasikan di depan kelas.

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Sebuah benda pijar terletak pada sinar kuning dengan suhu benda tersebut mencapai 4500 K. Benda tersebut mempunyai intensitas pancaran maksimum, maka panjang gelombang benda adalah . . . .
   a. $5^{\times}10^{-7}$ m
   b. $5{,}5^{\times}10^{-7}$ m
   c. 6×10^{-7} m
   d. $6{,}44\times10^{-7}$ m
   e. $6{,}5\times10^{-7}$ m
2. Jumlah minimum foton-foton mempunyai panjang gelombang 555 nanometer per detik yang diperlukan untuk menimbulkan rangsangan visual pada mata normal (dengan kondisi optimal) adalah 100. Jika besaran ini dinyatakan dalam watt, maka besarnya . . . .
   a. $3{,}58\times10^{-17}$ watt
   b. $2{,}3\times10^{-34}$ watt
   c. 55,5 watt
   d. 100 watt
   e. 5550 watt
3. Besarnya energi yang dipancarkan benda hitam sempurna bersuhu 400 K selama 2 jam adalah . . . .
   a. 0,456 J
   b. 0,33 J
   c. 0,316 J
   d. 0,253 J
   e. 0,163 J
4. Besarnya energi yang diperlukan untuk memisahkan elektron dari inti atom hidrogen, jika diketahui jari-jari lintasan elektron dalam mengorbit inti 6×10^{-11} m adalah . . . .
   a. 8 eV
   b. 10,5 eV
   c. 12 eV
   d. 13,6 eV
   e. 14,2 eV
5. Foton dipancarkan dari keadaan energi pada bilangan kuantum 4 pada deret Lyman, energi yang dibuang foton tersebut adalah . . . .
   a. 12,1 eV
   b. 12,46 eV
   c. 12,75 eV
   d. 13,6 eV
   e. 27,2 eV

6. Di bawah ini yang benar mengenai teori atom Dalton adalah . . . .
   a. sebagian besar massa atom terkumpul pada inti atom
   b. atom suatu unsur tidak dapat berubah menjadi atom suatu unsur lain
   c. muatan-muatan positif terdapat dalam inti atom
   d. atom memiliki muatan positif yang terbagi merata ke seluruh inti atom
   e. atom adalah sesuatu yang tidak dapat dibagi-bagi lagi
7. Arah momentum elektron ditentukan oleh . . . .
   a. bilangan kuantum utama
   b. bilangan kuantum orbital
   c. bilangan kuantum spin
   d. bilangan kuantum magnetik
   e. semua jawaban salah
8. Dua mobil balap A dan B berjalan beriringan, kecepatan A = 0,8 c terhadap B, dan kecepatan B = 0,6 c terhadap penonton yang diam di luar lintasan. Besarnya kecepatan A terhadap penonton adalah . . . .
   a. 0,635 c
   b. 0,698 c
   c. 0,8 c
   d. 0,85 c
   e. 0,946 c
9. Momentum elektron yang bergerak dengan kecepatan 0,6 c sebesar . . . .
   a. $2{,}05 \times 10^{-22}$ kg m s^{-1}
   b. $2{,}47 \times 10^{-23}$ kg m s^{-1}
   c. $3{,}2 \times 10^{-31}$ kg m s^{-1}
   d. $6{,}4 \times 10^{-22}$ kg m s^{-1}
   e. $6{,}4 \times 10^{-31}$ kg m s^{-1}
10. Suatu partikel yang bergerak memiliki energi kinetik $\frac{1}{2}$ kali energi diamnya mempunyai kecepatan . . . .
    a. $\frac{1}{2}c$
    b. $\sqrt{\frac{1}{3}}c$
    c. $\frac{2}{3}\sqrt{2}\,c$
    d. c
    e. $2c$

11. Sebuah mobil panjangnya 2 m bergerak dengan kecepatan 0,8 c searah dengan panjangnya. Mobil tersebut lewat di depan orang yang berdiri di pinggir jalan setelah . . . sekon.
    a. 1×10^{-9}
    b. 3×10^{-9}
    c. 3×10^{-8}
    d. 5×10^{-9}
    e. 6×10^{-9}
12. Perhitungan Geiger-Muler adalah alat untuk mengukur . . . .
    a. jumlah kalor yang dipancarkan oleh suatu unsur radioaktif
    b. jumlah proton dalam suatu inti atom radioaktif
    c. intensitas radiasi unsur radioaktif
    d. jumlah elektron dalam atom radioaktif
    e. jumlah neutron dalam atom radioaktif
13. Proses di mana sebuah inti atom berat terpecah menjadi dua atom yang lebih ringan disebut . . . .
    a. reaksi nuklir
    b. reaksi inti
    c. fusi
    d. fisi
    e. peluruhan
14. Terjadi reaksi inti sebagai berikut ${}_7Na^{14} + \alpha \rightarrow x + p$ dilepaskan sejumlah energi pada persamaan reaksi inti di atas x adalah . . . .
    a. ${}_8O^{18}$
    b. ${}_{-8}O^{17}$
    c. ${}_9F^{16}$
    d. ${}_3O^{16}$
    e. ${}_6N^{16}$
15. Suatu unsur radioaktif akan meluruh separohnya dalam waktu 200 sekon. Konstanta peluruhan unsur tersebut adalah . . . .
    a. $6{,}93\times10^{-3}\ s^{-1}$
    b. $5{,}66\times10^{-3}\ s^{-1}$
    c. $4{,}75\times10^{-3}\ s^{-1}$
    d. $3{,}465\times10^{-3}\ s^{-1}$
    e. $2{,}31\times10^{-3}\ s^{-1}$

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Berapa energi yang dipancarkan foton yang mempunyai frekuensi 10^{14} Hz?
2. Seorang pengamat di bandara melihat 2 pesawat A dan B datang dari arah yang berlawanan dengan kecepatan 0,8 c dan 0,6 c.
   a. Berapa kecepatan masing-masing pesawat terhadap pengamat di bandara?
   b. Berapa kecepatan B menurut A?
   c. Berapa kecepatan A menurut B?
3. Seberkas partikel radioaktif diamati di dalam laboratorium diperoleh waktu hidupnya 5×10^{-8} sekon. Tetapi ketika diukur pada keadaan diam, waktu hidupnya hanya 2×10^{-8} sekon. Berapa kecepatan partikel?
4. Sebutkan dan beri contoh manfaat unsur radioaktif bagi manusia (minimal 5)!
5. a. Tentukan energi total dari sebuah elektron pada ion He^+ untuk bilangan kuantum utama $n = 3$!
   b. Tentukan besar momentum sudut elektron yang menempati subkulit 7, jika diketahui $\hbar = 1{,}054\times10^{-34}$ Js!

