



Endarko, dkk.

Endarko, dkk.

FISIKA

JILID 3

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan
Teknologi

FISIKA SMK JILID 3



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

untuk SMK Teknologi

Endarko, dkk

BUKU AJAR
FISIKA JILID 3
UNTUK SMK TEKNOLOGI

SMK



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

BUKU AJAR

FISIKA JILID 3

UNTUK SMK TEKNOLOGI

Untuk SMK

Penulis : Endarko
Melania Suweni Muntini
Lea Prasetio
Heny Faisal
Editor : Darminto
Perancang Kulit : Tim

Ukuran Buku : 18,2 x 25,7 cm

END ENDARKO
f Buku Ajar Fisika Jilid 3 untuk SMK Teknologi /oleh
Endarko, Melania Suweni Muntini, Lea Prasetio, Heny Faisal ----
Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan,
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah,
Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xi. 194 hlm
Daftar Pustaka : A1-A2
Glosarium : B1-B7
ISBN : 978-602-8320-29-0

Diterbitkan oleh
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit didapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

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

Jakarta, 17 Agustus 2008

Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Seiring dengan dibukanya peluang bagi semua siswa lulusan dari berbagai jenis sekolah menengah, baik yang bersifat sekolah menengah umum, kejuruan ataupun keagamaan, serta tidak ada lagi pembedaan terhadap kelompok IPA, IPS ataupun kelompok Bahasa, agar siswa lulusannya dapat berkompetisi masuk di perguruan tinggi, maka sebagai konsekuensinya adalah pemerintah harus menyediakan, mengelola dan membina terhadap fasilitas software maupun hardware untuk sekolah menengah kejuruan dan sekolah menengah keagamaan yang mengalami ketertinggalan dibandingkan dengan sekolah menengah umum, akibat adanya perubahan kebijakan tersebut.

Dalam upaya peningkatan kualitas pendidikan dan pengajaran mata pelajaran Fisika untuk Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) se Indonesia, maka pihak Direktorat Pendidikan Sekolah Menengah dan Kejuruan melakukan kerjasama dengan salah satu perguruan tinggi teknik dalam hal ini Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Karena ITS telah memiliki pengalaman dalam membina mahasiswa baru yang berasal dari kelompok sekolah menengah kejuruan untuk ikut program pembenahan tersebut.

Pencanangan tahun 2015 oleh pemerintah agar perbandingan jumlah siswa SMU terhadap SMK adalah 30 persen dibanding 70 persen, yaitu terbalik dari kondisi sekarang, merupakan langkah yang harus diikuti dengan berbagai pembenahan. Pembenahan dapat dimulai dari penyediaan buku ajar yang berbahan baku standar, lengkap dan disajikan secara lebih populer, yaitu mudah dipahami. Permasalahan di lapangan adalah keberagaman sistem pengelolaan sekolah menengah kejuruan di berbagai daerah sudah lama dilepas dengan porsi kurikulum terbesarnya pada muatan lokal, dengan spesialisasi yang terlalu sempit, karena kebijakan bahwa SMK harus padu dan terkait dengan kebutuhan lingkungan (industri) terdekatnya.

Dalam pelaksanaan pengajaran mata pelajaran Fisika, pada umumnya para guru SMK, belum mempunyai pedoman yang seragam dan tegas. Tiap SMK memiliki arahan tersendiri. Guru lebih memilih untuk meracik sendiri materi yang akan diberikan kepada siswanya dari berbagai buku fisika yang teersedia. Untuk SMK berkualitas,

seringkali terjebak dalam “standar kurikulum” yang disesuaikan dengan selera industri pemakai tenaga lulusannya.

Program penyediaan buku, selalu dibarengi dengan penyesuaian lamanya waktu yang dibutuhkan untuk pelaksanaan di lapangan, penyiapan guru pengajarnya, upaya mendapatkan umpan balik, revisi buku dan pembakuan kurikulum. Diharapkan semua program hendaknya dapat dijalankan dengan tanpa mendikte ataupun dengan pemaksaan, karena harus mengejar target waktu agar cepat terselesaikan, sedangkan di lapangan masih dibutuhkan suatu panduan yang lebih implementatif dan aplikatif. Hal ini mengingat SMK telah berjalan dengan budaya dan mapan dengan lingkungannya. Perubahan hendaknya secara bertahap dan dengan kesadaran institusinya serta sesuai tuntutan lingkungan dan lapangan kerja lulusannya.

Demikian kami sampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Pendidikan Sekolah Menengah dan Kejuruan Depdiknas atas terselenggaranya kerjasama ini, sehingga menggugah kesadaran para guru dan dosen akan tanggung jawabnya terhadap kualitas pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan, semoga Allah SWT membalas dedikasi dan amal baik tersebut.

*Surabaya, Juni 2008
Tim Penyusun*

Endarko, Lea Prasetyo, Melania Suweni Muntini, Heny Faisal

DAFTAR ISI

KATA SAMBUTAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv

BUKU JILID 1

BAB 1	1
BESARAN DAN SATUAN	1
1.1 BESARAN DAN SATUAN	3
1.2 STANDAR SATUAN BESARAN	5
1.3 MACAM ALAT UKUR	8
1.4 KONVERSI SATUAN	15
1.5 DIMENSI	17
1.6 ANGKA PENTING	19
1.7 NOTASI ILMIAH (BENTUK BAKU)	21
1.8 PENGUKURAN	21
1.9 VEKTOR	26
1.10 RANGKUMAN	35
1.11 TUGAS MANDIRI	35
1.12. SOAL UJI KOMPETENSI	37
BAB 2	42
MENERAPKAN HUKUM GERAK DAN GAYA	42
2.1 GERAK DAN GAYA	47
2.2 GERAK LURUS BERATURAN (GLB)	48
2.3 GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN (GLBB)	50
2.4 HUKUM - HUKUM NEWTON TENTANG GERAK	56
2.5 GERAK BENDA YANG DIHUBUNGKAN DENGAN KATROL	61
2.6 BENDA BERGERAK PADA BIDANG MIRING	62
2.7 GAYA GESEK	62
2.8 GERAK MELENGKUNG	66
2.9 KEGIATAN	75
2.10 RANGKUMAN	76
2.11 SOAL UJI KOMPETENSI	77
BAB 3	85

DINAMIKA ROTASI DAN KESETIMBANGAN BENDA TEGAR

85

3.1	DINAMIKA ROTASI	87
3.2.	KECEPATAN DAN PERCEPATAN ANGULAR.....	88
3.3.	TORSI DAN MOMEN INERSIA	91
3.4.	PEMECAHAN MASALAH DINAMIKA ROTASI DENGAN HUKUM KEKALKAN ENERGI MEKANIK.....	97
3.5.	HUKUM KEKALKAN MOMENTUM SUDUT.....	101
3.6	KESETIMBANGAN BENDA.....	103
3.7	RANGKUMAN.....	109
3.8	SOAL KOMPETENSI.....	110
BAB 4	.....	113
	USAHA DAN ENERGI.....	113
4.1	USAHA.....	115
4.2	DAYA	119
4.3	KONSEP ENERGI	120
4.4	ENERGI MEKANIK	122
4.5	KERJA OLEH GAYA KONSERVATIF DAN OLEH GAYA NON-KONSERVATIF	124
4.6	KEGIATAN	126
4.7	RANGKUMAN.....	127
4.8	SOAL UJI KOMPETENSI.....	128
BAB 5	.....	131
	MOMENTUM DAN IMPULS	131
5.1	PENGETERIAN MOMENTUM DAN IMPULS	133
5.2	IMPULS SEBAGAI PERUBAHAN MOMENTUM	134
5.3	HUKUM KEKALKAN MOMENTUM.....	135
5.4	TUMBUKAN	137
5.5	KEGIATAN	139
5.6	RANGKUMAN.....	140
BAB 6	.....	143
	SIFAT MEKANIK BAHAN.....	143
6.1.	SIFAT MEKANIK BAHAN	145
6.2	RANGKUMAN.....	160
6.3	SOAL UJI KOMPETENSI.....	162

BUKU JILID 2

BAB 7	.....	165
	SUHU DAN KALOR	165
7.1	PENGUKURAN TEMPERATUR.....	167

7.2	TEMPERATUR GAS IDEAL, TERMOMETER CELCIUS, DAN TERMOMETER FAHRENHEIT	168
7.3	ASAS BLACK DAN KALORIMETRI	169
7.4	HANTARAN KALOR.	170
BAB 8	.....	181
DINAMIKA FLUIDA.....	.....	181
A.	FLUIDA STATIS	183
B.	TEGANGAN PERMUKAAN DAN VISKOSITAS ZAT CAIR	192
C.	FLUIDA DINAMIS.....	196
BAB 9	.....	213
TERMODINAMIKA .....	.....	213
9.1	SISTEM, KEADAAN SISTEM, DAN KOORDINAT TERMODINAMIKA	215
9.2	KEADAAN SETIMBANG	216
9.3	HUKUM TERMODINAMIKA KE NOL DAN TEMPERATUR	217
9.4	PERSAMAAN KEADAAN.....	224
9.5	PERSAMAAN KEADAAN GAS IDEAL.....	225
9.6	DIAGRAM PT, DIAGRAM PV, DAN PERMUKAAN PVT UNTUK ZAT MURNI.....	226
9.7	DIAGRAM PV, DIAGRAM PT, DAN PERMUKAAN PVT UNTUK GAS IDEAL	227
9.8	KERJA.....	228
9.10	KERJA PADA PROSES IRREVERSIBLE (TAK REVERSIBLE)	229
9.11	KALOR DAN HUKUM TERMODINAMIKA I	231
BAB 10.....	.....	261
GETARAN, GELOMBANG DAN BUNYI.....	.....	261
10.1	HAKEKAT GETARAN	263
10.2.	FORMULASI GETARAN	271
10.3	ENERGI GETARAN	273
10.4	HAKEKAT GELOMBANG	282
10.5	KECEPATAN RAMBAT GELOMBANG	287
10.6	PERSAMAAN GELOMBANG.....	291
10.7	GELOMBANG BUNYI	293
10.8	EFEK DOPPLER.....	301
10.9	RANGKUMAN	304
10.10	SOAL / UJI KOMPETENSI.....	305
BAB 11.....	.....	309

MEDAN MAGNET	309
11.1 INDUKSI MAGNET	312
11.2 MEDAN MAGNET OLEH ARUS LISTRIK	315
11.3 INDUKSI MAGNET OLEH KAWAT LINGKARAN.....	317
11.4 INDUKSI MAGNET OLEH SOLENOIDA.	319
11.5 INDUKSI MAGNET OLEH TOROIDA.....	320
11.6 GERAK MUATAN LISTRIK DAN MEDAN MAGNET	321
11.7 KUMPARAN DALAM MEDAN MAGNET	323
11.8 PEMAKAIAN MEDAN MAGNET	326
11.9 ALAT-ALAT UKUR LISTRIK	329
11.10 GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK	331
11.11 UJI KOMPETENSI	336

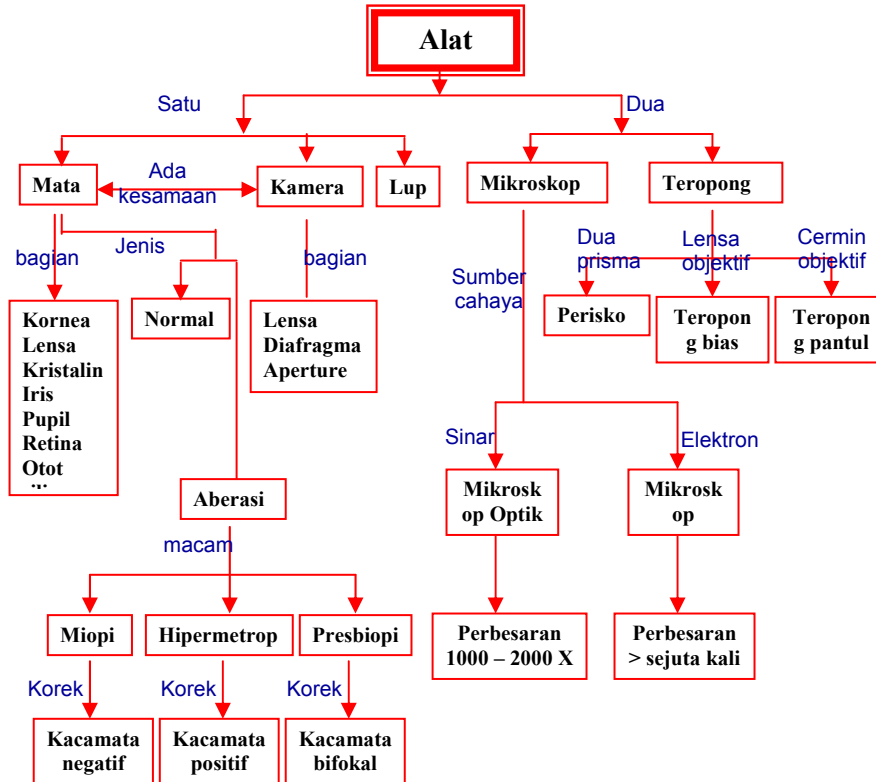
BUKU JILID 3

BAB 12	341
OPTIKA GEOMETRI	341
12.1. OPTIKA GEOMETRI.....	344
12.2. SIFAT GELOMBANG DARI CAHAYA	370
12.3. ALAT-ALAT OPTIK	376
12.4. PERCOBAAN.....	388
12.5. SOAL UJI KOMPETENSI.....	389
12.6. RANGKUMAN.....	390
12.7. SOAL-SOAL.....	393
BAB 13	397
LISTRIK STATIS DAN DINAMIS.....	397
13.1 URAIAN DAN CONTOH SOAL.....	399
13.2 MUATAN LISTRIK	399
13.3. HUKUM COULOMB.....	400
13.4 MEDAN LISTRIK.....	406
13.5 KUAT MEDAN LISTRIK.....	408
13.6 HUKUM GAUSS	412
13.7 POTENSIAL DAN ENERGI POTENSIAL	417
13.8 KAPASITOR.....	420
13.9 UJI KOMPETENSI	434
BAB 14	437
RANGKAIAN ARUS SEARAH.....	437
14.1 ARUS SEARAH DALAM TINJAU MIKROSKOPIS ...	440
14.2 HUKUM OHM.....	446
14.3 GGL DAN RESISTANSI DALAM	447
14.4 HUKUM KIRCHHOFF	450
14.5 SAMBUNGAN RESISTOR.....	453

14.6	RANGKUMAN	478
14.7	SOAL UJI KOMPETENSI.....	479
BAB 15	.....	487
ARUS BOLAK BALIK.....		487
15.1	RESISTOR DALAM RANGKAIAN SUMBER TEGANGAN SEARAH.....	490
15.2	GEJALA PERALIHAN PADA INDUKTOR.....	491
15.3	GEJALA TRANSIEN PADA KAPASITOR	494
15.4	SUMBER TEGANGAN BOLAK BALIK.....	501
15.5	RESISTOR DALAM RANGKAIAN SUMBER TEGANGAN BOLAK BALIK	502
15.6	NILAI ROOT-MEANS-SQUARED (RMS) UNTUK TEGANGAN DAN ARUS BOLAK BALIK.....	504
15.7	DAYA DALAM RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK..	505
15.8	INDUKTOR DALAM RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK.....	506
15.9	RANGKAIAN <i>RLC</i> -SERI.....	510
15.10	IMPEDANSI.....	511
15.11	PERUMUSAN IMPEDANSI RANGKAIAN <i>RL</i> -SERI	515
15.12	PERUMUSAN IMPEDANSI RANGKAIAN <i>RC</i> -SERI	515
15.13	PERUMUSAN IMPEDANSI RANGKAIAN <i>RLC</i> -SERI 518	
15.14	RESONANSI PADA RANGKAIAN <i>RLC</i> -SERI.....	519
15.15	RINGKASAN RANGKAIAN <i>RLC</i> -SERI DALAM ARUS BOLAK BALIK.....	521
15.16	SOAL UJI KOMPETENSI.....	529
15.17	RANGKUMAN	534

LAMPIRAN A DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN B GLOSARIUM



Prasyarat

Sebelum mempelajari Optika Geometri, siswa terlebih dahulu pernah membaca sifat gelombang dari cahaya.

Cek Kemampuan

1. Diantara dua cermin datar yang saling berhadapan diletakkan sebuah benda. Jika jarak antara ke dua cermin 6 m berapa jarak bayangan ke 3 dan ke 10 pada cermin?
2. Sebuah benda terletak di depan sebuah cermin cekung yang jari-jarinya 40 cm. Jika benda tersebut mengalami perbesaran 2 kali, berapa jarak bayangan benda tersebut?
3. Jika jarak bayangan yang dibuat oleh cermin cekung 10 kali jarak fokusnya, berapa perbesaran benda tersebut?
4. Sebuah benda terletak di muka sebuah lensa yang mempunyai jarak fokus 10 cm. Bayangan yang terjadi ternyata maya, tegak dan tingginya 2 kali tinggi benda itu. Berapa jarak antara benda dengan lensa?
5. Sebuah benda yang panjangnya 30 cm diletakkan pada sumbu utama lensa konvergen yang jarak fokusnya 10 cm. Ujung benda

yang terdekat pada lensa jaraknya 20 cm. Berapa panjang bayangan yang terjadi?

6. Sebuah benda terletak 20 cm di depan sebuah lensa tipis positif yang berjarak fokus 4 cm. Berapa jarak bayangan yang terbentuk oleh lensa tersebut?

12.1. Optika Geometri

Optika geometri adalah ilmu yang mempelajari tentang fenomena perambatan cahaya. Pada bab ini kita akan mempelajari hukum-hukum pemantulan dan pembiasan untuk pembentukan bayangan oleh cermin dan lensa.

Cahaya

Indra penglihatan sangat penting bagi kita, karena memberikan sebagian besar informasi mengenai dunia. Hal ini tidak lain karena adanya cahaya yang memasuki mata kita. Bagaimana perilaku cahaya sehingga kita bisa melihat semua yang kita lakukan?

Kita melihat benda dengan salah satu dari dua cara: (1) benda sebagai sumber cahaya, seperti bola lampu, berkas api atau bintang, dimana kita melihat cahaya yang langsung dipancarkan dari sumbernya. (2) melihat benda dari cahaya yang dipantulkan benda lain. Pada kasus ini, cahaya bisa berasal dari matahari, cahaya buatan atau api perkemahan.



Gambar 12.1. Berkas cahaya datang dari setiap titik pada benda. Sekumpulan berkas yang meninggalkan satu titik diperlihatkan memasuki mata

Model yang menganggap bahwa cahaya berjalan dengan lintasan berbentuk garis lurus dikenal sebagai **model berkas** dari cahaya. Menurut model ini, cahaya mencapai mata kita dari setiap titik dari benda, walaupun berkas cahaya meninggalkan setiap titik dengan banyak arah, dan biasanya hanya satu kumpulan kecil dari berkas cahaya yang dapat memasuki mata si peneliti

Bagaimana arah perambatan cahaya: lurus atau berbelok ?

Ketika anda menyorotkan lampu senter di tempat gelap, tampak olehmu cahaya memancar lurus (tidak berbelok). Pada Gambar 12.2 ditunjukkan bagaimana cahaya matahari melalui pepohonan, tampak bahwa *cahaya merambat lurus*.



Gambar 12.2 Cahaya matahari merambat lurus melalui pepohonan

Kegiatan 12.1 Membuktikan

Tujuan :

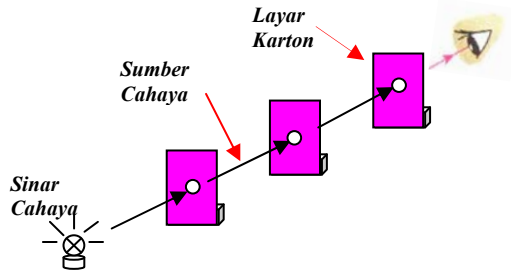
Membuktikan bahwa cahaya merambat lurus

Alat dan Bahan :

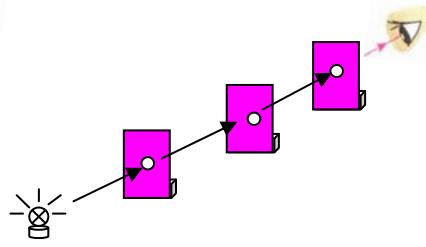
Tiga kertas karton berukuran 20 cm x 20 cm, tiga kayu penjepit dengan panjang 20 cm, sebuah lampu pijar, seutas benang, satu buah paku sedang, palu, papan, atau meja.

Langkah Kerja :

1. Lubangi ketiga karton tepat di pusatnya dengan menggunakan sebuah paku dan palu, kemudian jepit ketiga karton dengan kayu penjepit, sehingga tiap karton dapat berdiri tegak di atas meja
2. Letakkan ketiga karton secara berjajar dengan jarak tertentu di atas meja. Buatlah ketiga lubang pada karton agar terletak segaris. Caranya dengan melewatkan benang melalui ketiga lubang pada pusat karton dan menarik benang hingga tegang (Gambar 12.3)
3. Tanpa menggerakkan karton, secara perlahan tariklah benang itu keluar. Kemudian letakkan sebuah lampu pijar yang bersinar di depan layar karton pertama dan pandanglah lampu pijar ini dengan menempatkan mata kamu di dekat lubang pada karton ke tiga. Dapatkah kamu melihat lampu pijar ?
4. Sekarang geser layar karton ke dua sedikit ke kanan (Gambar 12.4). Dapatkah matamu melihat lampu pijar?
5. Dengan memperhatikan hasil pengamatanmu pada langkah 3 dan 4, apakah kesimpulanmu?



Gambar 12.3 Lubang-lubang terletak pada satu garis lurus

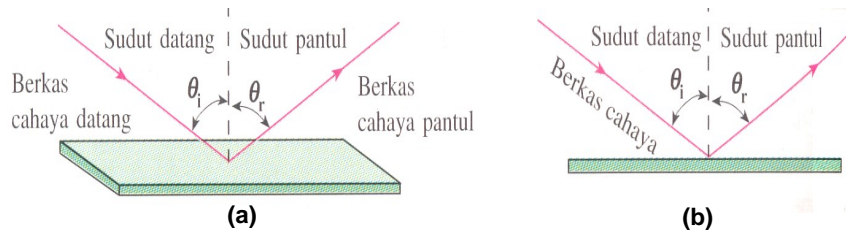


Gambar 12.4 Lubang-lubang tidak terletak pada satu garis lurus

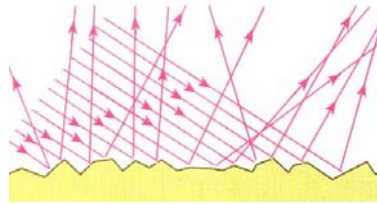
Cermin Datar

Pemantulan dan pembentukan bayangan oleh cermin datar

Ketika cahaya menimpa permukaan benda, sebagian cahaya akan dipantulkan dan sebagian yang lain akan diserap, tetapi jika benda tersebut transparan seperti, kaca atau air sebagian cahaya akan diteruskan. Berkas cahaya yang datang ke permukaan yang rata akan dipantulkan kembali, dan ternyata *berkas sinar datang dan pantul berada pada bidang yang sama dengan garis normal permukaan*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.5.