Evaluasi Akhir

A. Pilihlah satu jawaban yang paling tepat dengan cara memberi tanda silang (X) pada huruf *a, b, c, d,* atau *e*!

1. Sesuai gelombang menjalar ke arah kanan mempunyai persamaan $y = 10 \sin (20x + t)$ dengan y dan x dalam cm dan t dalam sekon, maka,
   1. *Amplitudonya 10 meter*
   2. *Periode gelombang* $\frac{\pi}{10}$
   3. *Panjang gelombangnya 10 cm*
   4. *Frekuensinya* $\frac{1}{2\pi}$ *Hz*

   yang benar adalah . . . .
   a. 1, 2, dan 3
   b. 1, dan 3
   c. 2 dan 4
   d. 4
   e. tidak ada yang benar

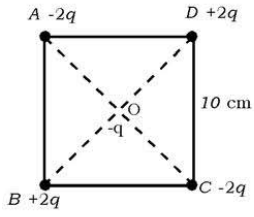
2. Cahaya yang tidak terpolarisasi melewati dua polaroid, sumbu yang satu vertikal dan yang lainnya membuat sudut 60° terhadap vertikal. Intensitas cahaya yang ditransmisikan adalah . . . .
   a. 100%
   b. 75%
   c. 50%
   d. 25%
   e. 10%

3. Sinar laser dengan panjang gelombang 6×10^{-7} m mengenai celah ganda sempit gang berjarak *d*. Sebuah layar yang digunakan terjadi jika jarak antara pola terang terdekat adalah 0,6 cm, maka jarak antara dua celah . . . .
   a. 0,375 mm
   b. 2,67 mm
   c. 0, 267 mm
   d. 3,75 mm
   e. 0,27 mm

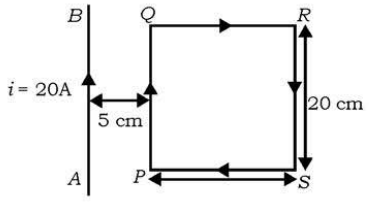
4. *(1) massa tali tiap satuan panjang*
   (2) panjang tali
   (3) gaya tegang
   (4) jari-jari tali

   yang mempengaruhi cepat rambat bunyi pada tali adalah . . . .
   a. (1), (2), (3)
   b. (1) dan (3)
   c. (2) dan (4)
   d. (4)
   e. semua benar

5. Taraf intensitas bunyi suatu ledakan pada jarak 2m dari sumbernya adalah 90 dB. Pada jarak 20 m dari sumber ledakan, taraf intensitasnya . . . .
   a. 0,9 dB
   b. 9 dB
   c. 70 dB
   d. 100 dB
   e. 110 dB

6. 

Gaya coulomb di titik O adalah . . . .
   a. $\frac{9}{25}\times10^9 q^2$N
   b. $\frac{36}{25}\times10^9 q^2$N
   c. $\frac{3}{5}\times10^9 q^2$N
   d. $\frac{18}{25}\times10^9 q^2$N
   e. 0

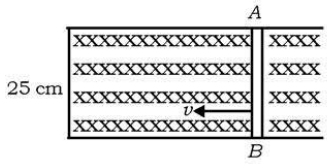
7. 

Kawat AB lurus dan berarus listrik 20A. Kawat PQRS berbentuk segiempat berarus listrik 10A. Gaya pada PQRS akibat kawat AB . . . .
   a. 12×10^{-5} N
   b. 12×10^{-5} N
   c. 13×10^{-6} N
   d. $13\times10^{+6}$ N
   e. 13×10^{-8} N

8. Kumparan dengan jumlah lilitan 500 dialiri arus sebesar 2A. Induksi magnetik dipusat kumparan apabila jari-jari kawat kumparan 0,2 cm adalah . . . .
   a. $2\pi\times10^{-4}$ Tesla
   b. $4\pi\times10^{-4}$ Tesla
   c. $8\pi\times10^{-4}$ Tesla
   d. 2×10^{-4} Tesla
   e. 8×10^{-4} Tesla

9. Dua kawat *A* dan *B* dialiri dengan arah ke atas. Apabila kedua kawat terpisah pada jarak 5 dan kuat arus masing-masing kawat adalah 10A dan 5A. Gaya interaksi antara dua kawat tersebut adalah . . . .
   a. 20×10^{-5}N
   b. 30×10^{-5}N
   c. 20×10^{-6}N
   d. 30×10^{-6}N
   e. 50×10^{-5}N

10. Suatu proton ditembakkan degan kecepatan 5×10^{6} ms^{-1} pada arah sumbu *y*. Medan magnet sebesar 10^{-3} Wb. m^{-2} diarahkan pada sumbu *x*. Besar gaya yang dialami oleh proton tersebut adalah . . . .
   a. 2×10^{-16} N
   b. 18×10^{-16} N
   c. 16×10^{-16} N
   d. 8×10^{-16} N
   e. 20×10^{-16} N

11. 

Bila induksi magnetik = 0,2 T dan kawat B digeser ke kanan seperti pada gambar dengan $v = 4$ ms^{-1}, maka . . . .
   a. GGL induksi yang timbul 2,5 V arah arus listrik dari A ke B.
   b. Arus induksi yang timbul dengan arah AB dan GGL induksi 20V
   c. GGL induksi yang timbul 0,2 V dan arah arus listrik dari A ke B.
   d. GGL Induksi yang timbul 0,2 V dan arah arus listrik dari B ke A
   e. GGL induksi yang timbul 2,5 V arah arus listrik dari B ke A

12. Suatu rangkaian RC mempunyai arus 2A dengan $R = 100\Omega$ dan $X_c = 240\Omega$. Impedansi rangkaian tersebut adalah . . . .
   a. 280 Ω
   b. 260 Ω
   c. 480 Ω
   d. 200 Ω
   e. 680 Ω

13. Benda bersuhu 27°C dan memiliki emisivitas 0,8 memancarkan energi sebesar . . . .
   a. 122,472 joule
   b. 2,41 joule
   c. $3,675\times10^{4}$ joule
   d. 0,089 joule
   e. 241×10^{4} joule

14. Hitam memancarkan tenaga radiasi 10 kW. Luas permukaan radiasi benda, jika panjang gelombang yang sesuai dengan energi radiasi maksimum 7×10^{-5} cm adalah . . . .
    a. 2×10^{-4} m^2
    b. 4×10^{-4} m^2
    c. 6×10^{-4} m^2
    d. 8×10^{-4} m^2
    e. 10×10^{-4} m^2

15. Besarnya energi total elektron yang mengorbit inti dengan jari-jari orbit elektron $21{,}168\times10^{-11}$m adalah . . . .
    a. 2 eV
    b. 2,6 eV
    c. 3,2eV
    d. 3,4 eV
    e. 4,1 eV

16. Besarnya energi yang diperlukan untuk mengeksitasi elektron atom hidrogen dari keadaan bilangan kuantum 2 ke bilangan kuantum 5 adalah . . . .
    a. 2,86 eV
    b. 1,89 eV
    c. 3,40 eV
    d. 4,34 eV
    e. 4,58 eV

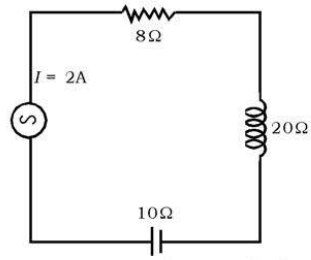
17. Seorang pengamat di bumi melihat dua roket A dan B datang dari arah yang berlawanan dengan kecepatan 0,5 *c* dan 0,4 *c*. Kecepatan roket A menurut B adalah . . . .
    a. 0,5 *c*
    b. 0,4 *c*
    c. 0,9 *c*
    d. 0,1 *c*
    e. 0,75 *c*

18. Seberkas partikel radioaktif diamati. Diperoleh data bahwa waktu hidup partikel ini 4×10^{-8} sekon. Akan tetapi jika diukur pada keadaan diam waktu hidupnya hanya $0{,}5\times10^{-8}$ sekon. Kecepatan partikel tersebut adalah . . . .
    a. 0,927 *c*
    b. 0,725 *c*
    c. 0,65 *c*
    d. 0,99 *c*
    e. 0,375 *c*

19. Proses peluruhan $^{13}_{7}N$ menjadi $^{13}_{6}C$ dengan pemancaran . . . .
    a. sinar gamma
    b. partikel alfa
    c. neutron
    d. elektron
    e. positron

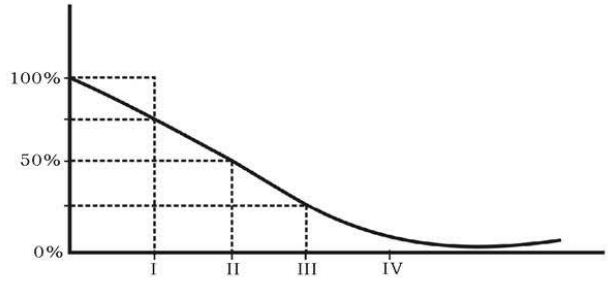
20. Zat radioaktif mempunyai ketetapan $0{,}693\times10^{-7}$ s. Setelah 2 juta. detik aktivitas pancarannya menjadi berapa jika aktivitas mula-mula zat radioaktif tersebut 64×10^{6} Bq?
    a. 16×10^{8} Bq
    b. 8×10^{8} Bq
    c. 4×10^{8} Bq
    d. 8×10^{8} Bq
    e. 16×10^{8} Bq

B. Jawablah pertanyaan-pertanyaan di bawah ini dengan singkat dan tepat!

1. Sebuah gelombang sinusoida tranversal dihasilkan di sebuah ujung tali horisontal yang panjang oleh sebuah batang yang menggerakkan ujung tersebut ke atas dan ke bawah melalui sebuah jarak sebesar 0,1 cm. Gerak tersebut terus-menerus dan diulangi secara teratur sebanyak 100 kali per detik. Jika massa tiap satuan panjang tali adalah 0,2 kgm^{-1} dan dipegang di bawah sebuah tegangan sebesar 100 N, carilah laju, amplitudo, frekuensi, dan panjang gelombang dari gerak gelombang tersebut!
2. Sebuah gelembung sabun tampak hijau (γ = 540 nm) di titik pada permukaan depan yang paling dekat dengan pengamat. Berapa ketebalan minimumnya. Jika indek bias sabun 1,35?
3. Jika cepat rambat bunyi di udara 340ms^{-1}, maka pipa organa terbuka yang panjangnya 30 cm menghasilkan nada atas pertama dan ketiga masing-masing sebesar?
4. Sebuah lampu kilat kamera menyimpan energi, pada kapasitor 150 μF pada 200 V. Berapa banyak energi listrik yang dapat disimpan?
5. Induksi magnetik di pusat suatu lingkaran kawat berarus 10^{-8} Tesla (jari-jari lingkaran 8 cm). Hitung induksi magnetik di sebuah titik yang berjarak 6 cm dari pusat pada sumbu lingkaran tersebut!
6. 

Hitung daya rata-rata pada rangkaian di atas.

7. Sebuah benda yang suhunya 2500 K diturunkan menjadi 1500 K.
   a. Perbandingan energi yang dipancarkan!
   b. Selisih panjang gelombang sesuai dengan energi yang dipancarkan masing-masing!
8. Hitunglah besar momen NM sudut yang mungkin sebuah elektron yang mengelilingi inti pada kulit L!
9. Agar energi kinetik benda bernilai 6,25 % dari energi diamnya dan c adalah kelajuan cahaya dalam ruang hampa, maka hitunglah kelajuan gerak benda!
10. Waktu paruh merupakan sifat khas radioisotop. Di bawah ini digambarkan suatu diagram jumlah inti pada saat sebagai fungsi waktu paruh.



Bila mula-mula disimpan radioisotop x yang mempunyai waktu paruh 15 hari. Setelah disimpan 60 hari, berapa radioisotop X tersebut tersisa?

Glosarium

Ampere. Lambang A. Satuan arus dalam SI.

Audiosonik. Bunyi yang frekuensinya antara 20 Hz - 20.000 Hz.

Bidang ekipotensial. Bidang dimana setiap titik pada bidang tersebut memiliki potensial listrik yang sama.

Bilangan kuantum orbital. Lambang l, menentukan nilai momentum sudut suatu elektron.