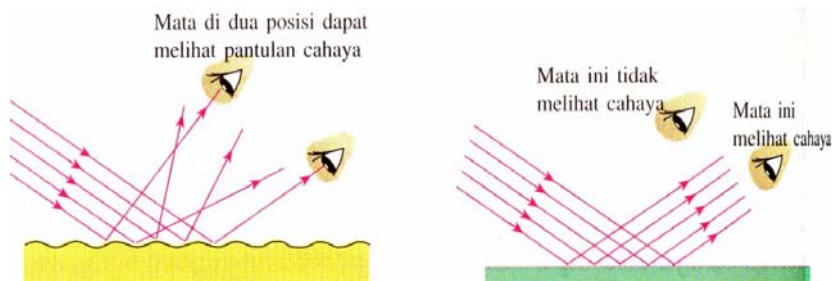


Gambar 12.5. Hukum Pemantulan (Berkas cahaya yang dipantulkan pada permukaan datar (b) Sudut padang dari samping berkas cahaya datang dan pantul



Gambar 12.6. Pemantulan tersebar dari permukaan kasar

Namun ketika berkas cahaya menimpa permukaan yang kasar, maka cahaya akan dipantulkan tersebar (Gambar 12.6). Pada kondisi ini mata kita akan lebih mudah melihat benda tersebut. Artinya permukaan benda yang kasar akan lebih mudah dilihat dari pada permukaan yang halus dan rata, karena akan memberikan sensasi penglihatan yang menyilaukan mata. Dengan kata lain, cahaya yang dipantulkan tidak sampai ke mata kita, kecuali jika ditempatkan pada posisi yang benar, dimana hukum pemantulan dibenarkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.7.



Gambar 12.7. Seberkas cahaya dari lampu senter menyinari (a) permukaan kertas putih (b) permukaan cermin

Kegiatan 12.2 Menemukan hukum

Tujuan :

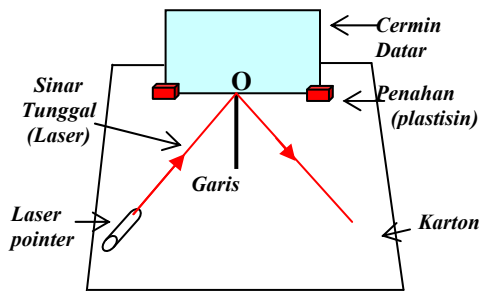
Menemukan hukum-hukum pemantulan cahaya

Alat dan Bahan :

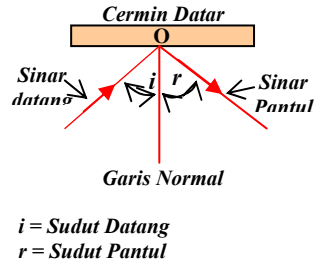
Sebuah pointer laser mainan, sebuah cermin datar, plastisin sebagai penahan cermin, selembar karton putih, sebuah mistar dan busur derajat

Langkah Kerja :

1. Pada karton, lukislah sebuah garis mendatar yang panjangnya 10 cm
2. Dengan menggunakan plastisin sebagai penahan, letakkan cermin datar tegak pada garis tersebut
3. Beri tanda huruf O pada pertengahan cermin yang terletak pada karton (Gambar 12.8). Dengan menggunakan busur derajat, lukis sebuah garis tegak lurus (membentuk sudut 90^0) terhadap garis mendatar tempat cermin diletakkan (garis mendatar pada langkah 1). Garis ini di sebut garis normal



Gambar 12.8 Rangkaian percobaan



Gambar 12.9. Mengukur sudut datang dan sudut pantul, dengan busur derajat

4. Pasanglah celah tunggal pada kotak sinar. Arahkan sinar tunggal ke titik O
5. Berilah tanda silang pada dua titik lintasan sinar yang ke luar dari celah tunggal menuju ke titik O (disebut sinar datang), dan berilah juga tanda silang pada dua titik yang dilintasi oleh sinar pantul (Gambar 12.9)
6. Dengan menggunakan mistar hubungkan kedua tanda silang pada lintasan sinar datang untuk melukis *sinar datang*, dan hubungkan juga kedua tanda silang pada lintasan sinar pantul untuk melukis *sinar pantul*.
7. Dengan menggunakan busur derajat, ukurlah sudut datang i dan sudut pantul r
Sudut datang adalah sudut yang dibentuk oleh sinar datang dengan garis normal

Sudut pantul adalah sudut yang dibentuk oleh sinar pantul dengan garis normal

8. Ulangi langkah 4 sampai 7 sebanyak 5 kali dengan sudut datang yang berbeda (misal dengan kenaikan 10°). Isikan hasil yang kamu peroleh pada Tabel 12.1

Tabel 12.1. Perubahan sudut datang terhadap sudut pantul

No	Sudut Datang ($^{\circ}$)	Sudut Pantul ($^{\circ}$)

Tugas

Perhatikan Tabel 12.1. secara seksama, bagaimanakah hubungan antara sudut pantul dengan sudut datang? Nyatakan bunyi dua hukum pemantulan yang kamu peroleh dari kegiatan ini

Bayangan Maya dan Nyata Pada Pemantulan Cahaya

Bayangan nyata adalah bayangan yang tidak dapat dilihat langsung dalam cermin, tetapi dapat ditangkap oleh layar. Dalam proses pemantulan cahaya, bayangan nyata dibentuk oleh pertemuan langsung antara sinar-sinar pantul di depan cermin.

Bayangan maya, adalah bayangan yang langsung dapat dilihat melalui cermin, tetapi tidak dapat ditangkap oleh layar. Dalam proses pemantulan cahaya, bayangan maya dibentuk oleh perpanjangan sinar-sinar pantul (biasanya dilukis dengan garis putus-putus) yang bertemu di belakang cermin

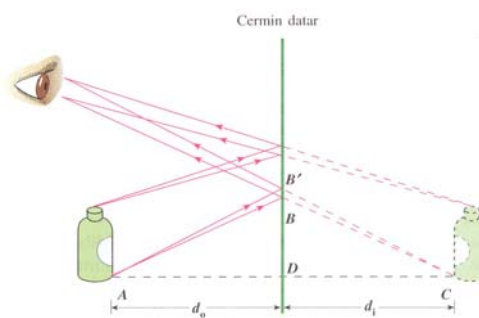
Sifat-sifat bayangan pada cermin datar

Ketika kamu melihat langsung pada cermin, kamu melihat apa yang tampak pada diri kamu sendiri, selain berbagai benda di sekitar dan di belakang kamu, seperti yang terlihat pada Gambar 12.10. Apa yang terlihat di depanmu atau di belakang cermin merupakan **bayangan maya** dibentuk oleh cermin datar. Berkas cahaya yang terpantul dari permukaan cermin datar ditunjukkan pada Gambar 12.11. Berkas cahaya meninggalkan setiap titik pada benda dengan berbagai arah, dan

berkas-berkas simpangan yang memasuki mata tampak datang dari belakang cermin, sebagaimana ditunjukkan oleh garis putus-putus.



12.10. Gambar Bayangan diri sendiri dan benda-benda disekitarnya oleh cermin datar



Gambar 12.11. Pembentukan bayangan maya oleh cermin datar

Perhatikan Gambar 12.11 dua berkas cahaya meninggalkan titik A pada benda dan menimpa cermin pada titik B dan B'. Sudut ADB dan CDB membentuk siku-siku. Sudut ABD dan CBD berdasarkan hukum pemantulan adalah sama. Dengan demikian, ke dua segitiga ABD dan CBD adalah sama, dan panjang $AD = CD$. Ini berarti jarak bayangan yang terbentuk di belakang cermin (d_1) sama dengan jarak benda ke cermin (d_0). Hal ini juga berlaku untuk tinggi bayangan sama dengan tinggi benda.

Kegiatan 12.3 Melakukan Penyelidikan

Tujuan :

Menyelidiki hubungan antara jarak benda dan jarak bayangan pada cermin datar

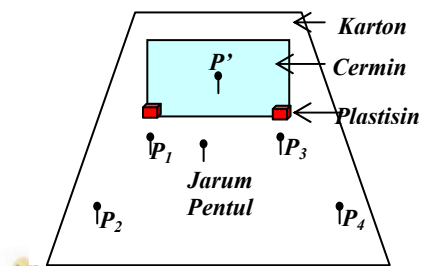
Alat dan Bahan :

Cermin datar, plastisin sebagai penahan cermin datar, selembar karton putih, beberapa jarum pentul, dan mistar

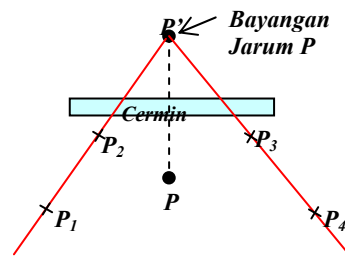
Langkah Kerja :

1. Pada karton, lukislah sebuah garis mendatar yang panjangnya 10 cm

2. Dengan menggunakan plastisin sebagai penahan, letakkan cermin datar tegak pada garis tersebut
3. Letakkan jarum pentul P di depan pusat cermin pada jarak kira-kira 5 cm di depan cermin.
4. Tutuplah satu matamu. Dari sisi kiri perhatikanlah bayangan jarum P pada cermin (bayangan jarum P adalah P'). Letakkanlah dua jarum pentul P₁ dan P₂ diantara matamu dan bayangan P' sedemikian sehingga P₁, P₂, dan P' terletak pada satu garis lurus (Gambar 12.12). Tandai letak P₁ dan P₂ dengan tanda silang pada karton putih (Gambar 12.13)



Gambar 12.12. Menentukan letak bayangan dengan jarum pentul



Gambar 12.13. Titik potong antara kedua garis konstruksi adalah letak bayangan jarum pentul P

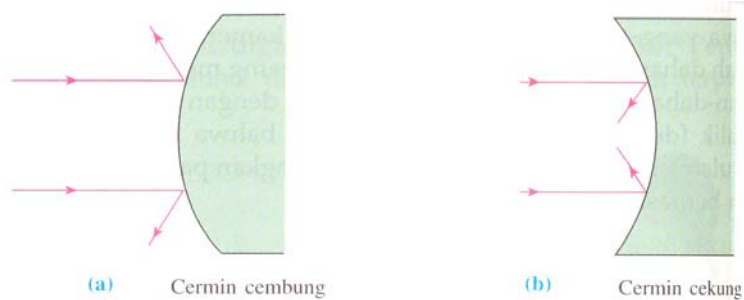
5. Dari sisi yang berlawanan (sisi kanan) perhatikanlah bayangan P'. Letakkan jarum pentul P₃ dan P₄ diantara matamu dan bayangan P' sedemikian hingga P₃, P₄ dan P' terletak pada satu garis lurus Gambar 12.12. Tandai letak P₃ dan P₄ dengan tanda silang pada karton putih Gambar 12.13
6. Angkatlah cermin dan pindahkan dari karton. Hubungkan tanda silang P₁ dan P₂ sehingga membentuk sebuah garis konstruksi. Hubungkan juga tanda silang P₃ dan P₄ untuk membentuk garis konstruksi lainnya. Jika konstruksi P₁, P₂ dan P₃, P₄ diperpanjang, kedua garis akan berpotongan di titik P'. Titik potongan P' merupakan bayangan dari jarum pentul P Gambar 12.13
7. Dengan menggunakan mistar, ukurlah jarak bayangan P' ke cermin dan jarak benda P ke cermin

Tugas :

Bagaiman hubungan antara jarak benda ke cermin dengan jarak bayangan ke cermin

Cermin Lengkung

Permukaan-permukaan yang memantulkan tidak harus datar, cermin yang umumnya berbentuk lengkung juga berlaku hukum berkas cahaya. Cermin lengkung disebut *cebung* jika pantulan terjadi pada permukaan luar berbentuk lengkung, sehingga pusat permukaan cermin mengembung ke luar menuju orang yang melihat Gambar 12.14a . Cermin dikatakan *cekung* jika permukaan pantulnya ada pada permukaan dalam lengkungan, sehingga pusat cermin melengkung menjauhi orang yang melihat Gambar 12.14b.



Gambar 12.14. Cermin cembung dan cekung

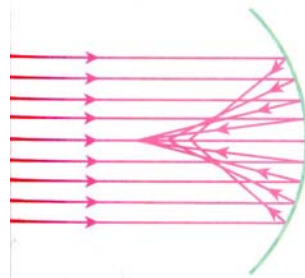


Gambar 12.15. (a) Cermin rias cekung, menghasilkan bayangan diperbesar. (b) Cermin cembung di dalam toko, menghasilkan bayangan diperkecil

Pembentukan Bayangan pada Cermin Lengkung

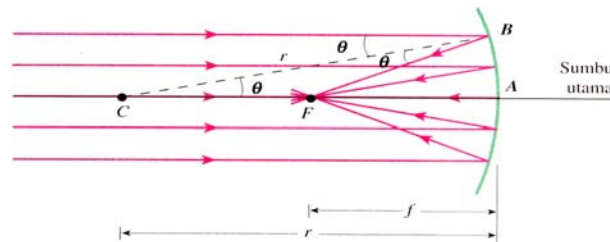
A. Cermin Cekung

Cermin yang terlalu melengkung seringkali menghasilkan berkas cahaya pantul tidak pada satu titik Gambar 12.16. Untuk membentuk bayangan yang tajam berkas-berkas pantul tersebut harus jatuh pada satu titik yaitu dengan cara memperbesar jari-jari kelengkungan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.17.



Gambar 12.16. Berkas paralel yang mengenai cermin cekung tidak terfokus pada satu titik

Dengan membuat lengkungan cermin lebih mendatar, maka berkas-berkas paralel yang sejajar sumbu utama akan dipantulkan tepat mengenai fokus (f). Dengan kata lain titik fokus merupakan titik bayangan dari suatu benda yang jauh tak berhingga sepanjang sumbu utama, seperti yang terlihat pada Gambar 12.17.



Gambar 12.17. Berkas cahaya paralel dipantulkan tepat mengenai fokus

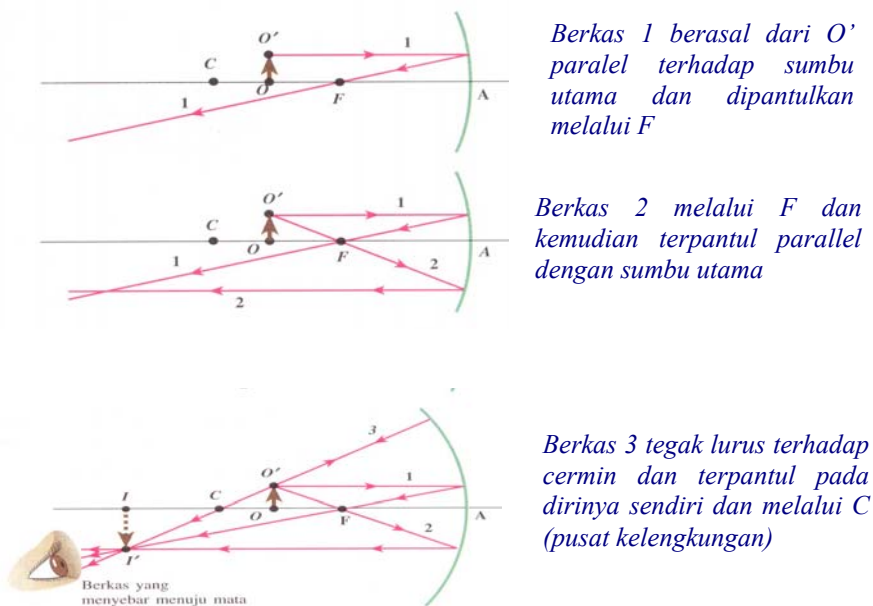
Menurut Gambar 12.17 $CF = FA$, dan $FA = f$ (panjang fokus) dan $CA = 2FA = R$. Jadi panjang fokus adalah setengah dari radius kelengkungan

$$f = \frac{R}{2} \quad (12.1)$$

Persamaan (12.1) berlaku dengan anggapan sudut θ kecil, sehingga hasil yang sama berlaku untuk semua berkas cahaya.

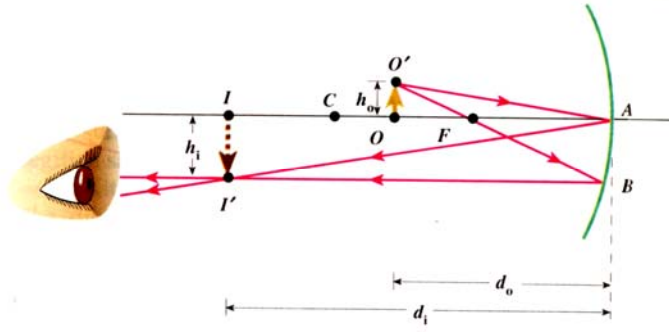
Diagram Berkas Cermin Cekung

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, jika suatu benda berada pada jarak tak berhingga, maka bayangan benda akan tepat berada pada titik focus cermin cekung. Tetapi bagaimana jika suatu benda berada tidak pada jarak tak berhingga?. Untuk menemukan dimana posisi bayangan yang terbentuk perhatikan berkas-berkas cahaya yang ditunjukkan pada Gambar 12.18



Gambar 12.18. Berkas-berkas cahaya meninggalkan titik O' pada benda (tanda panah). Di sini ditunjukkan tiga berkas yang paling penting untuk menentukan di mana bayangan I' terbentuk

Persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak bayangan dapat diturunkan dari Gambar 12.19. Jarak benda dari pusat cermin disebut **jarak benda** diberi notasi d_0 dan jarak bayangan diberi notasi d_1 . Tinggi benda OO' diberi notasi h_0 dan tinggi bayangan II' adalah h_1 .



Gambar 12.19. Diagram untuk menurunkan persamaan cermin

Perhatikan dua segitiga $O'AO$ dan $I'AI$ adalah sebangun, sehingga dapat dibandingkan menurut :

$$\frac{h_0}{h_1} = \frac{d_0}{d_1}$$

Sedangkan segitiga yang lain $O'FO$ dan AFB juga sebangun, di mana $AB = h_1$ dan $FA = f$, sehingga dapat dibandingkan menurut :

$$\frac{h_0}{h_1} = \frac{OF}{FA} = \frac{d_0 - f}{f}$$

Jika kedua persamaan di atas disubstitusi diperoleh

$$\frac{d_0}{d_1} = \frac{d_0 - f}{f}$$

Jika disempurnakan diperoleh

$$\frac{1}{d_0} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{f} \quad (12.2)$$

Persamaan (12.2) disebut **persamaan cermin** dan menghubungkan jarak benda dan bayangan dengan panjang fokus f (dimana $f = R/2$)

Pembesaran lateral (m) dari sebuah cermin didefinisikan sebagai tinggi bayangan dibagi tinggi benda, sehingga dapat dituliskan ;

$$m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} \quad (12.3)$$

Agar konsisten kita harus berhati-hati dalam penggunaan tanda-tanda besaran pada Persamaan (12.2) dan (12.3). Perjanjian tanda yang kita sepakati adalah : tinggi h_i adalah positif jika bayangan tegak, dan negatif jika terbalik (h_o selalu dianggap positif). d_i dan d_o positif jika bayangan dan benda ada pada sisi cermin yang memantulkan dan negatif jika berada pada di belakang cermin.

Kegiatan 12.4 Menemukan rumus cermin lengkung

Tujuan :

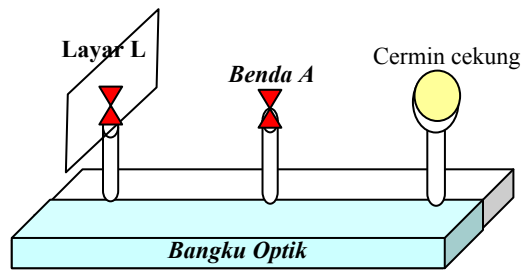
Menemukan rumus cermin lengkung

Alat dan Bahan :

Sebuah cermin cekung, sebuah layar putih, dan sebuah bangku optik

Langkah Kerja :

1. Letakkan benda di bangku optik diantara cermin cekung dan layar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.20.



Gambar 12.20, percobaan untuk menyelidiki hubungan antara jarak benda dengan jarak bayangan

2. Geser-geserlah letak layar sepanjang mistar bangku optik, sehingga bayangan dapat kamu lihat di layar putih. Kemudian ukurlah jarak layar dari cermin, jarak bayangan (s') dan jarak benda (s). Catat hasil pengukurannya pada Tabel 12.2.
3. Ulangi langkah 1 dan 2 dengan menggeser benda A. Untuk setiap letak benda A, catat hasil pengukurannya pada Tabel 12.2.

Tabel 12.2. Tabel pengukuran hasil percobaan

Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan		
S (cm)	S' (cm)	1/s	1/s'	1/s+1/s'

Tugas :

Bagaimakah hasil perhitungan $\frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$ pada kolom ke 5

Untuk lebih memahami penggunaan rumus cermin lengkung perhatikan contoh soal di bawah ini :

Contoh soal

Sebuah benda tingginya 1,5 cm diletakkan pada jarak 20 cm dari cermin cekung yang radius kelengkungannya 30 cm, tentukan posisi dan besar bayangan

Penyelesaian

Jarak fokus $f = r/2 = 15$ cm. Diagram berkas pada dasarnya sama dengan Gambar 12.11 dan 12.12. dan benda berada diantara F dan C. CA = 30 cm, FA = 15 cm dan OA = d_o (jarak benda) = 20 cm, sehingga

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{15} - \frac{1}{20} = 0,0167 \text{ cm}^{-1}$$

Maka nilai $d_i = 1/0,0167 = 60$ cm. Jadi bayangan terletak 60 cm dari cermin disisi yang sama dengan bendanya. **Perbesaran lateral**, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (12.3)

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{60}{20} = -3$$

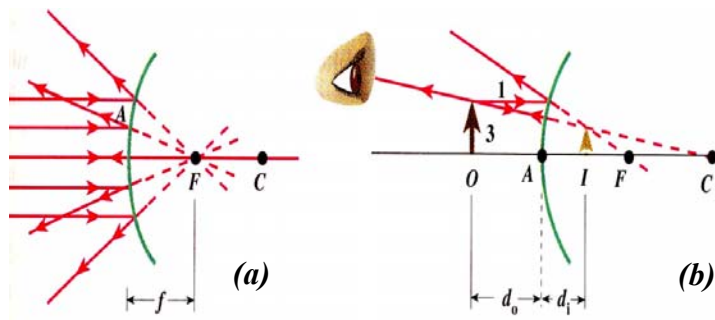
Sehingga tinggi bayangan adalah :

$$h_i = mh_o = (-3)(1,5 \text{ cm}) = -4,5 \text{ cm}$$

Tanda minus menunjukkan bahwa bayangan yang terbentuk terbalik.

B. Cermin Cembung

Analisis yang digunakan untuk cermin cekung dapat diterapkan pada cermin cembung, bahkan Persamaan (12.2) dan (12.3) juga berlaku untuk cermin cembung. Besaran-besaran yang terlibat harus didefinisikan dengan hati-hati, berkas cahaya pada cermin cembung ditunjukkan pada Gambar 12.21.



Gambar 12.21. Cermin cembung: (a) Titik fokus pada F di belakang cermin. (b) Bayangan I dari benda pada O bersifat maya, tegak dan lebih kecil dari benda

Persamaan (12.2) dan (12.3) jika akan diterapkan pada cermin cembung, *jarak fokus* haruslah dianggap *negatif* begitu juga untuk jari-jari kelengkungan.

Kegiatan 12.5 Melakukan Penyelidikan

Tujuan :

Menyelidiki sifat-sifat bayangan pada cermin cembung

Alat dan Bahan :

Sebuah cermin cembung dan sebuah benda

Langkah Kerja :

1. Letakkan sebuah cermin cembung pada posisi yang tetap
2. Pegang sebuah benda pada jarak yang cukup jauh dari cermin cembung, secara perlahan gerakkan benda itu, mendekati cermin

cembung. Sambil menggerakkan benda amati bayangan yang terlihat pada cermin

Tugas :

Bagaimana sifat-sifat dari benda untuk jarak yang berbeda-beda dari cermin ?

Contoh soal

Kaca spion mobil yang cembung memiliki radius kelengkungan 40 cm. Tentukan posisi bayangan dan perbesaran untuk benda yang terletak 10 m dari cermin

Penyelesaian

Diagram berkas mengikuti Gambar 12.13, tetapi jarak benda yang jauh ($d_o = 10$ m) menyebabkan penggambaran yang tepat sulit dilakukan. Karena cerminnya cembung, maka menurut aturan, r negatif. Lebih rinci lagi $r = -40$ cm, sehingga $f = -20$ cm. Persamaan cermin memberikan :

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = -\frac{1}{0,2 \text{ m}} - \frac{1}{10 \text{ m}} = -\frac{51}{10 \text{ m}}$$

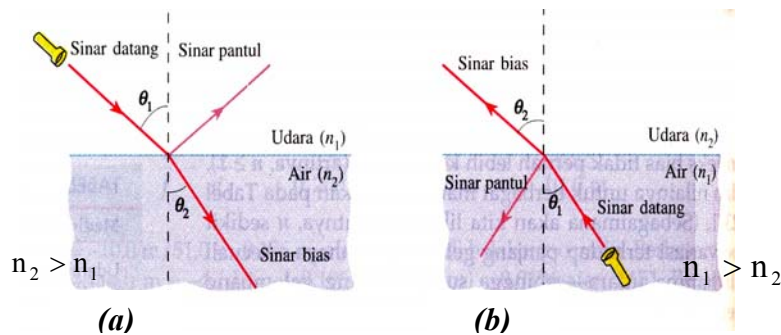
Maka $d_i = -10/51 = -0,196$ m atau 19,6 cm di belakang cermin.

$$\text{Perbesarannya adalah } m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{-0,1196 \text{ m}}{10 \text{ m}} = 0,0196 \text{ atau } 1/51,$$

berarti bayangan tersebut tegak, lebih kecil dari benda sebesar faktor 51.

Pembiasan

Ketika cahaya melintas dari suatu medium ke medium yang lainnya, sebagian cahaya datang dipantulkan pada perbatasan. Sisanya lewat medium yang baru. Jika seberkas cahaya datang dan membentuk sudut terhadap permukaan, berkas tersebut dibelokkan pada waktu memasuki medium yang baru. Peristiwa pembelokan ini disebut ***pembiasan***. Gambar 12.22 menunjukkan peristiwa pembiasan cahaya.



Gambar 12.22 (a) berkas cahaya merambat dari udara ke air. Berkas cahaya dibelokkan menuju normal ketika memasuki air ($n_{\text{air}} > n_{\text{udara}}$), (b) cahaya datang menuju medium yang lebih renggang (udara) cahaya dibelokkan menjauhi normal

Kegiatan 12.6 Melakukan Pengamatan

Tujuan :

Mengamati Pembiasan Cahaya

Alat dan Bahan :

Gelas kaca transparan, pointer laser, sedikit susu bubuk, dan sejumlah air

Langkah Kerja :

Lakukan percobaan ini dalam ruangan yang gelap

1. Isi gelas kaca dengan air ledeng jernih kira-kira 4/5 bagian. Tuangkan sedikit bubuk susu ke dalam gelas, kemudian aduk-aduk campuran sehingga susu bubuk larut secara merata dalam air. Sekarang gelas mengandung larutan susu
2. Arah laser pointermu kira-kira bersudut 45° terhadap permukaan larutan susu. Secara hati-hati amati apa yang terjadi dengan berkas sinar yang menabrak permukaan larutan susu

Tugas :

Apakah sinar laser pointermu:

- a. dipantulkan oleh permukaan larutan susu?
- b. menembus permukaan larutan tetapi arah sinar dibelokkan di dalam larutan?

Anda akan mengamati bahwa sinar laser pointermu dipantulkan oleh permukaan larutan susu, seakan-akan permukaan larutan susu berfungsi

sebagai cermin. Artinya anda akan mengamati juga bahwa sinar laser pointernu menembus permukaan larutan, tetapi arah sinar dalam larutan menjadi berbelok arah terhadap sinar datang lihat (Gambar 12.22). Pembelokan berkas sinar ketika lewat dari suatu medium ke medium lain dengan indeks bias berbeda disebut **pembiasan cahaya**

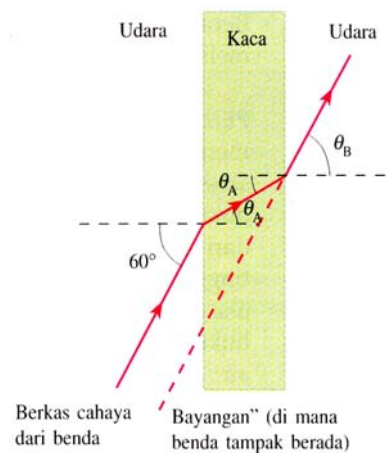
Proses pembiasan cahaya seperti pada Gambar 12.22 terlihat bahwa besarnya sudut bias (θ_2) bergantung pada besarnya sudut datang (θ_1) dan indeks bias kedua media. Hubungan analitis antara θ_1 , n_1 dan θ_2 , n_2 oleh Snellius dinyatakan dengan hubungan :

$$\text{Hukum Snellius} \quad n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (12.4)$$

Penerapan hukum Snellius terlihat pada Gambar 12.23, sebuah pensil yang dimasukkan ke dalam gelas yang berisi air tampak patah, karena cahaya yang datang dari ujung pensil di dalam air dibelokkan oleh permukaan air, pembiasan berkas cahayanya ditunjukkan dalam Gambar 12.24.



Gambar 12.23 Pensil didalam air tampak patah



Gambar 12.24 Cahaya yang melewati sepotong kaca

Kegiatan 12.7 Melakukan Pengamatan

Tujuan :

Mengamati pembentukan bayangan oleh peristiwa pembiasan cahaya

Alat dan Bahan :

Gelas kaca transparan, sebatang pensil dan sejumlah air

Langkah Kerja :

1. Isi gelas kaca dengan air sampai kira-kira tiga seperempat penuh
2. Masukkan sebatang pensil ke dalam air yang terdapat dalam gelas hingga sebatang pensil berada di atas permukaan air dan sebagian lainnya berada di bawah permukaan air (Gambar 12.23). Perhatikan kedudukan pensil agak miring terhadap permukaan air (*jangan memasukkan pensil dengan kedudukan tegak lurus permukaan air*)

Tugas :

Ketika kamu melihat batang pensil dari atas gelas kaca, lurus atau membengkokkah pensil tersebut? Dapatkah kamu menjelaskannya?

Selanjutnya agar lebih memahami peristiwa pembiasan cahaya, perhatikan beberapa contoh soal di bawah ini:

Contoh soal 1

Suatu cahaya jatuh pada potongan kaca yang rata dengan sudut datang 60° , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.24. Jika indeks bias kaca sebesar 1,5, tentukan (a) sudut bias θ_A pada kaca (b) sudut θ_B jika berkas muncul dari kaca?

Penyelesaian

- (a) Jika kita anggap berkas datang dari udara, maka $n_1 = 1$ dan $n_2 = 1,5$, Maka menurut Persamaan (12.4) sudut bias pada kaca adalah

$$\sin \theta_A = \frac{1}{1,5} \sin 60^\circ = 0,577 \quad \text{atau } \theta_A = 35,2^\circ$$

- (b) Karena permukaan kaca paralel, sudut datang dalam hal ini θ_A , sehingga $\sin \theta_A = 0,577$. Karena berkas datang dari kaca, maka $n_1 = 1,5$ dan $n_2 = 1$, maka sudut biasnya :

$$\sin \theta_B = \frac{1,5}{1} \sin \theta_A = 0,866 \quad \text{atau } \theta_B = 60^\circ$$

Berdasarkan jawaban (a) dan (b) pembalikan berkas datang akan menghasilkan sudut bias yang berbalik pula.

Contoh soal 2

Kedalaman semu pada kolam. Seorang perenang menjatuhkan kaca mata renangnya di ujung kolam yang dangkal, pada kedalaman 1 m, tetapi ternyata kaca mata tersebut tidak tampak sedalam itu. Mengapa demikian?

Penyelesaian

Menurut hukum Snellius, $n_1 = 1$ untuk udara, dan $n_2 = 1,33$ untuk air, maka

$$n_1 \sin \theta_A = n_2 \sin \theta_B$$

Dalam hal ini, kita hanya mempertimbangkan sudut kecil, sehingga $\sin \theta \approx \tan \theta = \theta$, dengan θ dalam radian. Akibatnya hukum Snellius menjadi

$$\theta_1 = n_2 \theta_2$$

Dari Gambar di bawah, tampak bahwa

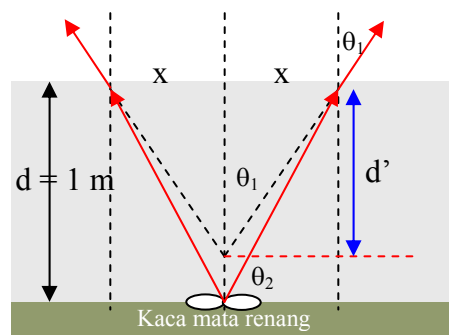
$$\theta_1 \approx \tan \theta_1 \approx \frac{x}{d'} \quad \text{dan} \quad \theta_2 \approx \tan \theta_2 \approx \frac{x}{d}$$

dengan mensubstitusi ke dua persamaan, ke dalam hukum snell, kita dapatkan

$$\frac{x}{d'} = n_2 \frac{x}{d}$$

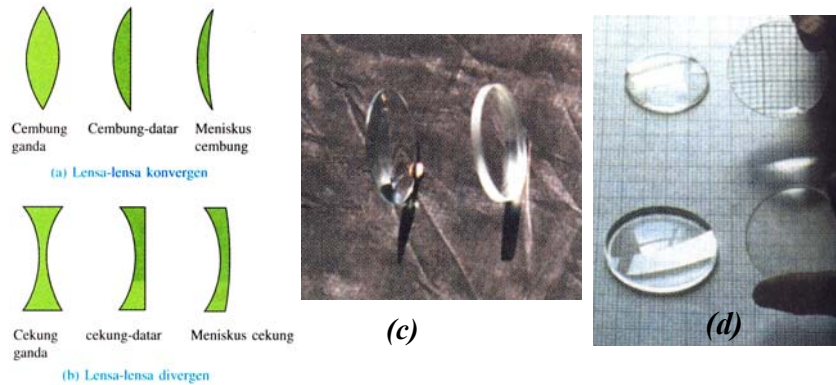
atau

$$d' = \frac{d}{n_2} = \frac{1 \text{ m}}{1,33} = 0,75$$



Lensa Tipis

Alat optik sederhana yang paling penting adalah lensa tipis. Perkembangan alat optik dengan menggunakan lensa berawal dari abad ke 16 dan 17. Lensa tipis biasanya berbentuk lingkaran dan kedua permukaannya melengkung, cekung atau datar. Beberapa jenis lensa ditunjukkan pada Gambar 12.25.

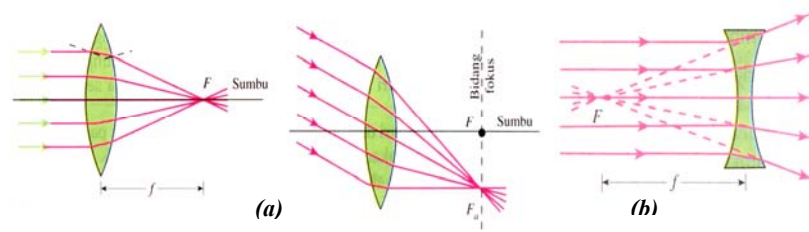


Gambar 12.25. Lensa (a) Konvergen (b) divergen, digambarkan dalam bentuk penampang lintang (c) foto lensa konvergen (kiri) dan lensa divergen (kanan) (d) Lensa konvergen (atas) dan lensa divergen, dinaikkan dari kertas untuk membentuk bayangan.

Berkas-berkas cahaya parallel yang datang dari jauh takberhingga dan mengenai lensa tipis (diameter lensa kecil jika dibandingkan jari-jari kelengkungannya) baik lensa konvergen (lensa cembung) maupun lensa divergen (lensa cekung) ditunjukkan pada Gambar 12.26. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa *titik fokus merupakan titik bayangan untuk benda pada jarak takberhingga pada sumbu utama*.

Kekuatan lensa kaca mata biasanya dinyatakan dengan kuat lensa (P) dan dinyatakan dengan persamaan

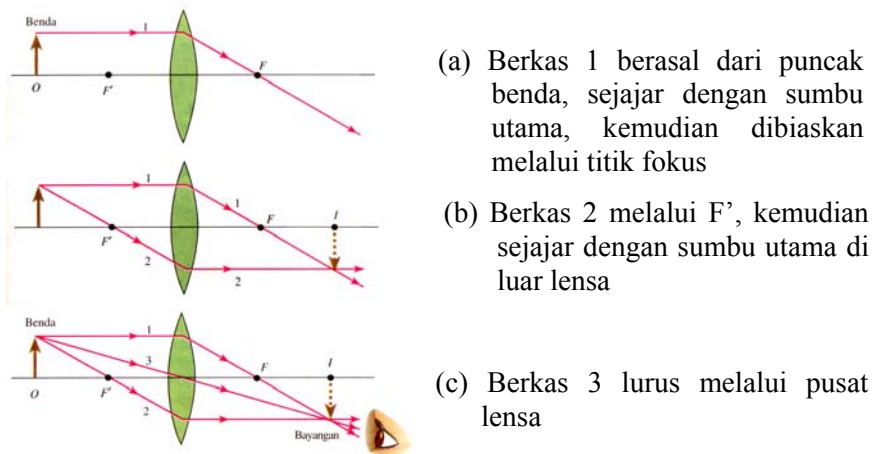
$$P = \frac{1}{f} \quad (12.5)$$



Gambar 12.26. Berkas-berkas paralel yang difokuskan oleh lensa tipis (a) lensa konvergen (b) lensa divergen

Kekuatan lensa dinyatakan dalam satuan dioptri (D) yang merupakan kebalikan dari meter.

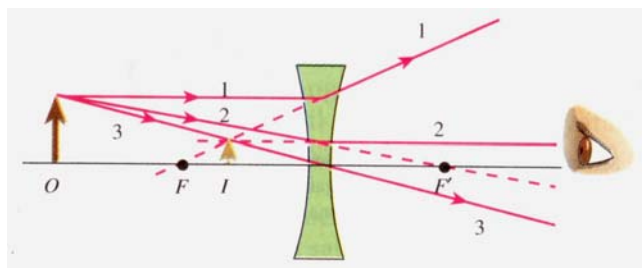
Parameter yang paling penting dalam lensa adalah panjang fokus f , penelusuran berkas untuk menemukan bayangan, baik lensa divergen maupun konvergen ditunjukkan pada Gambar 12.27 dan 12.28



- (a) Berkas 1 berasal dari puncak benda, sejajar dengan sumbu utama, kemudian dibiaskan melalui titik fokus
- (b) Berkas 2 melalui F' , kemudian sejajar dengan sumbu utama di luar lensa
- (c) Berkas 3 lurus melalui pusat lensa

Gambar 12.27 Penelusuran berkas bayangan untuk lensa konvergen

Penelusuran berkas untuk menemukan bayangan untuk lensa divergen ditunjukkan pada Gambar 12.28.



Gambar 12.28 Menemukan bayangan dengan penelusuran berkas untuk lensa divergen

Ketiga berkas bias tampak muncul dari satu titik di sebelah kiri lensa. Karena berkas-berkas tersebut tidak melewati bayangan, maka bayangan yang terbentuk adalah bayangan maya.

Kegiatan 12.8 Melakukan Pengamatan

Tujuan :

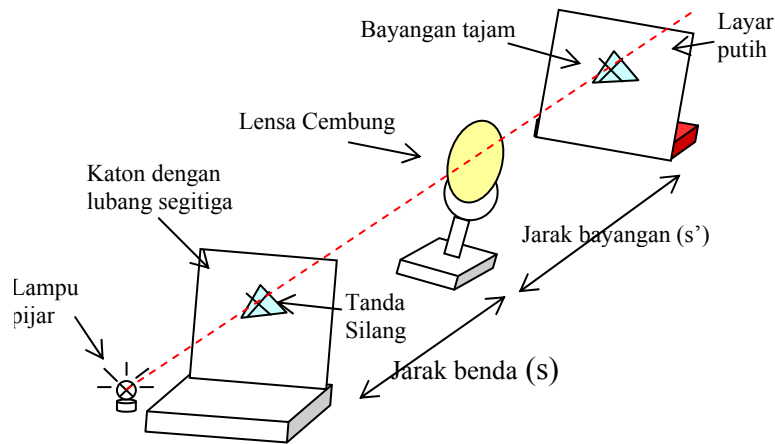
Menyelidiki sifat-sifat bayangan pada lensa cembung

Alat dan Bahan :

Lensa cembung dengan $f = 15$ cm, plastisin, sebuah karton dengan lubang segitiga dan kawat silang yang bertindak sebagai benda, sebuah lampu pijar kecil 2,5 volt, layar putih dan mistar

Langkah Kerja :

1. Tetapkan sebuah pohon atau gedung di luar laboratorium sebagai suatu benda jauh (lebih dari 10 m jauhnya) dan geserlah layar yang ada di belakang lensa mundur dan maju sampai suatu bayangan tajam dari benda jauh dibentuk pada layar. Ukur jarak bayangan s' , dan amati sifat-sifat bayangan. Sebutkan sifat-sifat bayangan, seperti nyata atau maya, tegak atau terbalik, diperbesar atau diperkecil, dibandingkan dengan bendanya.
2. Susun peralatan seperti pada Gambar 12.29. Yakinkan bahwa benda, pusat optik lensa, dan layar segaris dengan sumbu utama lensa,



Gambar 12.29. Susunan peralatan untuk menyelidiki sifat-sifat bayangan pada lensa cembung

3. Atur benda sampai jarak $s = 4f$. Geser layar mundur dan maju sampai suatu bayang-bayang tajam dibentuk pada layar. Ukur jarak bayangan dan catatlah sifat-sifat bayangan. Hitung perbesaran linier bayangan, dengan menggunakan $M = s'/s$
4. Ulangi langkah 3 dengan $s = 2f$; $1,5f$; dan $0,8f$
5. Ketika $s = 0,8f$, suatu bayangan maya (yang tidak dapat ditangkap pada layar) dibentuk. Untuk melihat bayangan maya ini pegang lensa $0,8f$ di atas buku ini. Perhatikan bayangan tulisan, dan sebutkan sifat-sifat bayangan yang terlihat olehmu dalam lensa

Tugas

1. Bagaimana sifat-sifat bayangan untuk jarak-jarak benda yang berbeda di depan lensa cembung?

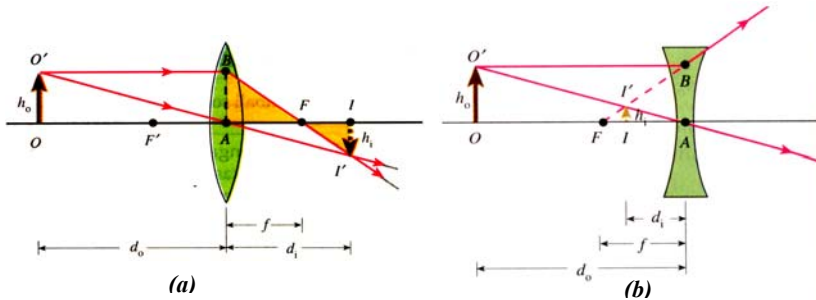
Persamaan Lensa

Penentuan posisi bayangan dapat dilakukan dengan cara matematis, cara ini lebih cepat dan akurat dibandingkan dengan cara penelusuran berkas. Perhatikan Gambar 12.29 untuk lensa konvergen yang dianggap sangat tipis. $\triangle F'I$ dan $\triangle FBA$ (diarsir kuning) sebangun, sehingga

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i - f}{f}$$

Karena panjang $AB = h_o$, maka segitiga OAO' sebangun dengan segitiga IAI' , dengan demikian

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o}$$



Gambar 12.30 Penurunan persamaan lensa (a) untuk lensa konvergen (b) untuk lensa divergen

Dengan mensubstitusikan kedua persamaan di atas, dan disusun kembali untuk mendapatkan persamaan lensa

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} \quad (12.6)$$

Penurunan persamaan untuk lensa divergen didasarkan pada Gambar 12.30b. Perhatikan segitiga yang sebangun, segitiga IAI' dan segitiga OAO' ; dan segitiga IFI' dan segitiga AFB

$$\frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o} \quad \text{dan} \quad \frac{h_i}{h_o} = \frac{f - d_i}{f}$$

Jika kedua persamaan ini disamakan dan disederhakan diperoleh

$$\frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = -\frac{1}{f}$$

Persamaan lensa divergen sama dengan persamaan lensa konvergen, hanya nilai fokusnya diambil negatif.

Perjanjian tanda untuk lensa konvergen dan divergen

1. Panjang fokus positif untuk lensa konvergen dan negatif untuk lensa divergen.
2. Jarak benda positif jika berada di sisi lensa yang sama dengan datangnya cahaya, selain itu negatif.
3. Jarak bayangan positif jika berada di sisi lensa yang berlawanan dengan arah datangnya cahaya; jika berada disisi yang sama d_i negatif. Jarak bayangan positif untuk bayangan nyata dan negatif untuk bayangan maya.

Pembesaran lateral sebuah lensa didefinisikan sebagai perbandingan antara tinggi bayangan dengan tinggi benda, secara matematis dinyatakan dengan persamaan

$$m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} \quad (12.7)$$

Untuk bayangan tegak, perbesaran positif, dan untuk bayangan terbalik m bernilai negatif

Contoh soal

Dimana posisi dan berapa ukuran bayangan bunga besar yang tingginya 7,6 cm diletakkan 1,00 m dari lensa konvergen dengan panjang fokus 50 mm ?

Penyelesaian

Dengan menggunakan Persamaan (12.6) posisi bayangan adalah

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o} = \frac{1}{5 \text{ cm}} - \frac{1}{100 \text{ cm}} = \frac{20 - 1}{100 \text{ cm}}$$

Jadi

$$d_i = \frac{100}{19} = 5,26 \text{ cm}$$

Ini menyatakan bahwa posisi bayangan berada 5,26 cm di belakang lensa.

Pembesarannya adalah :

$$m = -\frac{d_i}{d_o} = -\frac{5,26}{100} = -0,0526$$

Jadi

$$h_i = mh_o = (-0,0526)(7,6 \text{ cm}) = -0,40 \text{ cm}$$

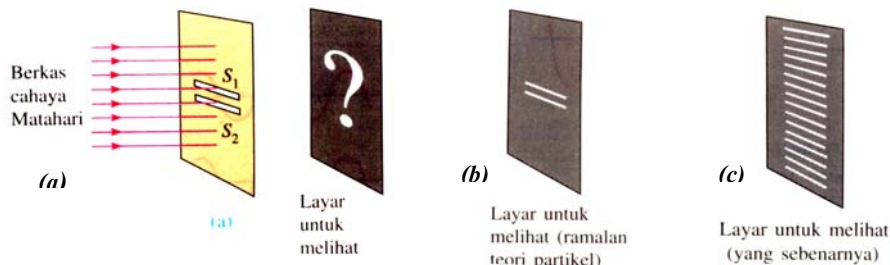
Ini menunjukkan bahwa tinggi bayangan hanya 4 mm dan terbalik ($m < 0$).

12.2. Sifat Gelombang dari Cahaya

Fakta bahwa cahaya membawa energi telah jelas bagi orang yang pernah memfokuskan sinar matahari pada sepotong kertas dan membakar kertas tersebut dengan membentuk lubang. Tetapi bagaimana cahaya itu merambat dan dalam bentuk apa energi itu dibawa?. Pada bagian ini kita hanya akan membahas sifat gelombang dari cahaya melalui beberapa percobaan yang pernah dilakukan. Sifat-sifat tersebut diantaranya adalah peristiwa interferensi, dispersi, difraksi dan polarisasi.

Interferensi

Pada tahun 1801, seorang berkebangsaan Inggris, Thomas Young (1773 – 1829) mendapatkan bukti yang meyakinkan untuk sifat gelombang dari cahaya. Diagram skematik percobaan celah ganda ditunjukkan pada Gambar 12.30 Cahaya dari suatu sumber (menggunakan cahaya matahari) jatuh pada layar yang mempunyai dua celah yang berdekatan S_1 dan S_2 . Jika cahaya terdiri dari partikel-partikel kecil, kita mungkin berharap dapat melihat dua garis terang yang terlihat pada layar, seperti Gambar 12,31b, tetapi Young melihat serangkaian garis yang terang seperti yang terlihat pada Gambar 12.22c. Fenomena ini dikenal sebagai **Interferensi Gelombang**.