Bilangan kuantum spin. Lambang m_s, menentukan spin setiap elektron.

Bilangan kuantum utama. Lambang n, menyatakan tingkat energi utama.

Bilangan kuatum magnetik. Lambang m, menentukan energi elektron dalam suatu medan magnet luar.

Defek massa. Selisih massa antara gabungan massa nukleon-nukleon pembentuk inti dengan massa stabilnya.

Depresi gelombang. Perubahan bentuk gelombang ketika gelombang merambat melalui suatu medium.

Deret. Susunan (dalam bentuk garis) yang teratur.

Diagram fasor. Diagram yang menyatakan suatu besaran dengan vektor.

Dielektrik. Isolator elektrik.

Difraksi. Pengagihan (distribusi kembali) di ruang intensitas gelombang sebagai akibat kehadiran objek atau benda yang menyebabkan variasi baik di amplitudo gelombang maupun fasenya.

Difrkasi gelombang. Lenturan gelombang yang disebabkan oleh adanya penghalang berupa celah.

Dilasi waktu prinsip. Prinsip yang diramalkan teori relativitas khusus Enstein bahwa selang waktu tidaklah mutlak, namun relatif terhadap gerakan pengamat.

Efek Dopler. Perubahan frekuensi jika sumber bunyi bergerak terhadap pengamat.

Efek zeeman. Terpisahnya garis-garis dalam suatu spektrum bila sumber spektrum dipaparkan pada medan magnetik.

Ekipotensial. Potensial sama.

Ekuipartisi. Terbagi sama rata.

Elektroskop. Alat pendeteksi adanya jenis muatan listrik.

Emisivitas. Daya memancarkan.

Energi ikat inti. Energi yang diperlukan untuk memutuskan inti menjadi proton-proton dan neutron-neutron pembentuknya.

Energi ionisasi. Energi minimum yang dibutuhkan untuk memindahkan sebuah elektron dari sebuah atom tertentu ke suatu jarak tertentu. Pada jarak tersebut tidak terdapat interaksi elektrostatis antara ion dan elektron.

Eter. Hipotesis yang dulu diyakini diperlukan untuk membantu perambatan radiasi elektromagnetik.

Fisi. Pembelahan inti atom (menjadi atom baru lebih ringan).

Fluks listrik. Jumlah garis-garis medan listrik yang menenbus tegak lurus suatu bidang.

Fluks magnetik. Hasil kali antara komponen induksi magnetik tegak lurus bidang B dengan luas bidang A.

Fusi. Penggabungan dua inti atom ringan membentuk inti atom lebih berat dengan melepas sedikit energi ikatnya.

Gaya magnetik. Gaya tarik atau gaya tolak yang bekerja pada sebuah kutub magnet atau pada sebuah muatan listrik yang bergerak di dalam medan magnet.

Gelombang berjalan. Gelombang yang merambat dengan amplitudo tetap.

Gelombang elektromagnetik. Gelombang yang dapat merambat, baik melalui medium ataupun vakum (tanpa medium).

Gelombang longitudinal. Gelombang yang bergetar searah dengan arah rambatannya.

Gelombang mekanik. Gelombang yang memerlukan medium perambatan.

Gelombang stasioner. Gelombang yang merambat dengan amplitudo berubah. Sering kali disebut gelombang berdiri atau gelombang diam.

Gelombang transversal. Gelombang yang bergetar tegak lurus dengan arah rambatannya.

GGL Induksi. Singkatan dari gaya gerak listrik induksi, yaitu beda potensial antara ujung-ujung kumparan (solenoida).

Hukum Coulomb. Besar gaya tarik atau gaya tolak antara dua muatan listrik sebanding dengan muatan-muatannya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan.

Hukum Gauss. Jumlah garis-garis medan listrik (fluks listrik) yang menembus permukaan tertutup sama dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup itu dibagi dengan permitivitas udara 0.

Hukum Lenz. Polaritas ggl induksi selalu sedemikian rupa sehingga arus induksi yang ditimbulkannya selalu menghasilkan fluks induksi yang menentang perubahan fluks utama yang melalui loop.

Impedansi. Total hambatan yang terjadi pada rangkaian arus bolak-balik.

Induksi magnetik. Lambang *B*. Besaran yang menyatakan medan magnetik di sekitar kawat berarus listrik.

Induksi. Proses pembangkitan tenaga listrik (elektrik) di dalam sirkulasi tertutup oleh arus (gerak) magnetik melalui gerak putar.

Infrasonik. Bunyi yang memiliki frekuensi lebih rendah dari 20 Hz.

Intensitas gelombang. Daya gelombang yang dipindahkan melalui bidang seluas satu satuan yang tegak lurus pada arah cepat rambat gelombang.

Intensitas. Daya setiap satuan luas.

Interferensi gelombang. Perpaduan dari dua gelombang. Interferensi konstruktif terjadi bila kedua gelombang yang terpadu memiliki fase yang sama. Interferensi destruktif terjadi bila kedua gelombang yang berpadu berlawanan fase.

Interferometer. Alat yang digunakan untuk mengukur perubahan indeks bias udara (cahaya).

Ionisasi. Proses untuk menghasilkan ion.

Isobar. Nuklida-nuklida dengan jumlah nukleon sama tetapi jumlah proton berbeda.

Isotop. Nuklida-nuklida dengan jumlah proton sama tetapi jumlah neutron berbeda.

Kadar. Nilai, harga, taraf, tingkatan.

Kaidah telapak tangan kanan. Metode untuk menentukan arah gaya lorentz. Jika arah telunjuk menunjukka arah arus, garis tengah menunjukkan arah medan magnet maka ibu jari menunjukkan arah gaya lorentz.

Kapasitor. Piranti elektrik (2 penghantar) disekap dengan dielektrik.

Kapasitor. Suatu peralatan yang dapat menyimpan muatan dan energi listrik.

Kerangka acuan inersial. Pada kerangka acuan ini suatu benda akan terus bergerak lurus beraturan kecuali jika ada gaya luar yang bekerja pada benda tersebut. Hukum gerak newton berlaku pada suatu sistem inersial, namun tidak pada sistem yang bergerak dipercepat terhadap suatu kerangka lain.

Koheren. Sifat sumber cahaya yang sejajar dan sefase.

Konfigurasi elektron. Susunan elektron pada kulit-kulit sebuah atom.

Kontraksi. Pengurutan, penegangan.