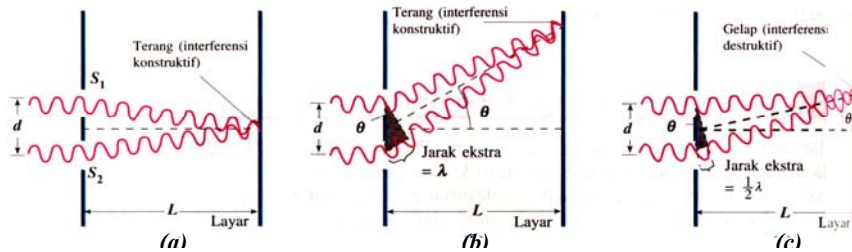
Gambar 12.31 (a) Percobaan celah ganda oleh Young, (b) Ramalan jika cahaya sebagai partikel (c) Peristiwa interferensi pada layar (bangk garis-garis)

Untuk melihat bagaimana pola interferensi dihasilkan pada layar perhatikan Gambar 12.32. Gelombang memasuki celah S_1 dan S_2 yang berjarak d , selanjutnya gelombang akan tersebar ke semua arah setelah melewati celah tersebut (hanya digambarkan untuk 3 sudut θ). Gambar 12.32a terlihat gelombang yang mencapai pusat layar ($\theta = 0$) menempuh jarak yang sama, sehingga amplitudo ke dua gelombang saling memperkuat, kondisi ini dikenal sebagai **interferensi konstruktif**. Begitu juga pada Gambar 12.32b terjadi interferensi konstruktif ketika lintasan kedua berkas berbeda sebanyak satu panjang gelombang. Tetapi untuk berkas dari kedua celah berbeda sebanyak $\frac{1}{2}$ gelombang, maka interferensinya saling melemahkan atau dikenal dengan **interferensi destruktif**, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.32c.

Menurut Gambar 12.32b, segitiga siku-siku yang diarsir membentuk jarak ekstra sejauh $d \sin \theta$. Interferensi konstruktif akan terjadi, dan sisi yang terang akan muncul di layar, ketika $d \sin \theta$ sama dengan kelipatan bilangan bulat dari panjang gelombang :

$$\begin{array}{l} \text{Interferensi} \\ \text{konstruktif} \end{array} \quad d \sin \theta = m\lambda \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (12.8)$$

dengan m adalah orde pinggiran interferensi dari garis-garis terang.



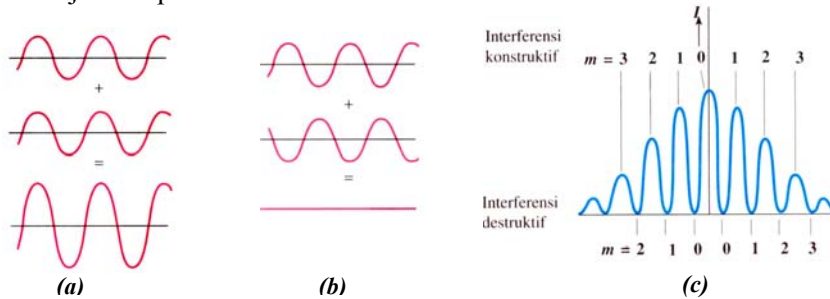
Gambar 12.32 Pola interferensi pada percobaan celah ganda (a) berkas cahaya sefasa, terjadi interferensi konstruktif, (b) Kedua berkas mempunyai beda jarak 1λ , tetapi masih dalam berbeda fasa 2π , sehingga interferensinya konstruktif, (c) kedua berkas mempunyai beda jarak $\frac{1}{2}\lambda$, dan berbeda fasa, sehingga interferensinya destruktif.

Sedangkan **interferensi destruktif** terjadi jika jarak ekstra $d \sin \theta$ sebesar $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, dan seterusnya dari panjang gelombang dan dinyatakan dengan Persamaan

Interferensi
destruktif

$$d \sin \theta = (m + \frac{1}{2})\lambda \quad (12.9)$$

Bentuk bentuk interferensi dan intensitas cahaya pada pola interferensi ditunjukkan pada Gambar 12.33



Gambar 12.33 (a) Interferensi konstruktif (b) interferensi destruktif (c) Intensitas cahaya pada pola interferensi

Contoh soal

Sebuah layar terdapat dua celah yang berjarak 0,10 mm berada 1,2 m dari layar tampilan . Cahaya dengan panjang gelombang $\lambda = 500 \text{ nm}$ jatuh pada celah-celah dari sumber yang jauh. Berapa jarak pinggiran interferensi terang pada layar?

Penyelesaian

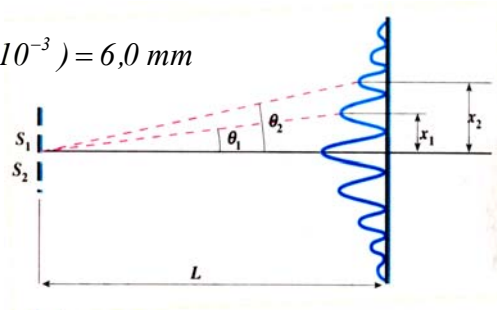
Diketahui $d = 0,10 \text{ mm} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ m}$, $\lambda = 500 \times 10^{-9} \text{ m}$ dan $L = 1,2 \text{ m}$,
Pinggiran orde pertama ($m = 1$) terjadi pada sudut θ sebesar

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d} = \frac{(1)(500 \times 10^{-9} \text{ m})}{1,0 \times 10^{-4} \text{ m}} = 5,0 \times 10^{-3}$$

Ini merupakan sudut yang sangat kecil, sehingga $\sin \theta \cong \theta$, pinggiran orde pertama akan muncul pada jarak x_1 di atas pusat layar, jika digambarkan tampak seperti Gambar di samping, dimana $x_1/L = \tan \theta = \theta$, sehingga

$$x_1 = L\theta_1 = (1,20 \text{ m})(5,0 \times 10^{-3}) = 6,0 \text{ mm}$$

pinggiran orde ke dua ($m = 2$) akan terjadi pada

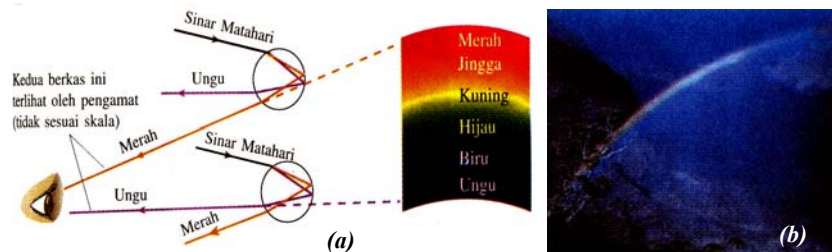


$$x_2 = L\theta_2 = L \frac{2\lambda}{d} = 12,0 \text{ mm}$$

Di atas pusat dan seterusnya. Dengan demikian jarak pingiran-pinggiran adalah 6,0 mm

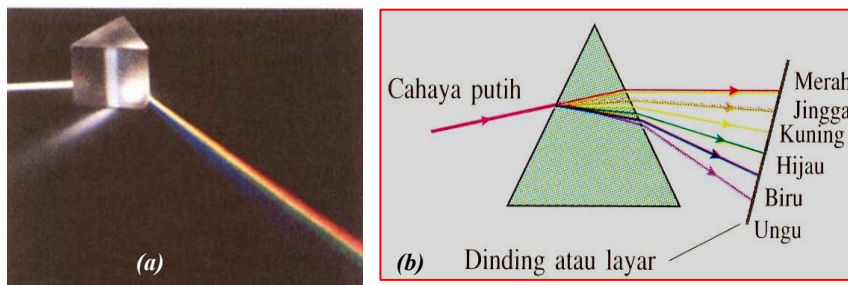
Dispersi

Penyebaran cahaya putih menjadi spektrum lengkap disebut *dispersi*. Pelangi merupakan salah satu contoh dispersi yang luar biasa yang dibentuk oleh tetesan-tetesan air. Gambar 12.34 menunjukkan diagram berkas pembentukan pelangi, dimana warna merah dibelokkan paling sedikit dan warna ungu dibelokkan paling besar, sehingga warna merah akan tampak lebih tinggi di langit dibandingkan warna ungu.



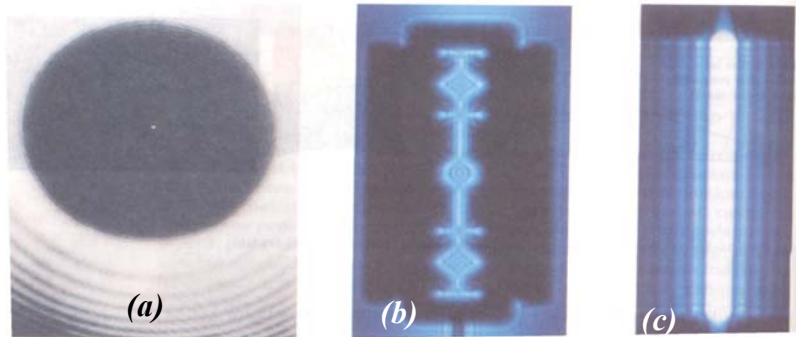
Gambar 12.34 (a) Diagram berkas pembentukan pelangi

Peristiwa dispersi juga terjadi pada prisma, dimana cahaya putih yang mengenai prisma akan didispersikan menjadi pelangi warna-warna. Hal ini terjadi karena indeks bias materi bergantung pada panjang gelombang. Cahaya putih merupakan campuran dari semua panjang gelombang yang tampak, dan ketika jatuh pada prisma seperti pada Gambar 12.26, panjang gelombang cahaya yang berbeda akan didispersikan dengan derajat yang berbeda-beda pula.



Gambar 12.35 (a) Cahaya putih yang menembus prisma dibagi menjadi warna-warna pembentuknya (b) Cahaya putih didispersikan oleh prisma menjadi spectrum tampak

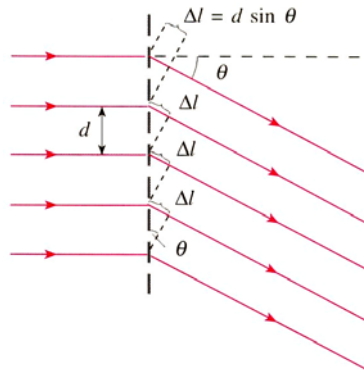
Difraksi adalah peristiwa penyebaran atau pembelokan gelombang melalui celah yang sempit. Pola difraksi dari beberapa bahan ditunjukkan pada Gambar 12.36



Gambar 12.36. Pola difraksi (a) Uang logam, (b) pisau cukur, (c) celah tunggal. Masing-masing diterangi oleh sumber titik cahaya monokromatis.

Gambar 12.37 menunjukkan proses terbentuknya pola difraksi oleh kisi difraksi. Setiap titik pada kisi dianggap sebagai sumber gelombang baru. Interferensi konstruktif terjadi pada sudut θ yang sedemikian rupa, sehingga berkas cahaya dari celah yang bersisian menempuh jarak ekstra $\Delta l = m\lambda$. Jika d adalah jarak antar celah, maka $\Delta l = d \sin \theta$ sehingga:

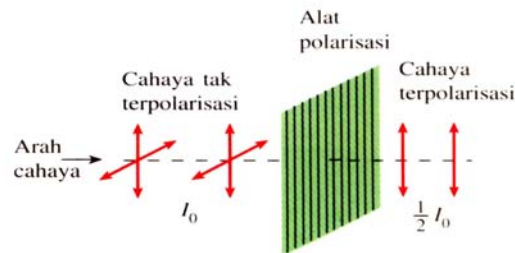
$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{d} \quad m = 0, 1, 2, \dots \text{ (maksimum utama)} \quad 12.10$$



Gambar 12.37 Kisi difraksi

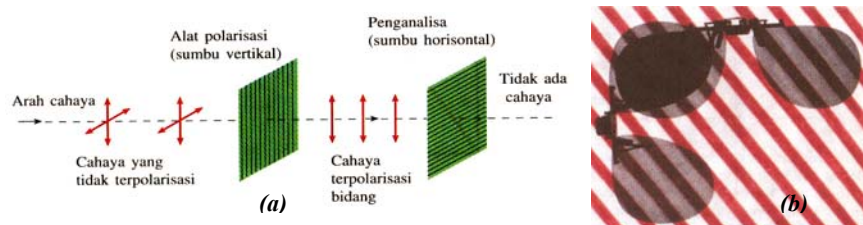
Polarisasi

Salah satu sifat cahaya yang unik adalah polarisasi, yaitu penyearahan arah getar medan listrik cahaya (gelombang elektromagnetik) oleh polarisator. Cahaya yang tidak terpolarisasi terdiri dari cahaya dengan arah polarisasi (vektor medan listrik) yang acak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.38. Masing-masing arah polarisasi ini dapat diuraikan menjadi komponen sepanjang dua arah yang saling tegak lurus. Ketika cahaya yang tidak terpolarisasi melewati alat polarisasi, satu dari komponen-komponennya dihilangkan. Jadi intensitas cahaya tersebut menjadi setengahnya, $I = \frac{1}{2} I_0$



Gambar 12.38 Cahaya yang tidak terpolarisasi mempunyai komponen vertical dan horizontal, setelah melewati alat polarisasi, salah satu komponen ini dihilangkan. Intensitas cahaya diperkecil menjadi setengahnya

Salah satu pemakaian teori polarisasi cahaya adalah polaroid saling silang yaitu sumbu-sumbu saling tegak lurus satu sama lain, sehingga cahaya yang tidak terpolarisasi dapat diberhentikan sama sekali, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.39. Polaroid ini banyak dipasang di kaca-kaca mobil untuk mengurangi panas di dalam mobil, salah satu contohnya pelapisan dengan *V-cool* pada kaca mobil.



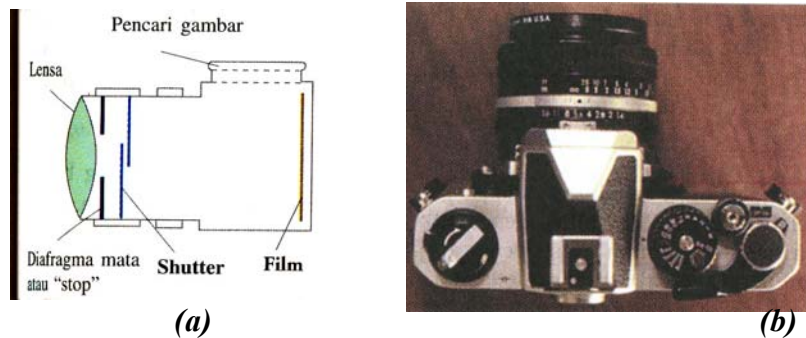
Gambar 12.39 (a) Polaroid silang akan menghilangkan cahaya sama sekali (b) Kaca mata yang menggunakan polaroid silang

12.3. Alat-Alat Optik

Pada bagian ini kita akan membicarakan peralatan yang banyak membantu atau dimanfaatkan oleh manusia dalam kehidupan sehari-hari, seperti kamera, mikroskop, teleskop, dll. Peralatan ini kebanyakan menggunakan cermin dan lensa. Oleh karena itu, untuk memahami cara kerja alat ini, harus memahami sifat gelombang dari cahaya.

12.3.1. Kamera

Elemen-elemen dasar dari kamera adalah lensa, kotak ringan yang rapat, *shutter* (pembuka dan penutup) cahaya yang melalui lensa dalam waktu yang singkat, dan plat atau potongan film yang peka (Gambar 12.40). Sedangkan kamera terkini sudah tidak menggunakan film untuk menangkap bayangan benda, tetapi menggunakan system digital analog, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.40



Gambar 12.40 (a) Kamera sederhana (b)Kamera yang dilengkapi f-stop dan gelang pemfokus

Ada 3 penyetelan utama pada kamera dengan kualitas yang baik, yaitu : Kecepatan shutter, f-stop, dan pemfokusan.

Kecepatan Shutter, adalah istilah yang mengacu pada berapa lama shutter dibuka untuk waktu pencahayaan, biasanya antara $\frac{1}{100}$ sampai $\frac{1}{1000}$ semakin cepat semakin baik Tujuannya untuk menghindari pengaburan bayangan karena gerak kamera.

f-Stop, adalah pengendali cahaya yang akan mencapai film. Kekurangan cahaya hanya benda terang yang terlihat, dan sebaliknya kelebihan cahaya, semua benda akan tampak sama. f-stop pada kamera

dimanfaatkan ketika hari mendung, atau malam hari dengan mengatur tombol f-stop, dan didefinisikan dengan :

$$f - stop = \frac{f}{D}$$

Dengan f adalah panjang focus lensa dan D adalah diameter bukaan. Misalnya, jika kamera mempunyai panjang focus 50 mm dan diameter bukaan 25 mm, maka dikatakan lensa tersebut diatur pada $f/2$.

Pemfokusan, adalah peletakan lensa pada posisi yang optimal untuk mendapatkan bayangan yang sangat tajam. Pada kamera biasanya digunakan dengan cara memutar gelang pemfokus. Pada kamera masa kini pemfokusan diatur dengan dua cara, yaitu pemfokusan secara optikal dan pemfokusan secara digital, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.41

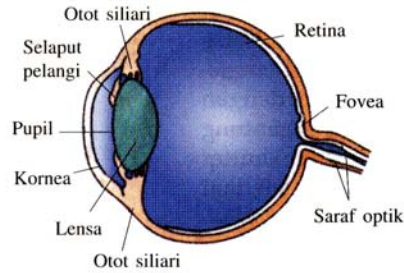


Gambar 12.41. Kamera terkini yang dilengkapi dengan pemfokus dan external memori untuk menyimpan data digital (a) tampak depan (b) tampak belakang (c) external memori (d) baterai yang bisa diisi ulang.

Mata

Mata manusia mirip dengan kamera, struktur dasarnya ditunjukkan pada Gambar 12.42. Selaput pelangi berfungsi sebagai diafragma yaitu menyesuaikan secara otomatis banyaknya cahaya yang memasuki mata. Pupil bagian mata yang berwarna hitam berfungsi menahan pemantulan kembali cahaya dari bagian dalam.

Retina berfungsi sebagai film dalam kamera. Retina terdiri dari serangkaian saraf dan alat penerima yang rumit dan dinamakan batang dan kerucut yang berfungsi untuk mengubah energi cahaya menjadi sinyal listrik yang berjalan sepanjang saraf. Di pusat retina terdapat daerah kecil dengan diameter 0,25 mm disebut fovea yang berfungsi mempertajam bayangan dan pemisahan warna.

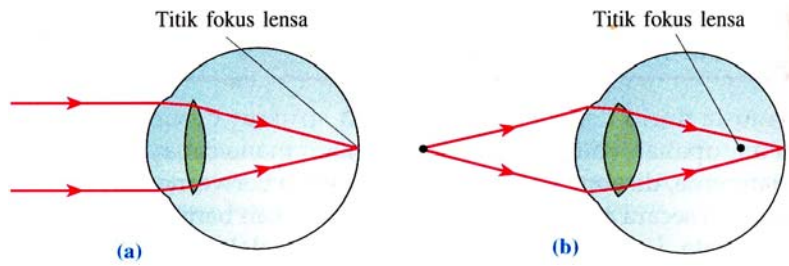


Gambar 12.42 Struktur mata manusia

Lensa mata hanya sedikit membelokkan berkas cahaya, sehingga pembiasan dilakukan dipermukaan depan kornea. Lensa ini berfungsi sebagai penyetel untuk memfokuskan bayangan pada jarak yang berbeda. Pengaturan pemfokusan oleh lensa mata disebut **akomodasi**.

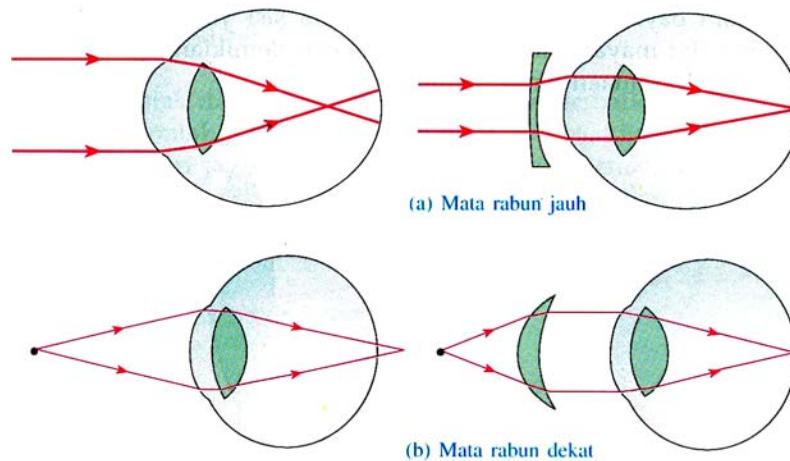
Mata Normal adalah mata yang mempunyai titik dekat 25 cm dan titik jauh tak berhingga (Gambar 12.43). *Titik dekat* adalah jarak terdekat yang dapat difokuskan oleh mata, dan *titik jauh* adalah jarak terjauh dimana benda masih dapat dilihat oleh mata

Rabun Jauh atau *myopi*, adalah lensa mata yang hanya dapat terfokus pada benda dekat, sehingga benda yang jauh tidak dapat terlihat dengan jelas (Gambar 12.44a). Hal ini disebabkan oleh bola mata yang terlalu panjang atau kelengkungan kornea terlalu besar, akibatnya bayangan benda yang jauh terfokus didepan retina. Untuk memperbaiki rabun jauh digunakan kaca mata dengan lensa divergen.



Gambar 12.43. Akomodasi oleh mata normal (a) Lensa rileks, terfokus pada jarak takhingga; (b) Lensa menebal, terfokus pada benda deka

Rabun dekat atau *hypermetropi*, adalah lensa mata tidak dapat memfokus pada benda dekat dan hanya dapat melihat dengan jelas benda-benda yang jauh (Gambar 12.44b). Mata hypermetropi mempunyai titik dekat lebih dari normal 25 cm. Kelainan ini disebabkan oleh biji mata yang terlalu pendek atau kornea yang tidak cukup melengkung dan dapat diperbaiki dengan lensa konvergen. Kelainan yang sama adalah *presbiopi* yaitu berkurangnya kemampuan mata untuk berakomodasi dan titik dekatnya menjauh. Untuk memperbaiki kelainan ini digunakan dengan lensa konvergen.

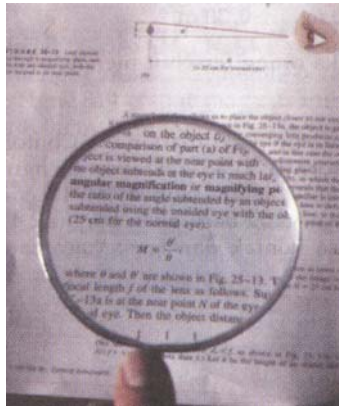


Gambar 12.44. Memperbaiki kelainan pada mata dengan lensa

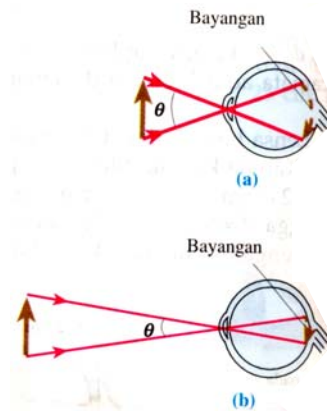
Astigmatisme biasanya disebabkan oleh kornea atau lensa yang kurang bulat, sehingga benda titik difokuskan sebagai garis pendek. Hal ini terjadi karena kornea berbentuk sferis dengan bagian silendrisnya bertumpuk. Mata astigmatisma dapat diperbaiki dengan menggunakan lensa silendris yang mengimbangnya.