Kuat medan listrik. Lambang *E*. Besaran menyatakan medan listrik di sekitar muatan listrik statis.

Larangan Pauli. Di dalam suatu sistem tidak akan ada dua partikel yang kuatum yang sama seperti elektron di dalam suatu atom atau kuark di dalam suatu hadron. Prinsip ini pertama kali dirumuskan tahun 1925 oleh Wolfgang Pauli (1900 - 1958)

Medan magnet. Ruang di sekitar suatu magnet di mana magnet lain atau benda lain yang mudah dipengaruhi magnet akan mengalami gaya magnetik jika diletakkan dalam suatu ruang tersebut.

Medan. Ruang yang mengandung pengaruh gaya.

Muka Gelombang. Tempat kedudukan titik-titik yang memiliki fase yang sama pada gelombang.

Orbital. Bagian ruang dengan peluang tinggi untuk menjumpai elektron tertentu dalam sebuah atom.

Osilator. Alat/piranti yang menghasilkan osilasi listrik.

Panjang gelombang. Lambang λ. Jarak uang ditempuh gelombang dalam selang waktu satu periode.

Peluruhan Michelson-Morley. Suatu percobaan yang dilakukan pada tahun 1887 oleh Albert Michelson (1852-1931) dan Edward Morley (1838-1923) Untuk menentukan ada atau tidaknya eter. Terbukti eter tidak ada.

Permeabilitas relatif. Nilai perbandingan antara induksi diri kumparan dengan bahan sebagai inti dan induktansi diri kumparan dengan udara (vakum) sebagai inti.

Polarisasi cahaya. Terserapnya sebagian arah getar cahaya.

Potensial listrik. Lambang *V*. energi yang dibutuhkan untuk membawa listrik satuan dari tak terhingga ke suatu titik di dalam medan listrik yang potensialnya listrik adalah volt.

Proton. Partikel bermuatan positif yang menyusun inti atom.

Radiasi. Pancaran.

Radioaktivitas. Terurainya inti atom tertentu secara spontan yang diikuti dengan pancaran partikel alfa (inti helim). partikel beta (elektron), atau radiasi gamma (gelombang elektromagnetik).

Reaktansi induktif. Penghambatr arus listrik pada rangkaian induktor murni.

Reaktansi kapasitif. penghambat arus listrik pada rangkaian kapasitor murni.

Reaktansi. Perlawanan terhadap arus bolak-balik.

Reduksi. Pengurangan, pemotongan.

Relativitas khusus. Teori ini diajukan oleh Albert Einstein (1879 - 1955) pada tahun 1905 untuk menjelaskan penyimpangan pada mekanik newton yang timbul akibat gerakan relatif yang sangat tepat. teori ini mengacu pada kerangka acuan inersial (tidak mengalami percepatran). Teori ini menganggap bahwa hukum-hukum fisika sama di dalam semua kerangka acuan dan bahwa cepat rambat cahaya di dalam ruang hampa tetap diseluruh alam semesta dan tidak tergantung pada laju pengamat.

Resonansi. Peristiwa ketika sifat induksi saling meniadakan dengan sifat kapasitif, sehingga rangkaian bersifat resistif.

Rotor. Bagian generator yang berputar, terdiri dari kumparan.

Solenoida. Seutas kawat panjang yang dililitkan mengitari sebuah penampang berbentuk mesilinder. Sering kali disebut kumparan.

Spektrometer massa. Alat untuk mengukur massa sebuah atom.

Spektrum hidrogen. Spektrum atom hidrogen dengan ciri khusus beruspa garis-garis yang sesuai dengan kuatum radiasi energi yang dibatasi dengan jelas.

Spektrum. Rentetan warna kontinu yang diperoleh apabila cahaya diuraikan ke dalam komponennya.

Stator. Bagian generator yang tetap, terdiri dari magnet yang kuat.

Sudut polarisasi. Sudut datang yang menghasilkan sinar pantul terpolarisasi sempurna, disebut juga sudut Brewster.

Tetapan peluruhan. Peluang tiap inti atom untuk meluruh.

Tetapan Planck. Lambang h. Tetapan fundamental yang besarnya sama dengan perbandingan antara energi E dari suatu kuantum energi terhadap frekuensinya. $E = Rf$

Tetapan Rydberg. Lambang R. Tetapan yang muncul pada perumusan spektrum atom. tetapan ini berhubungan dengan energi ikat suatu elektron dengan suatu ini atom. tetapan ini diturunkan dari tetapan, nilainya $1{,}097 \times 10^{7}\ \mathrm{m}^{-1}$.

Transformasi Lorentz. Sekelompok persamaan untuk mentransformasikan parameter posisi dan gerak dari suatu kerangka acuan dengan titik asal O dan koordinat (x, y, z) ke kerangka acuan lain yang bergerak relatif terhadap kerangka acuan awal dengan titik asal O' yang berkoordinat (x', y', z'). Transformasi ini menggantikan transfor masi Galileo yang digunakan dalam mekanika newton dan mekanika relativistik.

Transformasi. Perubahan rupa (bentuk, sifat, fungsi, dan sebagainya).

Transformator. Alat yang digunakan untuk mengubah suatu tegangan ac.

Ultrasonik. Bunyi yang memiliki frekuensi lebih tinggi dari 20.000 Hz.

Vibrator. Perkakas/alat yang dapat menghasilkan getaran.

Waktu paro. Selang waktu yang dibutuhkan agar aktivitas radiasi berkurang setengah dari aktivitas semula.

Daftar Pustaka

Achelis, Elisabeth, Et-all 2000. Ilmu Pengetahuan Populer. Edisi 8. Jakarta: Grolier International, Inc-PT Widyadara.

Anwir, BS. 1977. *Teknik Sekitar Kita.* Jakarta: PT. Gramedia.

Ardley, Neil., dkk. *Alam Semesta dan Bumi.* Jakarta: PT Gramedia.

Beiser, Arthur. 1977. *Fisika Modern.* Jakarta: PT. Gramedia.

Corbeil, Jen Claude dan Ariane Archbauit. 2004. *Kamus Visual.* Jakarta: PT Buana Ilmu Populer.

Christin Lipptin Cott. 2001. *Jendela Iptek Astronomi.* Jakarta: Balai Pustaka.

David Burnie. 2001. *Jendela Iptek Cahaya.* Jakarta: Balai Pustaka.

Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. 1976. *Energi Gelombang dan Medan.* Jakarta: Balai Pustaka.

Depdikbud. 1988. *Pengelolaan Laboratorium Sekolah dan Manual Alat IPA.* Jakarta.

Douglas, C. Giancolli. 1997. *Fisika* Jilid 1. Jakarta: PT Erlangga.

_____. 2001. *Fisika* Jilid 2. Jakarta: PT Erlangga.

E Budikase, Nyoman Kertiasa. 1994. *Fisika.* Jakarta: Balai Pustaka.

Halliday, David dan Robert Resnick. 1992. *Fisika.* Jakarta: Erlangga.

Lukman, Cecilia (ed). 2005. *Oxford Ensiklopedi Pelajar. Edisi Indonesia.* Jakarta: CV Prima Printing.

Marry John Gribbin. 2001. *Jendela Iptek Ruang Waktu.* Jakarta: Balai Pustaka.

Malasan, Hakim L., dkk. 1999. *Jagad Raya.* Depdikbud.

Morse. 1948. *Vibration and Sound.* Penerbit Hill Book Company.

Roger Bridgman. 2001. *Jendela Iptek Elektronika.* Jakarta: Balai Pustaka.

Rustam dan Suwarno. 1982. *Buku Penunjang Latar Belakang Materi.* Penerbit Proyek Pengadaan Buku.

Sears, F.W dan Zemansky. 1954. *Fisika Untuk Universitas.* Penerbit Bina Cipta.

Sudarjana, PJ., dkk. 1985. *Petunjuk Praktikum IPA.* Produksi Proyek Buku Terpadu.

_____. 2000. *Panduan Percobaan.* Proyek Peningkatan Mutu SMU.

Syukur, Abdul, et-all. 2005. *Ensiklopedi Umum untuk Pelajar.* Jakarta: PT Ictiar Baru Van Hoeve.

Soemadji, dkk. 1986. *Zat dan Energi.* Jakarta: Balai Pustaka.

Soeparno dan Suwardo. 2001. *Fisika.* Surakarta: PT Pabelan.

Tanudidjaya, Moh. Ma'mur. 1996. *Ilmu Pengetahuan Bumi dan Antariksa.* Produksi Pusat Perbukuan Proyek SMU Jawa Tengah.

_____. 1999. *Pengelolaan Laboratorium Fisika.*

Indeks

A

Absorbsi 39
absorpsi selektif 21
alternator 151
ambang pendengaran 54
ambang perasaan 54
amplitudo 11
amu 251
analisator 40
atom 197
aturan tangan kiri 149

B

becquerel 258
beda potensial 148
Bernoulli 61
bias kembar 21
Bilangan Kuantum Magnetik 210
Bilangan Kuantum Orbital 208
Bilangan Kuantum Spin 210
Bilangan Kuantum Utama 208
Biot Savart 122
Bohr 203
botol magnetik 265
Brewster 38
Bunyi 47

C

Cepat rambat bunyi 48
Cepat Rambat Gelombang 14
Coulomb 78
Curie 258

D

Daerah musik 55
Daerah suara 55
Dalton 197
Dawai 57
Daya 172
Demokritus 197
Deret aktinium 259
Deret neptunium 259
Deret Radioaktif 259
Deret thorium 259
Deret uranium 259
desah 47
diagram fasor 162
dielektrika 79
Dilatasi Waktu 237

E

efek Zeeman 210
Einstein 229
ekipotensial 97
eksitasi 205
ekstra ordiner 38
Elektroskop 81
Elektrostatik 77
elektrostatis 78
emisivitas 187
energi 108
Energi Elektron 200
Energi Ikat Inti 252
energi ionisasi 205
energi mekanik 150
Energi nuklir 250
energi potensial 95
energi potensial listrik 200
eter 223

F

Faraday 145, 147
foton 191
frekuensi 47
frekuensi resonansi 170
fusi 265

G

Galileo 226
Garis Gaya Listrik 86
gaya coulomb 78
Gaya Lorentz 129
Gelombang Berjalan 7
gelombang longitudinal 4
gelombang radio 99
gelombang stasioner 10
gelombang transversal 4
Generator 151
GGL induksi 145

H

Harga Efektif 159
heat exchanger 263
henry 163
hukum Lenz 148
Hukum Pergeseran Wien 188
hukum Snellius 38

I

Impedansi 169
induksi elektromagnetik 151
induksi magnetik 122
Induktor 156
induktor Ruhmkoff 156
infrasonik 53
Intensitas Bunyi 51
Interferensi 32
interferometer 35
inti anak 259
inti induk 259
inti radioaktif 254
Inti Stabil 253

J

Jeans 190

K

kapasitas kapasitor 100
kapasitas kondensator 101
kapasitor 99
kapasitor susun paralel 106
kapasitor susunan seri 105
kapasitor variabel 100
kecepatan merambat gelombang 7
Kepala Kaset 156
kepala kaset 150
kerangka acuan 226
kerangka acuan inersial 226

kimiawi pasif 216
Kisi 34
kompas 120
Komutator 153
kondensator 99
Kontraksi Panjang Lorentz 235
kristal tourmalin 39
Kuantum 190
kuat medan homogen 103
kuat medan listrik 87
kulit atomik 213
Kundt 49

L

Laplace 48
larutan optik 40
layangan 64
Lorentz 131, 232

M

magnetisme 118
medan homogen 103
Medan listrik 84
Melde 14
Mersene 57
Michelson dan Morley 223
Model Atom Rutherford 198
Model Atom Thomson 197
molekul 197
Momentum 210
Momentum Benda 242
momentum sudut intrinsik 210
Muatan 77
muatan negatif 77
muatan positif 77

N

Nada 47
Neraca puntir 79
Neutron 252

O

Oersted 119
osiloskop 152

P

Pancaran alfa 254
Pancaran beta 255
Pancaran gamma 255
Pancaran positron 255
Pancaran Radioaktif 253
Panjang Gelombang 6
Partikel Alfa 198
partikel alfa 198
Pauli 212
percobaan Melde 14
Percobaan Michelson dan Morley 223
Perisai radiasi 263
permitivitas 79
Pipa Organa 60
Pipa Organa Terbuka 60
Pipa Organa Tertutup 62
pita magnetik 156
pita magnetofon 156
Planck 190
Polarimeter 40
Polarisasi 36
Politin 77
Postulat Bohr 203
Potensial Listrik 93, 95
Prinsip Eksklusi 212
Proton 252