Kaca Pembesar

Kaca pembesar sebenarnya merupakan lensa konvergen, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.45. Seberapa besar benda akan tampak dan seberapa detail yang bisa kita lihat tergantung pada ukuran bayangan yang dibuatnya pada retina. Sebaliknya juga bergantung pada sudut yang dibentuk oleh benda pada mata. Misalnya sekeping uang logam yang dipegang pada jarak 30 cm dari mata tampak 2 kali lebih tinggi daripada yang dipegang pada jarak 60 cm, karena sudut yang dibuatnya dua kali lebih besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.45.

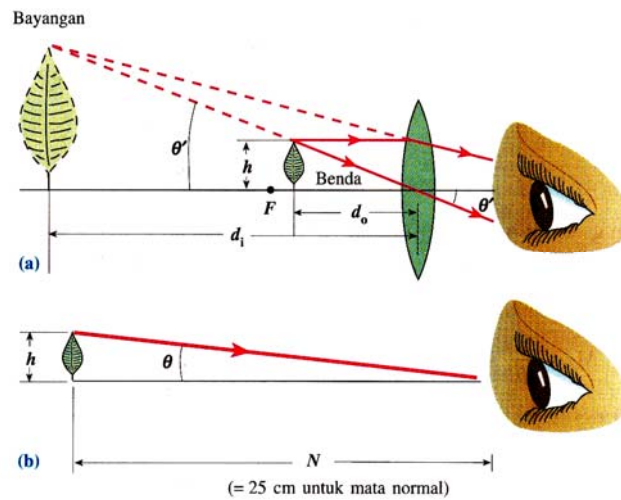


Gambar 12.45 Foto kaca pembesar dan bayangan yang dibuatnya



Gambar 12.46 Jarak pandang yang lebih dekat, menghasilkan bayangan

Sebuah kaca pembesar memungkinkan kita untuk meletakkan benda lebih dekat ke mata untuk membentuk sudut yang lebih besar, sehingga menghasilkan bayangan yang lebih besar, seperti pada Gambar 12.47 benda diletakkan pada titik focus atau di dalamnya.



Gambar 12.47. Daun dilihat (a) melalui kaca pembesar, dan (b) dengan mata tanpa bantuan, mata terfokus pada titik dekatnya

Pembesaran angular atau daya perbesaran, M untuk kaca pembesar dinyatakan dengan persamaan :

$$M = \frac{N}{f} \quad \left[\begin{array}{l} \text{Mata terfokus pada jarak } \infty, \\ N = 25 \text{ cm untuk mata normal} \end{array} \right] \quad (12.11a)$$

Sedangkan jika mata terfokus pada titik dekat dinyatakan dengan persamaan

$$M = \frac{N}{f} + 1 \quad \left[\begin{array}{l} \text{Mata terfokus pada titik dekat,} \\ N = 25 \text{ cm untuk mata normal} \end{array} \right] \quad (12.11b)$$

Kita lihat bahwa perbesaran sedikit lebih besar ketika mata terfokus pada titik dekatnya, dan bukan ketika rileks.

Contoh Soal 2 :

Seorang tukang emas menggunakan kaca pembesar yang mempunyai panjang focus 8 cm untuk mendesain perhiasan emas. Perkirakan (a)

perbesaran ketika mata rileks, dan (b) perbesaran jika mata terfokus pada titik dekatnya $N = 25$ cm

Penyelesaian :

(a) Mata rileks terfokus pada jarak takberhingga, maka perbesarannya

$$M = \frac{N}{f} = \frac{25}{8} \cong 3X$$

(b) Perbesaran ketika mata terfokus pada titik dekatnya ($N = 25$ cm), dan lensa berada di dekat mata, adalah :

$$M = \frac{N}{f} + 1 = \frac{25}{8} + 1 \cong 4X$$

Teleskop

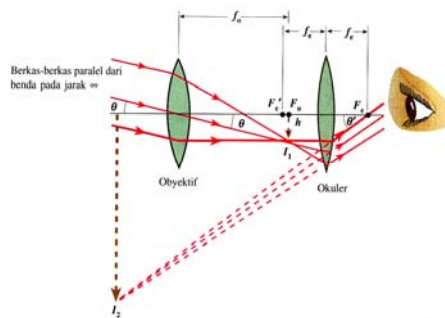
Teleskop adalah alat yang digunakan untuk memperbesar benda yang sangat jauh, dan umumnya digunakan untuk melihat benda-benda yang berada di ruang angkasa. Galileo adalah orang pertama yang meneliti benda-benda ruang angkasa dengan teleskop ciptaannya. Beliau menemukan penemuan-penemuan yang mengguncang dunia, diantaranya satelit-satelit Jupiter, fase Venus, bercak Matahari, struktur permukaan bulan, dan Bima Sakti yang terdiri-dari sejumlah besar bintang-bintang individu.

Ada beberapa jenis teleskop astronomi, yaitu :

Teleskop Pembias dikenal pula sebagai teleskop Keplerian, terdiri dari dua lensa konvergen yang berada pada ujung-ujung berlawanan dari tabung yang panjang, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.48. Lensa yang paling dekat dengan benda disebut **lensa obyektif** yang berfungsi sebagai pembentuk bayangan nyata dari benda yang jauh. Bayangan ini terbentuk sangat dekat dengan lensa kedua yang disebut **lensa okuler** dan berfungsi sebagai pembesar. Dengan demikian lensa okuler memperbesar bayangan yang dihasilkan oleh lensa obyektif untuk membentuk bayangan ke dua yang jauh lebih besar, dan bersifat maya terbalik.

Perbesaran total (perbesaran angular) teleskop adalah

$$M = -\frac{f_{oby}}{f_{okl}} \quad (12.12)$$



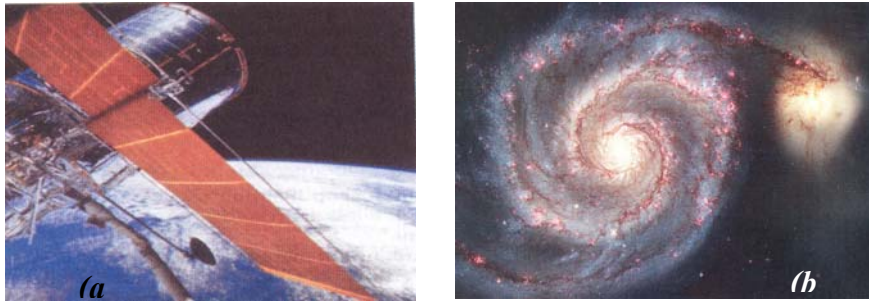
Gambar 12.48 Teleskop astronomi (pembias). Cahaya paralel dari satu titik pada benda yang jauh ($d_0 = \infty$) difokuskan oleh lensa obyektif pada bidang fokusnya, dan selanjutnya diperbesar oleh lensa okuler untuk membentuk bayangan akhir I_2



Gambar 12.49 Teleskop pembias di Yarkes Observatory, mempunyai lensa obyektif dengan diameter 102 cm dan panjang tabung teleskop 19 m

Untuk mendapatkan perbesaran yang jauh lebih besar, lensa obyektif harus memiliki panjang focus yang panjang dan panjang focus okuler yang pendek. Menurut Gambar 12.26 terlihat bahwa jarak antar lensa adalah $f_{oby} + f_{okl}$.

Teleskop pemantul menggunakan cermin lengkung yang sangat besar sebagai obyektifnya, sedangkan lensa atau cermin okuler dipindahkan, sehingga bayangan bayangan nyata yang dibentuk oleh cermin obyektif dapat direkam langsung pada film.



Gambar 12.50 (a) Teleskop ruang angkasa (b) Hasil Pemotretan Teleskop Hubble galaksi Spiral dan Nebula (Kompas 27/4/05)

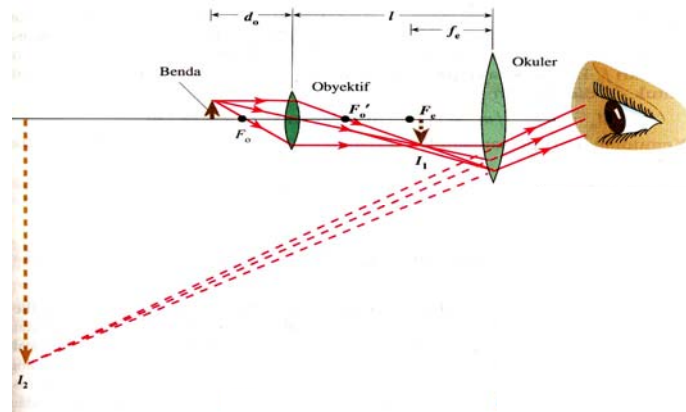
Teleskop teristerial, teleskop ini digunakan untuk melihat benda-benda yang ada di bumi, teleskop ini menghasilkan bayangan tegak. Ada dua jenis teleskop teristerial, yaitu :

- **Jenis Galilean** : okulernya dibuat dari lensa divergen, yang berfungsi memotong berkas yang mengumpul dari lensa obyektif sebelum mencapai fokus, sehingga membentuk bayangan tegak maya.
- **Jenis Spyglass** : okuler dan obyektifnya terbuat dari lensa konvergen dan lensa ketiganya adalah prisma yang berfungsi memantulkan berkas dengan pantulan internal sempurna, sehingga menghasilkan bayangan tegak.

Teleskop ruang angkasa yang digunakan untuk mempelajari gerakan galaksi-galaksi yang ada di luar angkasa adalah teleskop hubble, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.40 dan hasil pemotretannya.

Mikroskop

Mikroskop adalah alat yang digunakan untuk melihat benda-benda yang sangat dekat, seperti halnya teleskop, mikroskop mempunyai lensa obyektif dan okuler, tetapi rancangannya berbeda, karena teleskop ditujukan untuk melihat benda-benda yang sangat jauh. Pada mikroskop benda diletakkan diluar titik fokus obyektif, sehingga bayangan I_1 yang dibentuk oleh lensa obyektif bersifat nyata. Selanjutnya bayangan ini diperbesar oleh okuler menjadi bayangan maya I_2 yang sangat besar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12.51



Gambar 12.51 Diagram berkas mikroskop

Perbesaran total mikroskop adalah hasil kali perbesaran yang dihasilkan oleh ke dua lensa. Menurut persamaan perbesaran lateral lensa, maka untuk okuler adalah

$$m_{oby} = \frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o} = \frac{l - f_{okl}}{d_o} \quad (12.13)$$

Jika kita anggap bahwa mata rileks, perbesaran angular M_{okl} adalah

$$M_{okl} = \frac{N}{f_{okl}} \quad (12.14)$$

Di mana titik dekat $N = 25$ cm untuk mata normal. Karena okuler memperbesar bayangan yang dibentuk oleh obyektif, perbesaran angular total M adalah hasil kali dari perbesaran lateral lensa obyektif, m_{oby} dikalikan perbesaran angular, M_{okl} dari lensa okuler

$$\begin{aligned} M &= M_{okl} \cdot m_{oby} = \left(\frac{N}{f_{okl}} \right) \cdot \left(\frac{l - f_{okl}}{d_o} \right) \\ &= \frac{Nl}{f_{okl} \cdot f_{oby}} \end{aligned}$$

Mikroskop yang banyak dimanfaatkan untuk industri logam adalah mikroskop optik dengan perbesaran samapai 2000X ditunjukkan pada Gambar 12.52.

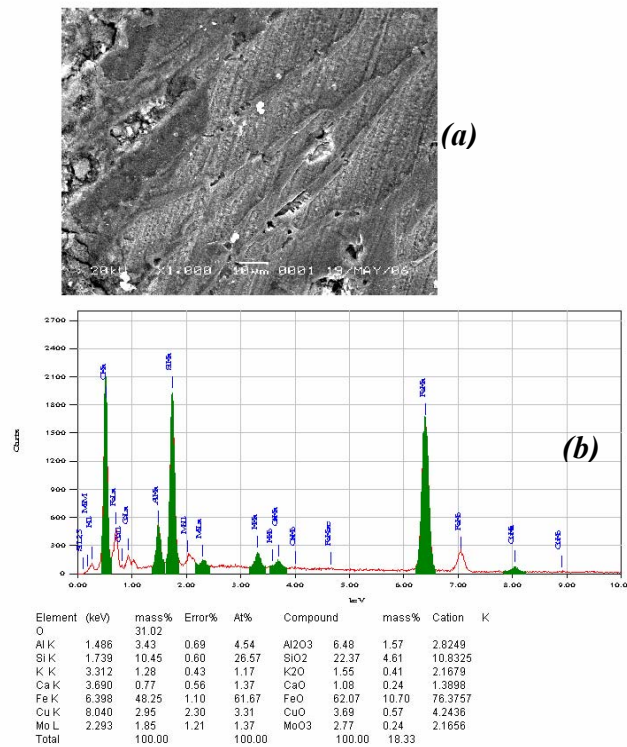


Gambar 12.52 Mikroskop optik dan hasil pemfotografan mikrostruktur logam

Sedangkan mikroskop elektron dengan perbesaran sampai satu juta kali ($10^6 \times$) banyak dimanfaatkan untuk pengembangan keilmuan (penelitian) ditunjukkan pada Gambar 12.53



Gambar 12.53 (a) Preparasi sample, tempat coating sample dengan emas atau karbon (b) Mikroskop electron dan perlengkapannya



Gambar 12.54 (a) Pengamatan Struktur mikro logam (b) penembakan unsur penyusun logam pada titik tertentu dengan EDX (Energy Dispersive X-ray)

Contoh Soal

Sebuah mikroskop gabungan perbesaran okulernya 10x dan obyektifnya 50x dengan jarak 17 cm. Tentukan : (a) perbesaran total, (b) panjang fokus setiap lensa, (c) posisi benda ketika bayangan akhir berada dalam fokus dengan mata rileks, Anggap mata normal mempunyai nilai $N = 25$ cm

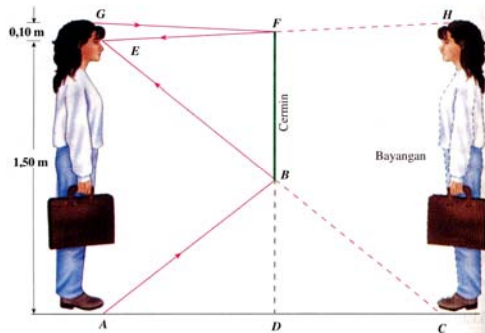
Penyelesaian

(a) Perbesaran total adalah $M = M_{okl} \cdot m_{oby} = 10 \times 50 = 500x$

- (b) Panjang fokus okuler adalah: $f_{okl} = \frac{N}{M_{okl}} = \frac{25}{10} = 2,5$ untuk mencari f_{oby} lebih mudah jika mencari d_o terlebih dahulu, yaitu :
- $$d_o = \frac{l - f_{okl}}{m_{oby}} = \frac{(17,0 - 25)}{50} = 0,29$$
- selanjutnya dari persamaan lensa, dengan $d_i = l - f_{okl} = 14,5 \text{ cm}$, maka panjang fokusnya :
- $$\frac{1}{f_{oby}} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} = \frac{1}{0,29} + \frac{1}{14,5} = 3,52 \text{ atau } f_{oby} = 0,28 \text{ cm}$$
- (c) Seperti pada jawaban (b), maka $d_o = 0,29 \text{ cm}$

12.4. Percobaan

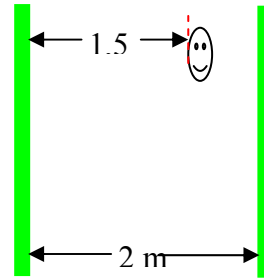
1. Jika kamu bercermin didepan cermin datar vertikal. Berapa tinggi cermin minimum dan seberapa tinggi bagian bawahnya dari lantai agar kamu dapat melihat seluruh tubuhmu. Ukur setiap orang jarak mata ke kepala, seperti pada gambar wanita disamping yang mengukur dirinya sendiri.



12.5. Soal Uji Kompetensi

A. Optika Geometri

1. Dua cermin datar saling berhadapan pada jarak 2 m seperti pada Gambar disamping. Kamu berdiri 1,5 m dari salah satu cermin dan melihat padanya. Kamu akan melihat banyak bayangan kamu sendiri. (a) berapa jarak kamu dari tiga bayangan pertama pada cermin di depan kamu. (b) menghadap kemana ketiga bayangan pertama tersebut, menghadap atau membelakangi kamu.



2. Lensa konvergen dengan panjang fokus 10 cm diletakkan bersenruhan dengan lensa divergen dengan panjang fokus 20 cm. Berapa panjang fokus kombinasi dan apakah kombinasi tersebut berupa kovergen atau divergen
3. Orang yang tingginya 1,65 m berdiri 3,25 m dari cermin cembung dan melihat tingginya persis setengah dari tingginya di cermin datar yang diletakkan pada jarak tertentu. Berapa radius kelengkungan cermin cembung tersebut? (anggap bahwa $\sin \theta = \theta$)

B. Sifat Gelombang dari Cahaya

1. Sayap-sayap sejenis kumbang memiliki serangkaian garis paralel melintasinya. Ketika cahaya datang normal 460 nm dipantulkan dari sayap tersebut, sayap tampak terang ketika dilihat dari sudut 50° , Berapa jarak yang memisahkan garis tersebut
2. Cahaya dengan panjang gelombang 590 nm melewati dua celah sempit yang jaraknya 0,6 mm satu sama lain dan layar berapa pada jarak 1,7 m. Sumber kedua dengan panjang gelombang yang tidak diketahui menghasilkan pinggiran orde keduanya 1,33 mm lebih dekat ke maksimum pusat daripada cahaya 590 nm. Berapa panjang gelombang yang tidak diketahui tersebut.
3. Cahaya yang tidak terpolarisasi jatuh pada dua lembar polarisasi yang sumbu-sumbunya membentuk sudut siku-siku. (a) berapa bagian intensitas cahaya yang ditransmisikan ? (b) Berapa bagian yang ditransmisikan jika alat polarisasi ketiga diletakkan diantara dua yang pertama, sehingga sumbunya membentuk sudut 60° terhadap sumbu alat polarisasi yang pertama. (c) Bagaimana jika alat polarisasi ketiga berada di depan kedua polarisasi pertama.

4. Cahaya jatuh pada kisi difraksi dengan 7500 garis/cm dan pola dilihat pada layar yang berada 2,5 m dari kisi. Berkas cahaya datang terdiri-dari dua panjang gelombang $\lambda_1 = 4,4 \times 10^{-7}$ m dan $\lambda_2 = 6,3 \times 10^{-7}$ m. Hitung jarak linier antara pinggiran terang orde pertama dari kedua panjang gelombang ini pada layar.

C. Alat-alat Optik

1. Seorang yang rabun jauh memiliki titik dekat dan jauh sebesar 10 cm dan 20 cm. Jika ia memakai sepasang kaca mata dengan kekuatan lensa $P = -4$ dioptri, berapa titik dekat dan jauhnya yang baru? Abaikan jarak antara matanya dan lensa
2. Seorang fisikawan yang tersesat di pegunungan mencoba membuat teleskop dengan menggunakan lensa dari kaca mata bacanya. Lensa tersebut mempunyai daya +2 dioptri dan +4 dioptri. (a) Berapa perbesaran maksimum teleskop yang mungkin, (b) lensa apa yang harus digunakan sebagai okuler
3. Toni membeli kacamata +3,2 dioptri yang mengkoreksi penglihatannya dengan meletakkan titik dekatnya pada 25 cm. Anggap ia memakai lensa 2 cm dari matanya. (a) Apakah Toni rabun jauh atau rabun dekat, (b) Berapa panjang fokus kacamata Toni?, (c) Berapa titik dekat Toni tanpa kacamata, (d) Tono, yang memiliki mata normal dengan titik dekat 25 cm memakai kacamata Toni, Berapa titik dekat Tono dengan memakai kacamata tersebut.
4. Pesawat mata-mata terbang pada ketinggian 15 km di atas tanah untuk menghindari penangkapan. Kamernya dilaporkan bisa melihat secara detail sampai sekecil 5 cm. Berapa minimum aperture untuk lensa kamera tersebut agar dicapai resolusi ini? (Gunakan $\lambda = 550$ nm)

12.6. Rangkuman

A. Optika Geometri

Ketika cahaya dipantulkan dari permukaan yang rata, sudut pantulan sama dengan sudut datang. Hukum pemantulan ini menjelaskan mengapa cermin dapat membentuk bayangan. Pada cermin datar, bayangan bersifat maya, tegak, berukuran sama dengan bendanya dan sama jauhnya dibelakang cermin dengan benda didepannya.

Cermin sferis dapat berupa cekung atau cembung. Cermin sferis cekung memfokuskan berkas cahaya paralel (cahaya dari benda yang sangat jauh) ke satu titik yang disebut titik fokus. Jarak titik ini dari cermin adalah panjang fokus f dinyatakan dengan

$$f = \frac{r}{2}$$

Dengan r adalah radius kelengkungan cermin. Panjang fokus untuk cermin cembung dianggap negatif. Secara aljabar hubungan antara jarak bayangan dan jarak benda, d_i , d_o dan panjang fokus f dinyatakan dengan persamaan cermin

$$\frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o} = \frac{1}{f}$$

Perbandingan tinggi bayangan dengan tinggi benda dinyatakan sebagai perbesaran m adalah

$$m = \frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}$$

Bayangan bersifat nyata bila terbentuk di depan cermin dan bersifat maya bila terbentuk dibelakang cermin. Persamaan untuk cermin dapat juga digunakan untuk lensa, sesuai perjanjian panjang fokus untuk lensa divergen dianggap negatif. Kekuatan lensa dinyatakan dengan persamaan

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

Ketika cahaya melintas suatu medium ke medium yang lain cahaya akan dibelokkan atau dibiaskan. Hukum pembiasan menurut Snellius dinyatakan dengan

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

Dengan n_1 dan θ_1 adalah indeks bias dan sudut berkas datang sedangkan n_2 dan θ_2 indeks bias dan sudut bias.

B. Sifat Gelombang dari Cahaya

Teori gelombang telah membuktikan bahwa cahaya memperlihatkan peristiwa *interferensi* dan *difraksi*. Eksperimen celah ganda oleh Young mendemonstrasikan interferensi cahaya dengan jelas. Sudut θ dimana *interferensi bersifat konstruktif* dinyatakan dengan

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{d}$$

Di mana λ adalah panjang gelombang cahaya, d adalah jarak antar celah dan m merupakan bilangan bulat (0, 1, 2, ...). Rumusan interferensi konstruktif juga berlaku untuk ***kisi difraksi***. Sedangkan ***interferensi destruktif*** terjadi pada sudut θ yang dinyatakan dengan

$$\sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{d}$$

Panjang gelombang cahaya menentukan warnanya. Prisma kaca menguraikan cahaya putih menjadi unsur-unsur warnanya, karena indeks bias bervariasi terhadap panjang gelombang, fenomena penguraian warna ini disebut ***dispersi***.

Pada ***cahaya tidak terpolarisasi*** vektor medan listrik bergetar ke semua sudut. Jika vektor medan listrik hanya bergetar pada satu bidang, cahaya dikatakan ***terpolarisasi bidang***. Cahaya juga dapat terpolarisasi sebagian. Ketika berkas cahaya yang tidak terpolarisasi melewati lembar polaroid, berkas yang muncul terpolarisasi bidang dan intensitas cahayanya berkurang menjadi setengahnya

C. Alat-alat Optik

Lensa kamera membentuk bayangan pada film dengan membiarkan cahaya masuk melalui shutter. Lensa difokuskan untuk memperoleh bayangan yang tajam dan f-stop diatur untuk memperoleh kecerahan gambar. F-stop didefinisikan sebagai perbandingan panjang fokus dengan diameter bukaan lensa.

Mata manusia juga melakukan penyesuaian terhadap cahaya dengan membuka dan menutup selaput pelangi. Mata memfokus tidak dengan menggerakkan lensa, tetapi dengan menyesuaikan bentuk lensa untuk mengubah panjang fokusnya. Bayangan dibentuk pada retina, yang terdiri dari serangkaian penerima yang dikenal sebagai batang dan kerucut. Kaca mata atau lensa kontak divergen digunakan untuk mengoreksi kelainan mata rabun jauh, yang tidak bisa memfokus dengan baik pada benda jauh. Lensa konvergen digunakan untuk mengoreksi kelainan mata rabun dekat.

Perbesaran sederhana adalah perbesaran pada lensa konvergen yang membentuk bayangan maya dari benda yang diletakkan pada atau didalam titik fokusnya. ***Perbesaran angular***, adalah perbesaran yang

terjadi ketika dilihat dengan mata normal yang rileks, dinyatakan dengan

$$M = \frac{N}{f}$$

Dengan f adalah panjang fokus lensa dan N adalah titik dekat mata (25 cm untuk mata normal)

Teleskop astronomi terdiri dari lensa atau cermin **obyektif** dan sebuah **okuler** yang memperbesar bayangan nyata yang dibentuk oleh obyektif. **Perbesaran** sama dengan perbandingan panjang fokus obyektif dan okuler dan, bayangannya terbalik

$$M = -\frac{f_{oby}}{f_{okl}}$$

Mikroskop gabungan juga menggunakan lensa obyektif dan okuler, dan bayangan akhir terbalik. Perbesaran total merupakan hasil kali dari perbesaran ke dua lensa, dinyatakan dengan persamaan

$$M = \left(\frac{N}{f_{okl}} \right) \left(\frac{l}{f_{oby}} \right)$$

Dimana l adalah jarak antar lensa, N adalah titik dekat mata, f_{oby} dan f_{okl} adalah panjang fokus obyektif dan okuler

12.7. Soal-soal

A. Optika Geometri

- (a) dimana sebuah benda harus diletakkan di depan cermin cekung sehingga bayangan yang dihasilkan berada dilokasi yang sama? (b) Apakah bayangan tersebut nyata atau maya? (c) Apakah bayangan itu terbalik atau tegak (d) Berapa perbesaran bayangan
- Sebuah benda bercahaya berukuran tinggi 3 mm dan diletakkan 20 cm dari cermin cembung dengan radius kelengkungan 20 cm. (a) Tunjukkan dengan penelusuran berkas bahwa bayangan tersebut maya dan perkirakan jarak bayangan, (b) tunjukkan bahwa untuk menghitung jarak bayangan (negatif) ini dari Persamaan 12.2 akan sesuai jika panjang fokus ditentukan -10 cm (c) Hitung ukuran bayangan dengan menggunakan Persamaan 12.3
- Suatu kaca spion menghasilkan bayangan mobil dibelakang kamu yang sedikit lebih kecil dari bayangan jika cermin tersebut datar. Apakah cermin ini cekung atau cembung? Apa jenis dan berapa tinggi bayangan yang dihasilkan dermin ini dari sebuah mobil yang

- tingginya 1,3 m dan berada 15 m dibelakang kamu, dengan menganggap radius kelengkungan cermin sebesar 3,2 m
4. Benda yang tingginya 4,5 cm diletakkan 28 cm di depan cermin sferis. Diinginkan bayangan maya tegak dan tingginya 3,5 cm. (a) apa jenis cermin yang harus digunakan? (b) dimana bayangan berada? (c) berapa panjang fokus cermin? (d) berapa radius kelengkungan cermin?
 5. Sebuah cermin cukur/rias dirancang untuk memperbesar wajah kamu sebesar faktor skala 1,3 ketika wajah kamu berada 20 cm didepannya. (a) Apa jenis cermin ini? (b) Diskripsikan jenis bayangan yang dibuat untuk wajah kamu (c) hitung kelengkungan cermin yang dibutuhkan.
 6. Seorang pengoleksi perangko menggunakan lensa konvergen dengan panjang fokus 24 cm untuk meneliti perangko yang berada 18 cm di depan lensa, dimana posisi bayangan dan berapa perbesarannya.
 7. Lensa divergen dengan $f = -31,5$ cm diletakkan 14 cm dibelakang lensa konvergen dengan $f = 30$ cm. Dimana benda yang berada pada jarak takberhingga akan difokuskan?
 8. Dua lensa konvergen dengan panjang fokus 27 cm diletakkan pada jarak 16,5 cm satu dengan yang lain. Sebuah benda diletakkan 35 cm didepan salah satu cermin. Dimana bayangan akhir akan terbentuk oleh lensa ke dua? Berapa perbesaran totalnya?
 9. Orang yang tingginya 1,65 m berdiri 3,25 m dari cermin cembung dan melihat bahwa tingginya persis setengah dari tingginya di cermin datar yang diletakkan pada jarak tertentu. Berapa radius kelengkungan cermin cembung tersebut? (Anggap bahwa $\sin \theta = \theta$)
 10. Lensa konvergen dengan panjang fokus 31 cm berada 21 cm dibelakang lensa divergen. Cahaya paralel jatuh pada lensa divergen. Setelah melewati lensa konvergen, cahaya kembali paralel. Berapa panjang fokus lensa divergen? [*Petunjuk*: pertama gambarkan diagram berkas]

B. Sifat Gelombang dari Cahaya

1. Pinggiran orde ke dua dari cahaya 650 nm terlihat pada sudut 15° ketika cahaya tersebut jatuh pada dua celah yang sempit. Berapa jarak ke dua celah tersebut?

2. Cahaya monokromatik yang jatuh pada celah ganda dengan jarak 0,042 menghasilkan pinggiran orde lima pada sudut $7,8^{\circ}$. Berapa panjang gelombang cahaya yang digunakan?
3. Cahaya jatuh normal pada kisi 10.000 garis/cm ternyata terdiri dari 3 garis pada spektrum orde pertama dengan sudut $31,2^{\circ}$, $36,4^{\circ}$ dan $47,5^{\circ}$. Berapa panjang gelombangnya
4. Cahaya monokromatik jatuh pada celah ganda yang sangat sempit dengan jarak 0,04 mm. Pinggiran-pinggiran yang terbentuk pada layar yang berjarak 5 m adalah 5,5 m jauhnya satu sama yang lain di dekat pusat pola. Berapa panjang gelombang frekuensi cahaya tersebut.
5. Kisi 3500 garis/cm menghasilkan pinggiran orde ke tiga pada sudut 22° . Berapa panjang gelombang cahaya yang digunakan
6. Jika sebuah celah mendifraksi cahaya 550 nm, sehingga lebar maksimum difraksi adalah 3 cm pada layar yang jaraknya 1,5 m. Berapa lebar maksimum difraksi untuk cahaya dengan panjang gelombang 400 nm
7. Dengan sudut berapa sumbu-sumbu dua polaroid harus diletakkan sehingga memperkecil intensitas cahaya tidak terpolarisasi yang datang dengan faktor tambahan (setelah polaroid pertamamemotong setengahnya) sebesar (a) 25 % (b) 10% (c) 1%
8. Berapa orde spektral tertinggi yang dapat terlihat jika kisi dengan 6000 garis/cm diiluminasi oleh cahaya laser 633 nm? Anggap sudut datang normal.
9. Lapisan tipis alkohol ($n = 1,36$) berada pada plat kaca yang datar ($n = 1,51$). Ketika cahaya monokromatik, yang panjang gelombangnya dapat diubah, jatuh normal, cahaya pantul minimum untuk $\lambda = 512$ nm dan maksimum untuk $\lambda = 640$ nm. Berapa ketebalan lapisan
10. Dua alat polarisasi diorientasikan 40° satu sama lain dan cahaya yang terpolarisasi bidang jatuh pada keduanya. Jika hanya 15% cahaya dapat melewati mereka, bagaimana arah polarisasi awal dari cahaya datang tersebut

C. Alat-Alat Optik

1. Seorang fotografer alam ingin memotret pohon yang tingginya 22m dari jarak 50 m. Lensa dengan panjang fokus berapa yang harus digunakan agar bayangan memenuhi film yang tingginya 24 mm
2. Kaca mata baca dengan daya berapa yang dibutuhkan untuk orang yang titik dekatnya 120 cm, sehingga ia bisa membaca layar

- komputer pada jarak 50 cm? anggap jarak lensa – mata sejauh 1,8 cm
3. Satu lensa dari kaca mata orang yang rabun jauh memiliki panjang fokus -25 cm dan lensa berjarak 1,8 cm dari mata. Jika orang tersebut beralih ke lensa kontak yang diletakkan langsung dimata, berapa seharusnya panjang fokus lensa kontak yang bersangkutan.
 4. Berapa panjang fokus sistem lensa mata ketika memandang benda (a) pada jarak takhingga, dan (b) 30 cm dari mata? Anggap jarak lensa-retina 2,0 cm
 5. Sebuah kaca mata pembesar dengan panjang fokus 9,5 cm digunakan untuk membaca cetakan yang diletakkan pada jarak 8,5 cm, tentukan : (a) posisi bayangan, (b) perbesaran linier, (c) perbesaran anguler
 6. Berapa perbesaran teleskop astronomi yang lensa obyektifnya memiliki panjang fokus 80 cm dan okulernya memiliki panjang fokus 2,8 cm? Berapa panjang total teleskop ketika disesuaikan untuk mata rileks
 7. Bayangan bulan tampak diperbesar 120x oleh teleskop astronomi dengan okuler yang panjang fokusnya 3,5 cm. Berapa panjang fokus dan radius kelengkungan cermin utama?
 8. Sebuah mikroskop pembesaran okulernya 12x dan obyektifnya 62x yang jaraknya 20 cm satu sama yang lain. Tentukan : (a) Perbesaran total, (b) Panjang fokus setiap lensa, (c) dimana benda harus berada agar bisa terlihat oleh mata rileks normal
 9. Okuler sebuah mikroskop gabungan mempunyai panjang fokus 2,7 cm dan obyektif memiliki $f = 0,74$ cm. Jika sebuah benda diletakkan 0,79 cm dari lensa obyektif, hitung (a) jarak antar lensa ketika mikroskop disesuaikan untuk mata rileks, dan (b) perbesaran total.
 10. Sebuah obyektif mikroskop dimasukkan dalam minyak ($n = 1,6$) dan menerima cahaya yang terhambur dari benda sampai 60° di kedua sisi vertikal. (a) Berapa aperture numerik? (b) Berapa perkiraan resolusi mikroskop untuk cahaya 550 nm?

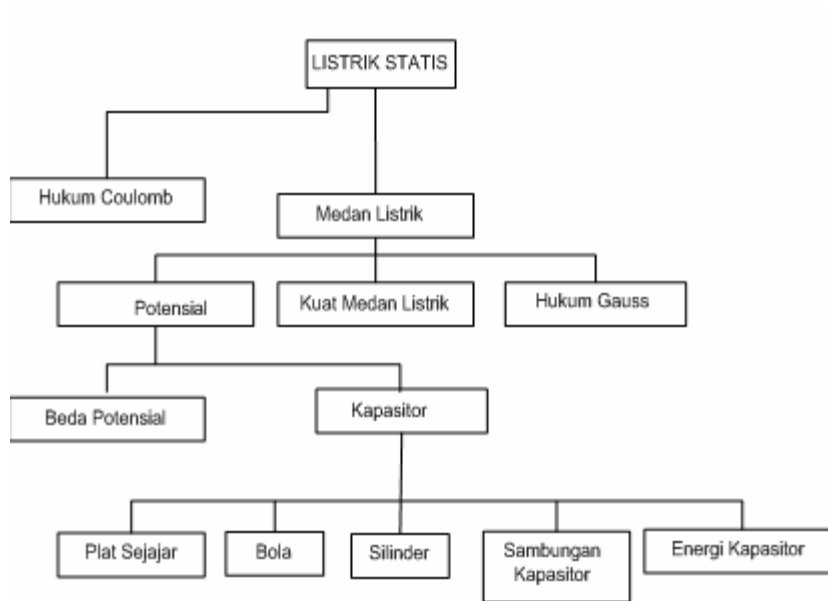
BAB 13

LISTRIK STATIS DAN DINAMIS



Pernahkah anda melihat petir? atau pernahkah anda terkejut karena sengatan pada tangan anda ketika tangan menyentuh layar TV atau monitor komputer? Petir merupakan peristiwa alam yang menimbulkan kilatan cahaya yang diikuti dengan suara dahsyat di udara. Apabila seseorang tersambar petir, maka tubuh orang tersebut akan terbakar.

Petir dan sengatan pada TV/layar monitor merupakan akibat yang ditimbulkan oleh listrik statis. Pada Bab 13 ini akan dibahas tentang listrik statis, medan listrik dan potensial listrik yang timbulkan oleh listrik statis.

PETA KONSEP

Pra Syarat

Untuk dapat mengerti pembahasan bab ini dengan baik, siswa sebaiknya telah mempelajari dan mengerti tentang masalah Gaya aksi reaksidan kinematika. Dalam segi matematika, siswa diharapkan telah mengerti tentang vektor, perkalian vektor, serta makna tentang elemen panjang dan integral.

Beberapa penurunan rumus diturunkan dengan integral, namun demikian apabila ini dirasa sulit maka siswa dapat mengambil hasil langsung penurunan rumus tanpa harus mengikuti penurunan matematika secara integral.

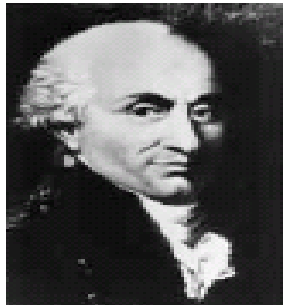
Cek kemampuan

1. Berapa besar dan gaya yang dialami oleh dua muatan yang sama $+5\text{ C}$, apabilakeduanya dipisahkan pada jarak 10 cm ?
2. Apakah penyebab timbulnya medan listrik?
3. terbuat dari apakah suatu kapasitor?
4. Apa kegunaan kapasitor?

13.1 Uraian dan contoh soal

Listrik statis dan dinamis merupakan materi akan yang dipelajari dalam bab ini. Listrik statis adalah muatan listrik yang tidak mengalir. Pembahasan tentang listrik statis meliputi terjadinya muatan listrik, terjadinya gaya Coulomb antara dua muatan listrik atausering disebut sebagai interaksi elektrostatis, medan dan kuat medan listrik, energi potensial listrik dan kapasitor.

13.2 Muatan Listrik



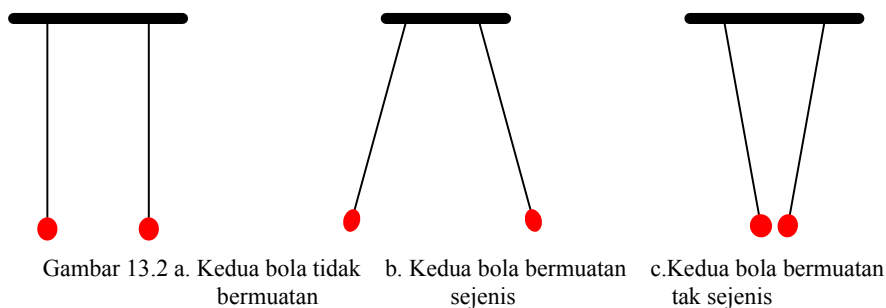
Charles Agustin Coulomb (1736-1806) adalah sarjana Fisika Perancis pertama yang menjelaskan tentang kelistrikan secara ilmiah. Percobaan dilakukan dengan menggantungkan dua buah bola ringan dengan seutas benang sutra seperti diperlihatkan pada Gambar 13.2.a

Gambar 13.1 Charles A Coulomb

Sumber gambar : <http://images.google.co.id>

Selanjutnya sebatang karet digosok dengan bulu, kemudian didekatkan pada dua bola kecil ringan yang digantungkan pada tali. Hasilnya adalah kedua bola tersebut tolak menolak (Gambar 13.1.2.b). Beberapa saat kemudian bola dalam keadaan seperti semula. Kedua bola tersebut juga akan tolak menolak apabila sebatang gelas digosok dengan kain sutra dan kemudian didekatkan pada dua bola (Gambar 13.2.b).

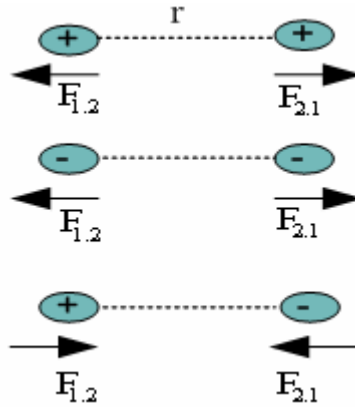
Apabila sebatang karet yang telah digosok bulu didekatkan pada salah satu bola yang dan bola yang lain didekati oleh gelas yang telah digosok dengan kain sutra, maka bola-bola tersebut saling tarik-menarik (Gambar 13.1.c).



Gejala-gejala di atas dapat diterangkan dengan mudah dengan konsep muatan listrik. Dari gejala-gejala di atas tersebut jelas bahwa ada dua macam muatan listrik. Benyamin Franklin menamakan muatan yang ditolak oleh gelas yang digosok dengan kain sutra disebut muatan positif, sedangkan muatan yang ditolak oleh karet yang digosok dengan bulu disebut muatan negatif.

13.3. Hukum Coulomb

Dari percobaan yang telah dilakukan, Coulomb menyimpulkan bahwa terdapat dua jenis muatan yaitu muatan positif dan negatif. Selain itu juga diperoleh kuantitatif gaya-gaya pada partikel bermuatan oleh partikel bermuatan yang lain. Hukum Coulomb menyatakan bahwa gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara dua partikel bermuatan berbanding langsung dengan perkalian besar muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut



Gambar 13.3 Gaya antara dua muatan listrik

Hukum Coulomb pada dua partikel bermuatan dinyatakan dalam persamaan sebagai

$$\begin{aligned}
 F_{1,2} &= F_{2,1} \\
 &= k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}
 \end{aligned}
 \tag{13.1}$$

$F_{1,2}$ = Gaya pada muatan 1 oleh muatan 2

$F_{2,1}$ = Gaya pada muatan 2 oleh muatan 1

r = jarak antara dua muatan 1 dan muatan 2

k = tetapan Coulomb yang besarnya tergantung pada sistem satuan yang digunakan.

Pada sistem CGS, gaya dalam dyne, jarak dalam cm., muatan dalam stat- Coulomb.

$$k = 1 \frac{\text{dyne} \cdot \text{cm}^2}{(\text{stat-coulomb})^2}$$

Pada sistem MKS, gaya dalam Newton, jarak dalam meter, muatan dalam Coulomb.

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Newton} \cdot \text{m}^2}{(\text{coulomb})^2}$$

Selanjutnya, persamaan-persamaan listrik akan lebih sederhana jika digunakan sistem MKS.. Untuk menghindari adanya faktor 4π , didefinisikan besaran lain yang ternyata kemudian bila telah dibicarakan tentang dielektrikum, besaran ini merupakan permitivitas hampa.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{coulomb}^2}{\text{Newton} \cdot \text{m}^2} \quad (13.2)$$

Gaya interaksi (gaya Coulomb) antar dua muatan dalam ruang hampa atau udara dapat dinyatakan sebagai

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (13.3)$$

Permitivitas medium lain umumnya lebih besar dari ϵ_0 dan dituliskan sebagai ϵ . Perbandingan antara permitivitas suatu medium dan permitivitas hampa disebut tetapan dielektrik (K).

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad \text{atau} \quad \epsilon = K \cdot \epsilon_0 \quad (13.4)$$

Jadi apabila dua buah muatan berinteraksi di suatu medium (bukan udara atau ruang hampa), interaksi kedua muatan tersebut dapat dinyatakan sebagai

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (13.5a)$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 K} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (13.5b)$$

$$F = \frac{k}{K} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (13.5c)$$

Contoh soal 13.1 :

Di udara terdapat buah muatan $10 \mu\text{C}$ dan $40 \mu\text{C}$ terpisah dalam jarak 20 cm .

- a. berapakah besar gaya interaksi kedua muatan tersebut.

- b. berapakah besar gaya yang dialami muatan $10 \mu\text{C}$ dan kemana arahnya?
- c. Apabila kedua muatan ditempatkan di suatu medium yang konstanta dielektrikunya 3. Berapakah gaya yang dialami oleh muatan $40 \mu\text{C}$?

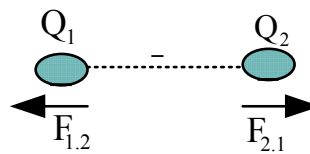
Penyelesaian :

$$Q_1 = 10 \mu\text{C} = 10 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2 = 40 \mu\text{C} = 40 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r = 20 \text{ cm} = 20 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$



- a. besarnya gaya interaksi kedua muatan adalah

$$\begin{aligned} F_{1,2} &= F_{2,1} \\ &= k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \\ &= 9 \times 10^9 \frac{10 \times 10^{-6} \cdot 40 \times 10^{-6}}{(20 \times 10^{-2})^2} \\ &= 90 \text{ N} \end{aligned}$$

- b. Besar dan arah gaya yang dialami oleh muatan $10 \mu\text{C}$ adalah gaya interaksi yang dirasakan oleh muatan $Q_1=10 \mu\text{C}$ akibat adanya muatan $Q_2 = 40 \mu\text{C}$. Gaya yang sama besar juga dialami oleh Q_2 akibat adanya muatan Q_1 . Arah dari Gaya pada Q_1 berlawanan dengan arah gaya pada Q_2 . Jadi besarnya gaya pada Q_1 adalah 90 N (seperti pada perhitungan a) segaris dengan gaya pada Q_2 dengan arah menjauhi Q_2 seperti diperlihatkan pada gambar.
- c. Gaya yang dialami muatan Q_2 apabila kedua muatan ditempatkan pada ruangan dengan konstanta dielektrikum 3 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (13.5c)

$$\begin{aligned}
 F &= \frac{k}{K} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \\
 &= \frac{1}{3} 90 \text{ N} \\
 &= 30 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Jadi gaya yang dialami Q_2 adalah 30 N (1/3 dari gaya ketika kedua muatan berada di udara) dalam arah menjauhi Q_1 .

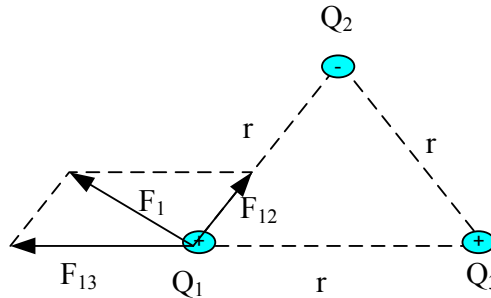
Contoh soal 13.2:

Tiga buah muatan $Q_1 = 25 \mu\text{C}$; $Q_2 = -20 \mu\text{C}$ dan $Q_3 = 40 \mu\text{C}$ masing-masing ditempatkan pada titik-titik sudut segitiga sama sisi. Panjang sisi segitiga tersebut adalah 30 cm. Berapakah gaya yang bekerja pada Q_1 ?

Penyelesaian:

Q_1 adalah muatan positif dan Q_2 adalah muatan negatif sehingga Q_1 dan Q_2 saling tarik menarik. Q_3 adalah muatan positif sehingga Q_1 dan Q_3 saling tolak menolak. F_{12} adalah gaya tarik menarik antara Q_1 dan Q_2 sedangkan F_{13} adalah gaya tolak menolak antara Q_1 dan Q_3 . Arah gaya-gaya F_{12} dan F_{13} adalah besaran vektor.