R

Radar 29
Radioisotop 261
Rayleigh 190
reaksi fusi 265
Reaksi Termonuklir 264
Reaktansi Induktif 165
reaktansi kapasitif 167
Reaktor Nuklir 261
relativitas khusus 229
relativitas Newton 229
Resonansi 65, 68
Rotor 151
Rutherford 198

S

sacharimeter 40
Satuan Kuat Arus 135
selenoida 126
selulos asetat 77
Simbol Atom 251
simpangan 11
sinar ekstra ordiner 38
sonar 53
sonar (sound navigation and ranging) 53
sonic bloom 54
Stator 151
Stefan Boltzmann 187

T

Taraf Intensitas Bunyi 53
Teori Atom Dalton 197
teori ekuipartisi energi 187
teori kuantum 203
Termonuklir 264
Thomson 197
Transformasi 226
Transformasi Galileo 226
Transformasi Lorentz 232
transformasi Lorentz 230
Transformator 153
transformator 150

U

Ujung Bebas 12
Ujung Terikat 10
ultrasonik 53
uranium yang diperkaya 261
usaha 94
USG 54
USG (Ultra Sono Grafi) 54

V

Van de Graaf 84
vibrator 14

W

Waktu Paruh 256
Wien 188

Z

zat radioaktif 257
Zeeman 210

Lampiran

Konstanta-konstanta Dasar			
Besaran	**Simbol**	**Nilai Pendekatan**	**Nilai terbaik yang terakhir**
Laju cahaya di ruang hampa	c	$3{,}00 \times 10^{8}$ m/s	$2{,}99792458 \times 10^{8}$ m/s
Konstanta Gravitasi	G	$6{,}67 \times 10^{-11}$ N·m^2/kg^2	$6{,}67259(85) \times 10^{-11}$ N·m^2/kg^2
Bilangan Avogadro	N_A	$6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1}	$6{,}0221367(36) \times 10^{23}$ mol^{-1}
Konstanta gas	R	8,315 J/mol·K = 1,99 kal/mol.K = 0,082 atm·liter/mol·K	8,314510(70) J/mol·K
Konstanta Boltzmann	k	$1{,}38 \times 10^{-23}$ J/K	$1{,}380658(12) \times 10^{-23}$ J/K
Muatan elektron	e	$1{,}60 \times 10^{-19}$ C	$1{,}6021733(49) \times 10^{-19}$ C
Konstanta Stefan-Boltzmann	σ	$5{,}67 \times 10^{-8}$ W/m^2·K^4	$5{,}67051(19) \times 10^{-8}$ W/m^2·K^4
Permitivitas hampa udara	$\epsilon_0 = (1/c^2\mu_0)$	$8{,}85 \times 10^{-12}$ C^2/N·m^2	8,854187817 ... $\times 10^{-12}$ C^2/N·m^2
Permeabilitas hampa udara	μ_0	$4p \times 10^{-7}$ T·m/A	1,2566370614 ... $\times 10^{-6}$ T·m/A
Konstanta Planck	h	$6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s	$6{,}6260755(40) \times 10^{-34}$ J·s
Massa diam elektron	m_e	$9{,}11 \times 10^{31}$ kg = 0,000549 u = 0,511 MeV/c^2	$9{,}1093897(54) \times 10^{-31}$ kg = $5{,}48579903(13) \times 10^{-4}$ sma
Massa diam proton	m_p	$1{,}6726 \times 10^{-27}$ kg = 1,00728 u = 938,3 MeV/c^2	$1{,}6726231(10) \times 10^{-27}$ kg = 1,007276479(12) sma
Massa diam neutron	m_n	$1{,}6749 \times 10^{-27}$ kg = 1,008665 u = 939,6 MeV/c^2	$1{,}6749286(10) \times 10^{-27}$ kg = 1,008664904(14) sma
Satuan massa atom (1 sma)		$1{,}6605 \times 10^{-27}$ kg = 931,5 MeV/c^2	$1{,}6605402(10) \times 10^{-27}$ kg = 931,49432(28) MeV/c^2

Ditinjau oleh B.N. Taylor, National Institute of Standards and Technology.
Angka-angka dalam kurung menandakan simpangan baku ketakpastian eksperimen pada digit-digit akhir. Nilai tanpa kurung adalah nilai eksak. (Yaitu, besaran yang terdefinisi)

Konversi Satuan (Ekivalen)

Panjang

1 in. = 2,54 cm
1 cm = 0,394 in.
1 ft = 30,5 cm
1 m = 39,37 in. = 3,28 ft
1 mil = 5280 ft = 1,61 km
1 km = 0,621 mil
1 mil laut (U.S) = 1,15 mil = 6076 ft = 1,852 km
1 fermi = 1 femtometer (fm) = 10^{-15} m
1 angstrom (Å) = 10^{-10} m
1 tahun cahaya (ly) = $9{,}46 \times 10^{15}$ m
1 parsec = 3,26 ly = $3{,}09 \times 10^{16}$ m

Volume

1 liter (L) = 1000 mL = 1000 cm^3 = $1{,}0 \times 10^{-3}$ m^3 = 1,057 quart (U.S.) = 54,6 in.^{3}
1 gallon (U.S.) = 4 qt (U.S.) = 231 in.^{3} = 3,78 L = 0,83 gal (imperial)
1 m^3 = 35,31 ft^3

Laju

1 mil/h = 1,47 ft/s = 1,609 km/h = 0,447 m/s
1 km/h = 0,278 m/s = 0,621 mil/h
1 ft/s = 0,305 m/s = 0,682 mil/h
1 m/s = 3,28 ft/s = 3,60 km/h
1 knot = 1,151 mi/h = 0,5144 m/s

Sudut

1 radian (rad) = 57,30° = 57°18′
1° = 0,01745 rad
1 rev/min (rpm) = 0,1047 rad/s

Waktu

1 hari = $8{,}64 \times 10^{4}$ s
1 tahun = $3{,}156 \times 10^{7}$ s

Massa

1 satuan massa atom (u) = $1{,}6605 \times 10^{-27}$ kg
1 kg = 0,0685 slug
[1 kg mempunyai berat 2,20 lb di mana g = 9,81 m/s^2.]

Gaya

1 lb = 4,45 N
1 N = 10^{5} dyne = 0,225 lb

Energi dan Kerja

1 J = 10^{7} ergs = 0,738 ft·lb
1 ft·lb = 1,36 J = $1{,}29 \times 10^{-3}$ Btu = $3{,}24 \times 10^{-4}$ kkal
kkal = $4{,}18 \times 10^{3}$ J = 3,97 Btu
1 eV = $1{,}602 \times 10^{-19}$ J
1 kWh = $3{,}60 \times 10^{6}$ J = 860 kkal

Daya

1 W = 1 J/s = 0,738 ft·lb/s = 3,42 Btu/h
1 hp = 550 ft·lb/s = 746 W

Tekanan

1 atm = 1,013 bar = $1{,}013 \times 10^{5}$ N/m^2
= 14,7 lb/in.^{2} = 760 torr
1 lb/in.^{2} = $6{,}90 \times 10^{3}$ N/m^2
1 Pa = 1 N/m^2 = $1{,}45 \times 10^{-4}$ lb/in.^{2}

Sumber: *Giancolli C. Douglas*

Kunci Jawaban
Panduan Pembelajaran Fisika XII SMA/MA

Bab I. Gejala Gelombang

A. Pilihan Ganda

1. d 7. a
3. a 9. b
5. c

B. Esei

1. $v = 10 ms^{-1}$
3. $y = 12 \sin 2\pi (20t - \frac{x}{8})$
5. 10 perut

Bab II Gelombang Elektromagnetik

A. Pilihan Ganda

1. c 7. e
3. a 9. b
5. d

B. Esei

1. $\frac{1}{16} . 10^{-5} m$
3. 5.10^{-7}m
5. $6{,}5.10^{-7}$m

Bab III Bunyi

A. Pilihan Ganda

1. b 7. c
3. c 9. b
5. e

B. Esei

1. 40 db
3. a. $20 ms^{-1}$
   b. 10Hz
5. 10^{-9} watt m^{-2}

Bab IV Listrik Statis

A. Pilihan Ganda

1. d 9. c
3. b 11. e
5. d 13. d
7. c 15. e

B. Esei

1. 9.10^{9}NM
3. $9{,}7 . 10^{-9} N.C^{-1}$
5. a. $7{,}5 . 10^{-6}$C
   b. $2{,}5 . 10^{-6}$J

Bab V Medan Magnet

A. Pilihan Ganda

1. b 7. d
3. a 9. a
5. c

B. Esei

1. 2.10^{-5}T
3. a. $3\frac{2}{3}.10^{-5}$T
   b. $4{,}4.10^{-5}$T
5. a dan b, keduanya bersudut 90^{o} terhadap medan.

Bab VI Induksi Elektromagnetik

A. Pilihan Ganda

1. a 7. c
3. d 9. c
5. a

B. Esei

1. 0,15 volt
3. $4\pi . 10^{-5}$ volt
5. 1600 ohm
7. 311,126 volt
9. a. 188,4 ohm
   b. 0,53 ampere
   c. $i_{ef} = 0{,}53A$
      $i_{ma} = 0{,}75A$
      $i_{r} = 0{,}48A$

Bab VII Radiasi Benda Hitam

A. Pilihan Ganda

1. d 7. a
3. d 9. a
5. a

B. Esei

1. $\lambda m = 1{,}449.10^{-1} m$
3. 0,163 joule
5. $4{,}96 \cdot 10^{-16} m$
7. $9{,}66.10^{-6} m$
9. $6{,}626 \cdot 10^{-20}$ joule = 0,44 eV

Bab VIII Fisika Atom

A. Pilihan Ganda

1. a 7. a
3. d 9. e
5. c

B. Esei

1. $n = 3$
   $l = 0, 1, 2, 3$
   L =
   $$\frac{6{,}63.10-34}{20}\sqrt{1(2+1)}$$
3. -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, +1, +2, +3, +4, +5, +6
5. 3,4 eV
7. $1{,}875 \cdot 10^{-6} M$
9. $8{,}48 \cdot 10^{-10} m$

Bab IX Relativitas Khusus

A. Pilihan Ganda

1. d 5. c 9. a 13. b
3. e 7. e 11. a 15. c

B. Esei

1. 17.4 m
3. $3{,}75 \cdot 10^{9}$ kg ms^{-1}
5. $2{,}25 \cdot 10^{17}$J

Bab X Fisika Inti dan Radioaktivitas

A. Pilihan Ganda

1. d 5. e 9. e 13. a
3. b 7. c 11. a

B. Esei

1. $\frac{1}{64} Ci$
3. 38,086421 MeV
5. 9.10^{9} tahun

EVALUASI SEMESTER GASAL

A. Pilihan Ganda

1. e 5. b 9. c 13. e
3. a 7. b 11. c 15. c

B. Esei

1. $A = 5$ cm
   $\lambda = 4$ m
   $T = \frac{1}{5}$ sekon
   $f = 5$ Hz
3. a. 680 Hz b. 641,14 Hz
5. a. $V_R = 16$ volt
   $V_L = 32$ volt
   $V_c = 20$ volt
   b. $z = 10\ \Omega$ c. $\theta = 37^{\circ}$
   d. 20 volt

EVALUASI SEMESTER GENAP

A. Pilihan Ganda

1. d 5. c 9. a 13. d
3. e 7. d 11. d 15. d

B. Esei

1. 0,44 eV
3. 0,916c
5. a. -6,04 eV
   b. $3{,}55.10^{-17}$Js

EVALUASI AKHIR TAHUN

A. Pilihan Ganda

1. d 5. c 9. c 13. c
3. a 7. a 11. d 15. d
17. e 19. d

B. Esei

1. $A = 0.1$ cm
   $V = 10\sqrt{5}$ ms^{-1}
   $\gamma = 0{,}1\ \sqrt{5}$ cm
   $f = 100$ Hz
3. $f_1 = 11{,}3$ Hz $f_3 = 22{,}6$ Hz
5. $5{,}12 \cdot 10^{-12}$T
7. a. $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 0{,}1296$
   b. $\Delta\lambda = 0{,}7728\ \mu m$
9. 0,34 c

Catatan:

Panduan Pembelajaran

Fisika

Untuk SMA & MA Kelas XII

ISBN 978-979-068-819-3 (No. Jld lengkap)
ISBN 978-979-068-822-3

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor: 9 Tahun 2009 Tanggal 12 Februari 2009 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

Harga Eceran Tertinggi (HET) Rp.15.083,-