F_1 adalah resultan F_{12} dan F_{13} . Arah gaya-gaya F_1 , F_{12} dan F_{13} digambarkan sebagai berikut :



Sudut antara gaya F_{12} dan F_{13} adalah $\theta = 120^\circ$

$$Q_1 = 25 \mu\text{C} = 25 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= -20 \mu\text{C} = -20 \times 10^{-6} \text{ C} \\
 Q_3 &= 40 \mu\text{C} = 40 \times 10^{-6} \text{ C} \\
 r &= 30 \text{ cm} = 30 \times 10^{-2} \text{ m} \\
 k &= 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2
 \end{aligned}$$

ditanyakan F_1 .

$$F_1 = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2 + 2F_{12}F_{13} \cos \theta}$$

$$\begin{aligned}
 F_{1,2} &= k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \\
 &= 9 \times 10^9 \frac{25 \times 10^{-6} \cdot 20 \times 10^{-6}}{(30 \times 10^{-2})^2} \\
 &= 50 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{1,3} &= k \frac{Q_1 \cdot Q_3}{r^2} \\
 &= 9 \times 10^9 \frac{25 \times 10^{-6} \cdot 40 \times 10^{-6}}{(30 \times 10^{-2})^2} \\
 &= 100 \text{ N}
 \end{aligned}$$

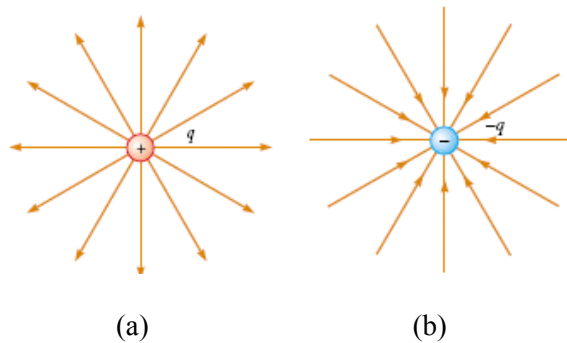
$$\begin{aligned}
 F_1 &= \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2 + 2F_{12}F_{13} \cos \theta} \\
 &= \sqrt{50^2 + 100^2 + 2 \times 50 \times 100 \times \cos 120} \\
 &= 86,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

13.4 Medan Listrik

Jika suatu muatan listrik Q berada pada suatu titik, maka menurut hukum Coulomb muatan lain disekeliling muatan Q mengalami gaya listrik. Jadi dapat dikatakan bahwa terdapat medan listrik di setiap titik di sekeliling muatan Q .

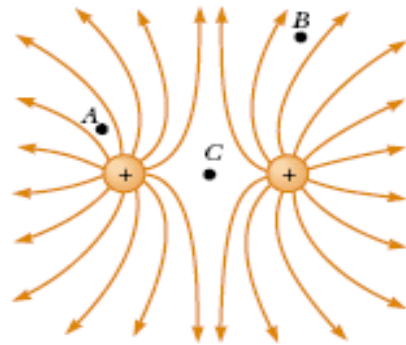
Dapat dikatakan bahwa muatan listrik adalah sumber medan listrik. Arah dari medan listrik pada suatu tempat adalah sama dengan arah gaya yang dialami muatan uji positif di tempat itu. Jadi pada muatan positif, arah medan listriknya adalah arah radial menjauhi sumber medan (arah keluar). Sedang pada muatan negatif arah medannya adalah arah radial menuju ke muatan tersebut (arah ke dalam).

Medan listrik dapat digambarkan dengan garis-garis khayal yang dinamakan garis-garis medan (garis-garis gaya). Garis-garis medan listrik tidak pernah saling berpotongan, menjauhi muatan positif dan menuju ke muatan negatif. Apabila garis gayanya makin rapat berarti medan listriknya semakin kuat. Sebaliknya yang garis gayanya lebih renggang maka medan listriknya lebih lemah. Arah garis gaya muatan positif dan negatif diperlihatkan pada Gambar 11.4. Gambar 11.4a adalah ilustrasi arah medan listrik dengan sumber medan muatan positif, sedangkan Gambar 11.4b adalah ilustrasi arah medan listrik dengan sumber medan muatan negatif.



Gambar 13.4 Arah medan listrik. a. Muatan positif b. Muatan negatif

Apabila dalam ruangan terdapat dua buah muatan listrik yang saling berinteraksi, maka arah medan listriknya dapat digambarkan seperti pada Gambar 11.5.



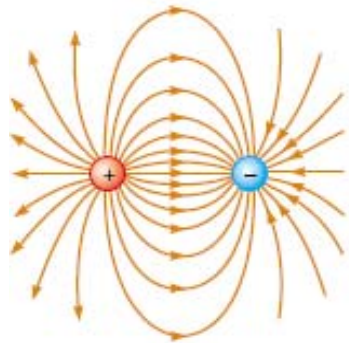
Pada Gambar 13.5a diperlihatkan bahwa arah medan listrik menjauhi sumber medan listrik. Medan listrik di titik A lebih kuat dibanding dengan medan listrik titik B. Mengapa? Sedangkan titik C adalah titik atau daerah yang medan listriknya sama dengan nol. Atau dapat dikatakan bahwa di titik C tidak ada medan listriknya.

Gambar 13.5.a. Arah medan listrik oleh dua muatan positif

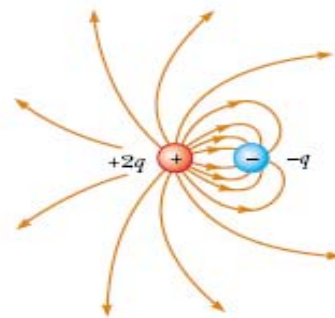
TUGAS 1:

Apabila sumber medan listrik pada Gambar 11.5.a adalah muatan negatif.

Apakah medan listrik di A lebih besar dibandingkan medan listrik di B? Berapakah medan listrik di C?

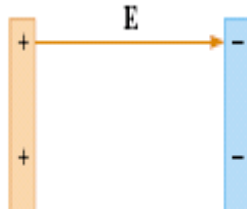


(a) dua muatan sama besar



(b) dua muatan tidak sama besar

Gambar 13.6. Arah medan listrik oleh dua muatan positif dan negatif



Gambar 13.7. Arah medan listrik pada dua keping sejajar

13.5 Kuat Medan Listrik

Untuk menentukan kuat medan listrik pada suatu titik, pada titik tersebut ditempatkan muatan pengetes q' yang sedemikian kecilnya sehingga tidak mempengaruhi muatan sumber/muatan penyebab medan listrik.

Gaya yang dialami oleh muatan pengetes q' adalah

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q \cdot q'}{r^2}$$

maka kuat medan listrik E pada jarak r didefinisikan sebagai hasil bagi gaya Coulomb yang bekerja pada muatan uji q' yang ditempatkan pada jarak r dari sumber medan dibagi besar muatan uji q'

$$\begin{aligned} E &= \frac{F}{q'} \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \end{aligned} \quad (13.6)$$

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

Dari persamaan (13.6) jelas bahwa kuat medan listrik sama dengan gaya pada muatan positif q' dibagi dengan besarnya q' . Dalam sistem MKS, dimana gaya dalam Newton, muatan dalam coulomb, kuat medan listrik dinyatakan dalam satuan Newton per coulomb.

Dengan memperhatikan persamaan (13.5.c), maka kuat medan listrik pada suatu bahan dielektrikum adalah

$$E = \frac{k}{K} \frac{q}{r^2} \quad (13.7)$$

dengan

E = kuat medan listrik, N/C

Contoh. 13.3

Hitung kuat medan listrik pada jarak 10 cm dari sebuah muatan $Q_1 = 20\mu\text{C}$.

Penyelesaian:

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

$$Q_1 = 20\mu\text{C}$$

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$

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

$$= 9 \times 10^9 \frac{20 \times 10^{-6}}{(0,1)^2} \text{ N/C}$$

$$= 18 \cdot 10^6 \text{ N/C}$$

Contoh. 13.4

Dua buah muatan $Q_1 = 30\mu\text{C}$ dan $Q_2 = -40\mu\text{C}$ dipisahkan pada jarak 50 cm satu sama lain.

- Hitung kuat medan listrik pada Q_2 .
- Hitung medan listrik pada titik A. Titik A berjarak 20 cm dari Q_1 dan 30 cm dari Q_2 .
- Titik B adalah tempat di mana kuat medan listriknya sama dengan $2E_1$. Dimanakah posisi titik B?

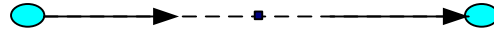
Penyelesaian:

$$r = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$Q_1 = 30\mu\text{C} = 30 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2 = -40 \mu\text{C} = -40 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$



- Kuat medan pada Q_2
Kuat medan pada Q_2 disebabkan oleh Q_1

$$E = k \frac{Q_1}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{30 \times 10^{-6}}{(0,5)^2} \text{ N/C}$$

$$= 72 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

- b. Kuat medan di A adalah kuat medan yang disebabkan oleh Q_1 dan Q_2

$$E_A = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta}$$

$$E_1 = k \frac{Q_1}{r_1^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{20 \times 10^{-6}}{(0,2)^2} \text{ N/C}$$

$$= 45 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{Q_2}{r_1^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{40 \times 10^{-6}}{(0,3)^2} \text{ N/C}$$

$$= 120 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

$\theta=0$ yaitu sudut antara E_1 dan E_2 , karena E_1 dan E_2 searah., jadi

$$E_A = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta}$$

$$= \sqrt{(45 \cdot 10^5)^2 + (120 \cdot 10^5)^2 + 2 \cdot 45 \cdot 10^5 \cdot 120 \cdot 10^5}$$

$$= 165 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

- c. $E = E_1 + E_2$

Di titik B, $E_1 = E_2$. Misalkan titik b berjarak r dari Q_1 , maka

$$\begin{aligned}
 E_1 &= k \frac{Q_1}{r^2} \\
 &= 9 \times 10^9 \frac{20 \times 10^{-6}}{(r)^2} \text{ N/C} \\
 &= \frac{18 \times 10^4}{r^2} \text{ N/C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_2 &= k \frac{Q_2}{(0,5-r)^2} \\
 &= 9 \times 10^9 \frac{40 \times 10^{-6}}{(0,5-r)^2} \text{ N/C} \\
 &= \frac{36 \times 10^4}{(0,5-r)^2} \text{ N/C}
 \end{aligned}$$

$$E_1 = E_2$$

$$18(0,25 - r + r^2) = 36 r^2$$

$$4,5 - 18r - 18r^2 = 0$$

$$r = -(-18) \pm \frac{\sqrt{(-18)^2 - 4 \times 18 \times 4,5}}{2 \times 18}$$

$$r = 18 \text{ cm}$$

Jadi titik B berjarak 18 cm dari titik Q_1 kuat medan $E=2E_1$ atau $E_1 = E_2$

13.6 Hukum Gauss

Hukum Gauss diperkenalkan oleh Karl Friedrich Gauss (1777–1866) seorang ahli matematika dan astronomi dari Jerman. Hukum Gauss menjelaskan hubungan antara jumlah garis gaya yang menembus permukaan yang melingkupi muatan listrik dengan jumlah muatan yang dilingkupi.



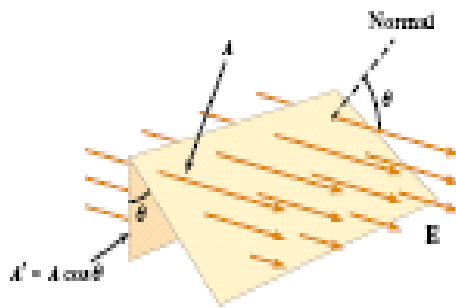
Hukum Gauss dapat digunakan untuk menghitung kuat medan listrik dari beberapa keping sejajar ataupun bola bermuatan.

Selanjutnya didefinisikan flux listrik (ϕ) yaitu jumlah garis gaya dari medan listrik E yang menembus tegak lurus suatu bidang (A).

Gambar 13.8 Karl Friedrich Gauss

Secara matematika hubungan tersebut dinyatakan sebagai

$$\Phi = E \times A \quad (13.8)$$



Apabila medan listrik tidak tegak lurus menembus bidang, berarti medan listrik membentuk sudut θ terhadap bidang seperti diperlihatkan pada Gambar 11.8, maka flux listrik dinyatakan sebagai

$$\Phi = E A \cos \theta \quad (13.9)$$

Gambar 13.9 Sudut antara medan listrik dan bidang

Berdasarkan konsep flux listrik tersebut, Gauss mengemukakan hukumnya sebagai berikut :

Jumlah garis medan yang menembus suatu permukaan tertutup sebanding dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan itu.

Secara matematis dinyatakan sebagai

$$\Phi = E A \cos \theta = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (13.10)$$

dengan

Φ = flux listrik (jumlah garis gaya listrik)

E = kuat medan listrik pada permukaan tertutup

A = luas permukaan tertutup

θ = sudut antara E dan garis normal bidang

q = muatan yang dilingkupi permukaan tertutup

ϵ_0 = permitivitas udara

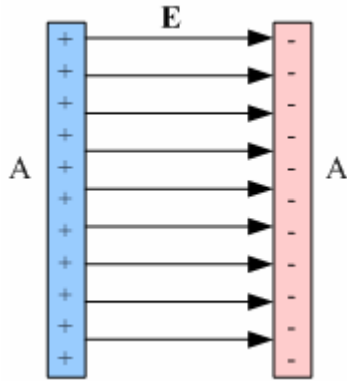
Jika E tegak lurus dengan bidang A , maka persamaan (11.10) dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned} E A &= \frac{q}{\epsilon_0} \\ E &= \frac{1}{\epsilon_0} \frac{q}{A} \\ E &= \frac{1}{\epsilon_0} \sigma \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \end{aligned} \quad (13.11)$$

dengan σ = muatan persatuan luas

13.6.1 Kuat Medan Listrik Antara Dua Keping Sejajar

Dua keping konduktor sejajar luas masing-masing keping adalah A . Jika pada masing-masing keping diberi muatan yang berbeda, yaitu positif dan negatif maka akan timbul medan listrik seperti diperlihatkan pada Gambar 11.10.



Gambar 13.10 Medan listrik pada dua keping sejajar

Besarnya kuat medan listrik antara dua keping sejajar memenuhi persamaan (13.11)

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

apabila ruang diantara dua keping bukan udara atau hampa melainkan suatu bahan dengan permitivitas ϵ , maka persamaan (13.11) menjadi

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3.12)$$

Contoh 13.5 :

Dua buah keping konduktor sejajar yang tiap kepingnya berbentuk persegi panjang bermuatan masing-masing $-6 \mu\text{C}$ dan $6 \mu\text{C}$. Luas penampang masing-masing keping adalah $0,16 \text{ m}^2$. Bila diantara keping diisi udara dengan permitivitas udara adalah $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}$.

Tentukan :

- rapat muatan pada keping.
- Kuat medan listrik antara dua keping.

Penyelesaian :

- rapat muatan setiap keping adalah

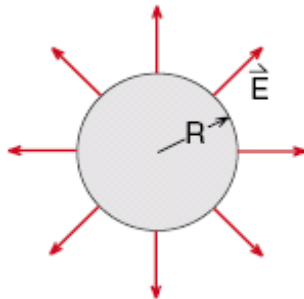
$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{8 \times 10^{-6} \text{ C}}{16 \times 10^{-2} \text{ m}^2} \\ &= 5 \cdot 10^{-5} \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

- b. kuat medan listrik antara kedua keping dapat dihitung dari persamaan (13.11)

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{\sigma}{\epsilon_0} \\
 &= \frac{5 \cdot 10^{-5}}{8,85 \times 10^{-12}} \text{ N.C} \\
 &= 56,5 \cdot 10^5 \text{ N.C}
 \end{aligned}$$

13.6.2 KUAT MEDAN LISTRIK OLEH BOLA KONDUKTOR

Pada sebuah bola konduktor yang jari-jarinya R , apabila diberi muatan listrik sebanyak Q maka muatan akan menyebar di seluruh permukaan bola. Kuat medan listrik dapat dinyatakan dalam tiga keadaan yaitu kuat medan listrik di dalam bola konduktor, pada kulit bola dan di luar bola komduktor.



Gambar 13.11 Bola konduktor Bermuatan

- Kuat medan listrik di dalam bola konduktor $r < R$, adalah :
 $E = 0$
- Kuat medan listrik pada kulit bola ; $r = R$

$$\begin{aligned}
 E \cdot A &= \frac{Q}{\epsilon_0} & E \cdot 4\pi R^2 &= \frac{Q}{\epsilon_0}
 \end{aligned}
 \tag{13.13}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{1}{4\pi R^2} \frac{Q}{\epsilon_0} & E &= k \frac{Q}{R^2}
 \end{aligned}$$

c. Kuat medan listrik di luar bola ; $r > R$

$$E \cdot A = \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad (13.14)$$

$$E = \frac{1}{4\pi r^2} \frac{Q}{\varepsilon_0} \quad E = k \frac{Q}{r^2}$$

Contoh 13.6 :

Sebuah bola konduktor jari-jarinya 60 cm, diberi sejumlah muatan yang total muatannya adalah 1800 μC . Tentukan

- rapat muatan pada permukaan bola.
- kuat medan listrik pada jarak 30 cm dari permukaan bola.
- kuat medan listrik pada jarak 60 cm dari permukaan bola.
- kuat medan listrik pada jarak 100 cm dari permukaan bola.

Penyelesaian :

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

$$Q = 1800 \mu\text{C} = 18 \times 10^{-4} \text{ C}$$

$$k = 9 \times 10^9 \text{ N m}^2/\text{C}^2$$

- a. rapat muatan pada permukaan bola adalah total muatan per luas permukaan bola

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{Q}{4\pi R^2} \\ &= \frac{18 \times 10^{-4} \text{ C}}{4\pi \cdot (0,6)^2 \text{ m}^2} \\ &= \frac{18 \times 10^{-4} \text{ C}}{4\pi \cdot 36 \times 10^{-2} \text{ m}^2} \\ &= 39,8 \cdot 10^5 \frac{\text{C}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

- b. kuat medan listrik pada jarak 30 cm dari permukaan bola
 $r = 30 \text{ cm}$, jadi $r < R$
 menurut ukum Gauss, untuk $r < R$ (dalam bola konduktor) $E = 0$
- c. kuat medan listrik pada jarak 60 cm dari permukaan bola

$r = 60$ cm, jadi $r = R$.

Dari persamaan (11.14) maka

$$\begin{aligned} E &= k \frac{Q}{R^2} \\ &= 9 \times 10^9 \frac{18 \times 10^{-4} \text{ N}}{(0,6)^2 \text{ C}} \\ &= 45 \cdot 10^6 \text{ NC} \end{aligned}$$

- d. kuat medan listrik pada jarak 100 cm dari permukaan bol; $r > R$
 Dari persamaan (11.14) maka

$$\begin{aligned} E &= k \frac{Q}{r^2} \\ &= 9 \times 10^9 \frac{18 \times 10^{-4} \text{ N}}{(1)^2 \text{ C}} \\ &= 162 \cdot 10^5 \text{ N.C} \end{aligned}$$

13.7 Potensial dan Energi Potensial

Potensial listrik adalah besaran skalar yang dapat dihitung dari kuat medan listrik dengan operator pengintegralan. Untuk menghitung potensial di suatu titik harus ada perjanjian besar potensial listrik pada suatu titik pangkal tertentu. Misalnya di tak berhingga diperjanjikan potensialnya nol. Potensial listrik di titik tertentu misalkan titik A , yang berada dalam medan magnet E dan berjarak r dari muatan q sebagai sumber medan listrik dapat dinyatakan sebagai

$$V_a = k \frac{q}{r} \quad (13.14)$$

Persamaan (13.14) dapat dibaca sebagai potensial disuatu titik adalah harga negatif dari integral garis kuat medan listrik dari tak berhingga ke titik tersebut.

Potensial oleh beberapa muatan titik dapat dihitung dengan menjumlah secara aljabar potensial oleh masing-masing titik bermuatan tersebut, potensial di b oleh muatan $q_1, -q_2, -q_3, \dots$ dan q_n , berturut-turut jaraknya dari a adalah $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$:

$$V_a = \frac{q_1}{4 \pi \epsilon_0 r_1} - \frac{q_2}{4 \pi \epsilon_0 r_2} - \frac{q_3}{4 \pi \epsilon_0 r_3} - \dots - \frac{q_n}{4 \pi \epsilon_0 r_n} \quad (13.15a)$$

$$V_a = k \frac{q_1}{r_1} - k \frac{q_2}{r_2} - k \frac{q_3}{r_3} + \dots + k \frac{q_n}{r_n} \quad (13.15b)$$

$$V_a = V_1 - V_2 - V_3 + \dots + V_n$$

Perhatikan dari persamaan (13.15), bahwa jenis muatan sumber medan yaitu muatan positif atau negatif menentukan nilai positif atau negatif potensial listrik di suatu titik.

Contoh soal 13.7 :

Sebuah muatan $q = 40 \mu\text{C}$. Berapa potensial di titik P yang berjarak 20 cm dan titik Q yang berjarak 60 cm?

Penyelesaian :

$$q = 40 \mu\text{C} = 40 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r_p = 20 \text{ cm} = 20 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$r_Q = 60 \text{ cm} = 60 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_p &= k \frac{q}{r_p} = (9 \times 10^9) \frac{40 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-2}} \\ &= 1,8 \times 10^5 \text{ volt} = 180 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_Q &= k \frac{q}{r_Q} = (9 \times 10^9) \frac{40 \times 10^{-6}}{60 \times 10^{-2}} \\ &= 3,6 \times 10^4 \text{ volt} = 36 \text{ kV} \end{aligned}$$

Persamaan (13.14) menunjukkan potensial listrik di titik A. Apabila di titik A ada muatan q' , maka energi potensial yang dimiliki (E_a) yang dimiliki muatan q' tersebut adalah

$$E_a = q' V_a \quad (13.16)$$

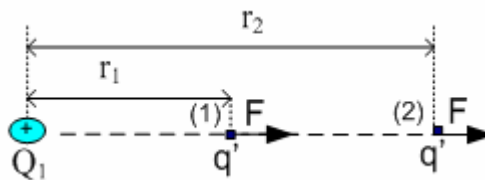
Apabila muatan q' dipindahkan dari posisi awal (1) ke posisi akhir (2) seperti diperlihatkan pada Gambar 11.11, maka besarnya usaha W_{12} . Besarnya usaha untuk perpindahan ini sama dengan ΔE_p . Secara matematis dapat dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned}
 W_{12} &= \Delta E_p \\
 &= E_{p2} - E_{p1}
 \end{aligned}
 \tag{13.17}$$

Dengan mengingat persamaan (13.16), maka

$$\begin{aligned}
 W_{12} &= E_{p2} - E_{p1} \\
 &= q'V_2 - q'V_1
 \end{aligned}$$

$$W_{12} = q'(V_2 - V_1)
 \tag{13.18}$$



Gambar 13.11 Ilustrasi usaha

Contoh soal 13.8 :

Berapa usaha yang diperlukan untuk membawa elektron ($q' = -1,6 \times 10^{-19} \text{C}$) dari kutub positif baterai 12 V ke kutub negatifnya?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned}
 V &= -12 \text{ V} \\
 Q' &= -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W &= \Delta E_p = q' \cdot V \\
 &= (-1,6 \times 10^{-19})(-12) \\
 &= 1,92 \times 10^{-18} \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

Persamaan (13.18) menyatakan bahwa usaha untuk memindahkan muatan uji q' dari titik 1 ke titik 2 sama dengan besar muatan uji dikalikan dengan beda potensial antara V_2 dan V_1 . Persamaan (13.18) dapat dituliskan dalam bentuk beda potensial sebagai

$$W_{12} = q'V_{21} \quad (13.19)$$

Contoh soal 13.9 :

Dari Contoh soal 13.7, berapakah beda potensial antara titik P dan Q?

Penyelesaian :

$$q = 40 \mu\text{C} = 40 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$r_p = 20 \text{ cm} = 20 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$r_Q = 60 \text{ cm} = 60 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} V_p &= k \frac{q}{r_p} = (9 \times 10^9) \frac{40 \times 10^{-6}}{20 \times 10^{-2}} \\ &= 1,8 \times 10^5 \text{ volt} = 180 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_Q &= k \frac{q}{r_Q} = (9 \times 10^9) \frac{40 \times 10^{-6}}{60 \times 10^{-2}} \\ &= 3,6 \times 10^4 \text{ volt} = 36 \text{ kV} \end{aligned}$$

Beda potensial titik P dan Q adalah V_{PQ}

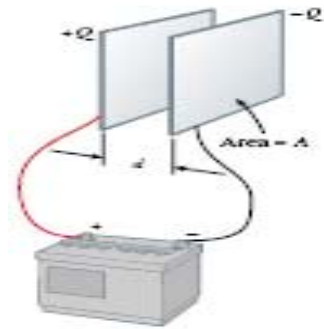
$$\begin{aligned} V_{PQ} &= V_P - V_Q \\ &= 180 \text{ kV} - 36 \text{ kV} \\ &= 154 \text{ kV} \end{aligned}$$

Jadi beda potensial antara titik P dan Q adalah 154 kV

13.8 Kapasitor

Jika suatu sistem yang terdiri dari dua konduktor dihubungkan dengan kutub-kutub sumber tegangan, maka kedua konduktor akan bermuatan sama tetapi tandanya berlawanan. dikatakan telah terjadi perpindahan muatan dari konduktor yang satu ke konduktor yang lain. Sistem dua konduktor yang akan bermuatan dan tandanya berlawanan ini dinamakan **kapasitor**.

Jika besarnya muatan kapasitor tersebut masing-masing q dan beda potensial antara kedua konduktor dari kapasitor tersebut V_{AB} , maka kapasitansi kapasitor



$$C = \frac{q}{\Delta V} \quad (13.20)$$

Gambar 13.12 Kapasitor keping sejajar (Serway, 2004)



Gambar 13.13 Berbagai bentuk kapasitor (Serway, 2004)

Besarnya kapasitansi suatu kapasitor bergantung pada bentuk dan ukuran konduktor pembentuk sistem kapasitor tersebut. Ada tiga macam kapasitor menurut bentuk dari konduktor penyusunannya, yaitu kapasitor dua plat sejajar, kapasitor dua bola konsentris dan kapasitor silinder koaksial.

13.8.1 Kapasitor Plat Sejajar

Pada keping sejajar kuat medan listrik dinyatakan dalam persamaan (13.11) berikut

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad \text{atau} \quad E = \frac{q}{\epsilon_0 A}$$

Apapun bentuk konduktornya, suatu kapasitor diberi simbol



Gambar 13.14 Simbol kapasitor

Hubungan antara kuat medan listrik dan beda potensial V antara dua keping sejajar yang berjarak d adalah

$$V = E d \quad (13.22)$$

$$V = \frac{qd}{\epsilon_0 A} \quad \text{atau} \quad C = \frac{q}{V} \quad (13.23)$$

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

dengan

C = kapasitansi kapasitor keping sejajar

A = luas tiap keping

d = jarak pisah antar keping

Contoh soal 13.10 :

Tentukan kapasitas kapasitor keping sejajar yang luas masing-masing kepingnya adalah $2,25 \text{ cm}^2$. Jarak antara keping adalah 2 mm .

Diketahui bahan dielektriknya mika, dengan $\epsilon_r = 7,0$ dan $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$.

Penyelesaian :

$$A = 2,25 \text{ cm}^2 = 2,25 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = 2 \text{ mm} = 2 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\epsilon_r = 7,0$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$= (7,0)(8,85 \times 10^{-12}) \frac{2,25 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-3}}$$

$$= 6,9693 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$= 7 \text{ piko Farad} = 7 \text{ pF}$$

Contoh soal 13.11 :

Jika kita diminta untuk membuat kapasitor plat sejajar yang kapasitansinya 1 F dan kedua plat dipisahkan pada jarak 1 mm. Plat sejajar tersebut berbentuk bujursangkar, berapakah panjang sisi bujursangkar tersebut?

Penyelesaian :

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$

$$C = 1 \text{ F}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$$

$$1 = (8,85 \times 10^{-12}) \frac{A}{10^{-3}}$$

$$A = \frac{10^3}{8,85 \times 10^{-12}} \text{ m}^2 = 112,99435 \text{ km}^2$$

Sisi-sisi dari bujur sangkar adalah 10,63 km

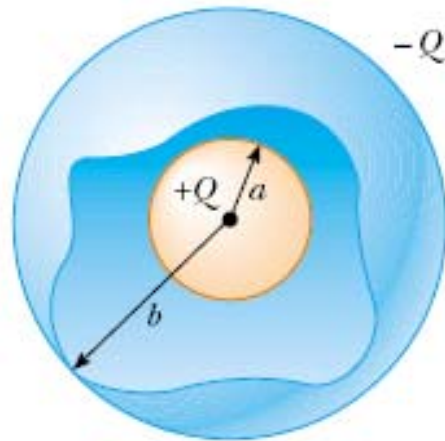
Dari hasil hitungan tersebut dapat dibayangkan betapa besar ukuran plat sejajar yang diperlukan untuk membuat kapasitor dengan kapasitansi 1 F. Karena itu biasanya kapasitor memiliki orde satuan dalam mikro Farad sampai piko Farad.

Tugas:

Apabila kalian diminta untuk membuat kapasitor plat sejajar berbentuk bujursangkar yang kapasitansinya 1 pF dan kedua plat dipisahkan pada jarak 1 mm. Berapakah sisi bujur sangkar plat sejajar tersebut?

13.8.2 Kapasitor Bola

Kapasitor bola adalah sistem dua konduktor terdiri dari dua bola sepusat radius R_1 dan R_2 . bentuk dari kapasitor bola diperlihatkan seperti pada Gambar 13.15.



Gambar 13.15 Kapasitor Bola

Besarnya beda potensial antara a dan b

$$\begin{aligned} \Delta V &= |V_b - V_a| \\ &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \\ &= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{b-a}{ab} \right) \end{aligned} \quad (13.24)$$

$$Q = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a} \Delta V \quad (13.25)$$

Jadi kapasitans dari kapasitor dua bola kosentris yang radiusnya a dan b

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a} \quad (13.26)$$

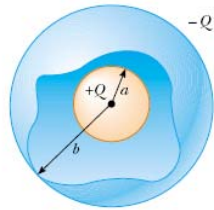
Contoh soal 13.12 :

Sebuah kapasitor berbentuk bola dengan diameter bola luar adalah 2 cm dan diameter bola dalam adalah 1 cm.

- Berapakah kapasitas kapasitor tersebut apabila diantara kedua bola diisi udara?
- Berapakah kapasitansinya apabila diantara kedua bola diberi bahan yang permitivitasnya adalah 5?

Penyelesaian :

Bentuk kapasitor bola adalah



$$\begin{aligned} a &= 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m} \\ b &= 1 \text{ cm} = 4 \times 10^{-2} \text{ m} \\ \epsilon_0 &= 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \\ \epsilon_r &= 5 \end{aligned}$$

- Antara dua bola diisi udara

$$C = 4\pi\epsilon_0 \frac{ab}{b-a}$$

$$\begin{aligned} C &= 4 \times 3,14 \times 8,85 \times 10^{-12} \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}} = 222,3 \cdot 10^{-14} \\ &= 2,22 \text{ pF} \end{aligned}$$

- Antara dua bola diisi bahan dielektrikum

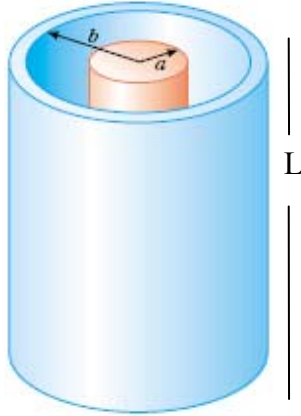
$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{ab}{b-a}$$

$$\begin{aligned} C &= \epsilon_r C_0 = 5 \times 2,22 \text{ pF} \\ &= 10,11 \text{ pF} \end{aligned}$$

Jadi setelah diisi bahan dielektrikum kapasitas kapasitor naik sebesar ϵ_r kali

13.8.3 Kapasitor Silinder

Kapasitor silinder terdiri atas dua silinder koaksial dengan radius R_1 dan R_2 . Panjang silinder adalah L dengan $R_2 \ll L$, muatan pada silinder dalam adalah $+Q$, sedangkan pada silinder luar adalah $-Q$, arah medan listrik dan permukaan Gauss diperlihatkan pada Gambar 13.17.



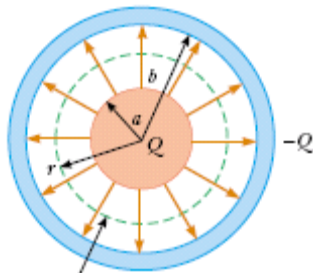
Gambar 13.16 Kapasitor silinder

Menurut Gauss, untuk daerah $R_1 \leq r \leq R_2$ kuat medan listrik E_r ,

$$E_r = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \tag{13.27}$$

$$= \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L r}$$

$$Q = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} V_{ab} \tag{13.28}$$



Gambar 13.17 Daerah permukaan Gauss, arah medan listrik dan permukaan Gauss Kapasitor silinder

Jadi kapasitansi kapasitor silinder dengan radius a dan b , serta panjang L adalah

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} \tag{13.29}$$

Contoh soal 13.13 :

Sebuah kapasitor berbentuk silinder dengan diameter luar adalah 3 cm dan diameter silinder dalam adalah 2 cm. Panjang silinder adalah 5 cm

- a. Berapakah kapasitansi kapasitor tersebut apabila diantara kedua silinder diisi udara?
- b. Berapakah kapasitansinya apabila diantara kedua silinder diberi bahan yang permitivitasnya adalah 4?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} a &= 2 \text{ cm} = 2 \times 10^{-2} \text{ m} \\ b &= 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m} \\ L &= 5 \text{ cm} = 5 \times 10^{-2} \text{ m} \\ \varepsilon_0 &= 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2 \\ \varepsilon_r &= 4 \end{aligned}$$

a. Kapasitansi kapasitor silinder jika antara dua silinder diisi bola adalah

$$C = \frac{2 \pi \varepsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}} \quad \ln \frac{b}{a} = \ln \frac{3}{2} = 0,4$$

$$\begin{aligned} C &= \frac{2 \times 3,14 \times 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-1}} \\ &= 6,95 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 6,95 \text{ pF} \end{aligned}$$

b. Kapasitansi kapasitor silinder jika antara dua silinder diisi dielektrikum adalah

$$C = \frac{2 \pi \varepsilon_r \varepsilon_0 L}{\ln \frac{b}{a}}$$

Bila kapasitansi dari kapasitor ketika diisi udara adalah C_0 , maka setelah diisi dielektrikum, kapasitansi dari kapasitor adalah

$$C = \varepsilon_r C_0$$

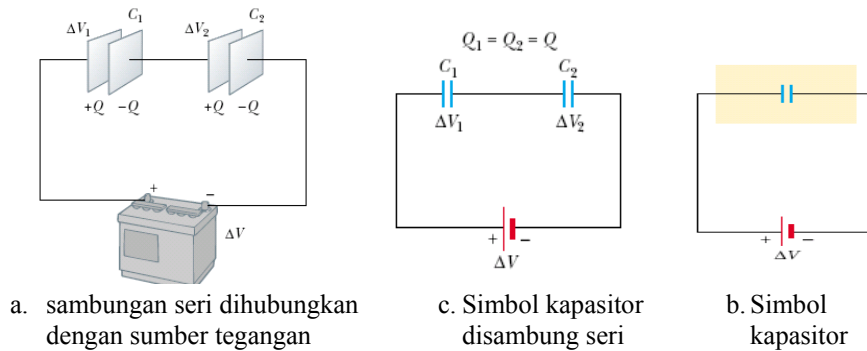
$$\begin{aligned} C &= 4 \times 6,95 \text{ pF} \\ &= 27,79 \text{ pF} \end{aligned}$$

13.8.4 Sambungan Kapasitor.

Beberapa kapasitor dapat disambung secara seri, paralel, atau kombinasi seri dan paralel. Sambungan beberapa kapasitor tersebut dapat diganti dengan satu kapasitor yang sama nilainya.

Sambungan Seri.

Dua buah kapasitor C_1 dan C_2 disambung seri seperti diperlihatkan pada Gambar 13.18. Pada sambungan seri besarnya muatan pada masing-masing kapasitor sama. Ketika dua kapasitor tersebut dihubungkan dengan sumber tegangan seperti pada Gambar 13.18, maka keping kiri dari kapasitor C_1 bermuatan positif q . Keping kanan kapasitor C_1 akan menarik elektron dari keping kiri kapasitor C_2 sehingga muatan keping kanan kapasitor C_1 bermuatan $-q$ dan keping kiri kapasitor C_2 bermuatan $+q$.



Gambar 13.18 Kapasitor-kapasitor disambung seri

Beda potensial ΔV pada kapasitor tersambung seri dapat dinyatakan sebagai

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

dengan

$$\Delta V = \frac{Q}{C_s} \quad \Delta V_1 = \frac{Q}{C_1} \quad \Delta V_2 = \frac{Q}{C_2}$$

Besarnya Kapasitans pengganti kapasitor terhubung seri diperoleh dari

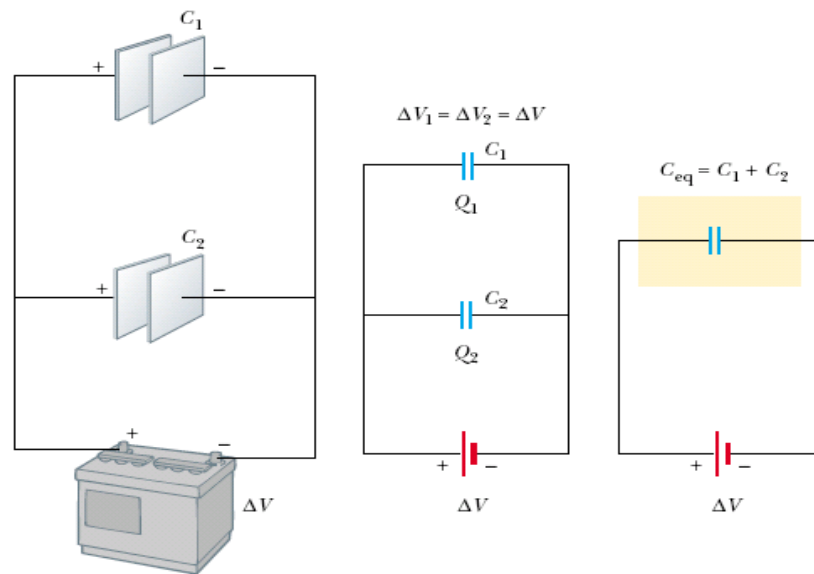
$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 \quad \rightarrow \quad \frac{Q}{C_s} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} \quad (13.30)$$

Untuk n kapasitor disambung seri, kapasitans yang senilai C_s ,

$$\frac{1}{C_s} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (13.31)$$

Sambungan paralel

Dua buah kapasitor yang kapasitansnya C_1 dan C_2 disambungkan secara paralel seperti diperlihatkan pada Gambar 13.19. Beda tegangan pada ujung-ujung kapasitor yang terhubung paralel adalah sama. Sedangkan muatan pada total kapasitor akan terbagi pada C_1 dan C_2 .



- b. Sambungan paralel dihubungkan dengan sumber tegangan
 d. Simbol kapasitor disambung paralel
 c. Simbol kapasitor pengganti

Gambar 13.19 Kapasitor-kapasitor disambung paralel

Beda potensial ΔV pada kapasitor tersambung paralel dapat dinyatakan sebagai

$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$$

dengan $Q = Q_1 + Q_2$ (13.32)

$$Q = \Delta V \cdot C_p \quad Q_1 = \Delta V \cdot C_1 \quad Q_2 = \Delta V \cdot C_2$$

$$C_{p1} = C_1 + C_2 \\ = 1 \text{ pF} + 3 \text{ pF} = 4 \text{ pF}$$

Besarnya kapasitans pengganti kapasitor terhubung paralel dapat diperoleh dari

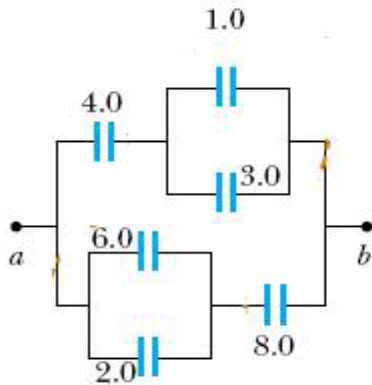
$$Q = Q_1 + Q_2 \\ \Delta V \cdot C_p = \Delta V \cdot C_1 + \Delta V \cdot C_2 \quad (13.33) \\ C_p = C_1 + C_2$$

Untuk n kapasitor disambung seri, kapasitans yang senilai C_p ,

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_i \quad (13.34)$$

Contoh soal 13.14 :

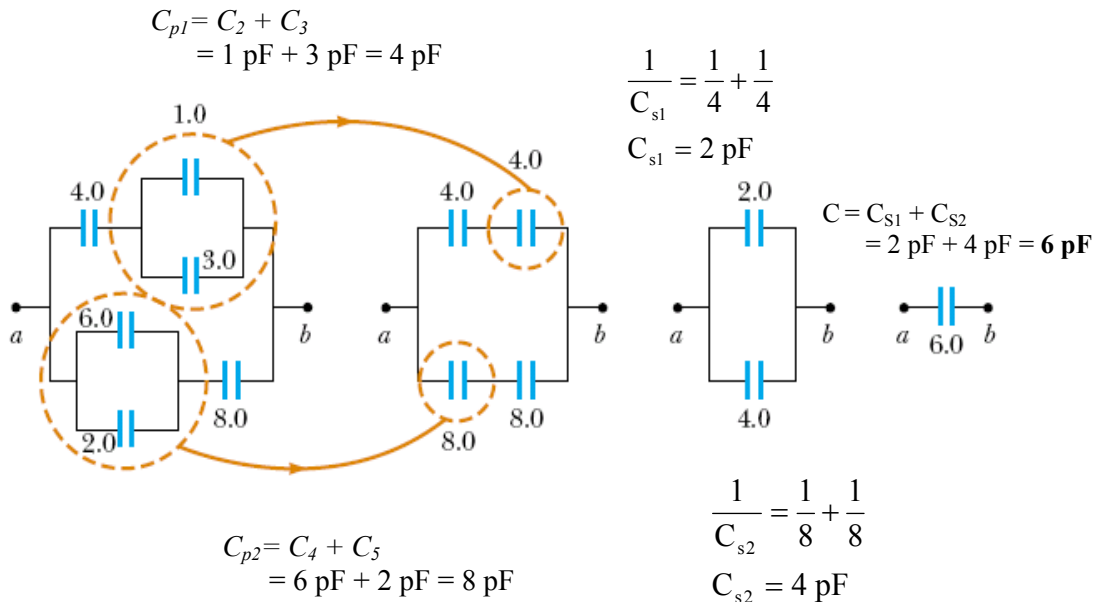
Enam buah kapasitor masing masing $C_1 = 4 \text{ pF}$, $C_2 = 1 \text{ pF}$, $C_3 = 3 \text{ pF}$, $C_4 = 6 \text{ pF}$, $C_5 = 2 \text{ pF}$, dan $C_6 = 8 \text{ pF}$. Disambung seperti pada gambar berikut. Berapakah kapasitans dari kapasitor pengganti?



Penyelesaian :

Sambungan 6 kapasitor tersebut adalah kombinasi antara sambungan kombinasi seri dan paralel.

- Sambungan C_2 dan C_3 disambung paralel dan diperoleh $C_{p1} = 4$ pF
- Sambungan C_4 dan C_5 disambung paralel dan diperoleh $C_{p2} = 8$ pF
- Pada rangkaian sebelah kanannya C_1 disambung seri dengan C_{p1} dan diperoleh kapasitor pengganti $C_{s1} = 2$ pF
- Pada rangkaian sebelah kanannya C_6 disambung seri dengan C_{p2} dan diperoleh kapasitor pengganti $C_{s2} = 4$ pF
- Langkah terakhir C_{s1} tersambung paralel dengan C_{s2} hasilnya 6 pF
- Jadi kapasitans pengganti ke enam kapasitor tersebut adalah sebuah kapasitor yang memiliki kapasitans sebesar 6 pF



13.8.5 Energi Kapasitor.

Jika suatu kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan artinya kapasitor tersebut dimuati. Pada saat itu terjadi perpindahan muatan dari konduktor dengan potensial rendah ke potensial tinggi. Suatu kapasitor yang dimuati dengan dihubungkan dengan sumber tegangan dan kemudian sumber tegangan dilepaskan maka pada kapasitor masih ada beda tegangan akibat muatan pada dua konduktor. Jadi kapasitor dapat disimpan energi. Berikut akan dihitung energi yang dapat disimpan dalam kapasitor.

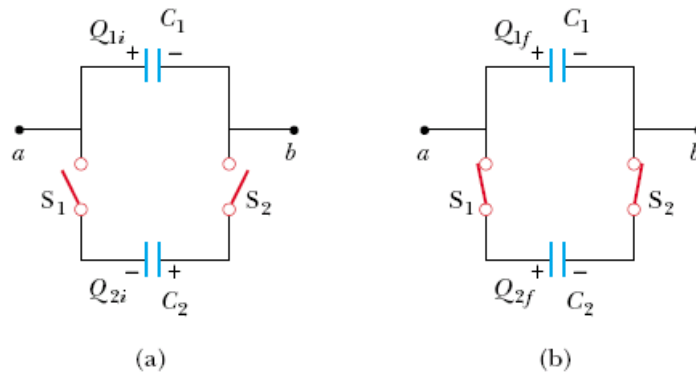
Mula-mula jumlah muatan dalam kapasitor adalah nol, maka untuk menambah muatan diperlukan usaha W . Usaha total untuk memuati kapasitor sebanyak Q adalah

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (13.35)$$

Usaha ini tidak hilang melainkan tetap tersimpan dalam kapasitor menjadi energi kapasitor U adalah

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} C V_{ab}^2 = \frac{1}{2} Q V_{ab} \quad (13.36)$$

Dua buah kapasitor plat sejajar C_1 dan C_2 dengan $C_1 > C_2$ dimuati dengan beda potensial ΔV_i . Kemudian kapasitor diputuskan dari baterai dan setiap plat disambungkan dengan sumber tegangan seperti pada Gambar 13.19a. Kemudian saklar S_1 dan S_2 ditutup seperti pada Gambar 13.19a. Berapa beda potensial ΔV_f antara a dan b setelah saklar S_1 dan S_2 ditutup?



Sebelum saklar ditutup diperoleh hubungan

$$Q_{1i} = C_1 \cdot \Delta V_i \quad Q_{2i} = -C_2 \cdot \Delta V_i$$

Total muatan

$$Q = Q_{1i} + Q_{2i} = (C_1 - C_2) \Delta V_i$$

Setelah saklar ditutup

$$Q_{1f} = C_1 \cdot \Delta V_f \quad Q_{2f} = C_2 \cdot \Delta V_f \quad Q_{1f} = \frac{C_1}{C_2} Q_{2f}$$

$$Q = Q_{1f} + Q_{2f} = \frac{C_1}{C_2} Q_{2f} + Q_{2f}$$

$$Q = \left(\frac{C_1 + C_2}{C_2} \right) Q_{2f}$$

$$Q_{2f} = \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) Q \quad Q_{1f} = \left(\frac{C_1}{C_1 + C_2} \right) Q$$

$$\Delta V_{1f} = \frac{Q_{1f}}{C_1} = \frac{Q [C_1 / (C_1 + C_2)]}{C_1} = \frac{Q}{C_1 + C_2}$$

$$\Delta V_{2f} = \frac{Q_{2f}}{C_2} = \frac{Q [C_2 / (C_1 + C_2)]}{C_2} = \frac{Q}{C_1 + C_2}$$

Beda potensial antara a dan b setelah saklar S_1 dan S_2 ditutup

$$\Delta V_f = \left(\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} \right) \Delta V_i \quad (13.37)$$

Energi yang tersimpan di kapasitor setelah saklar ditutup

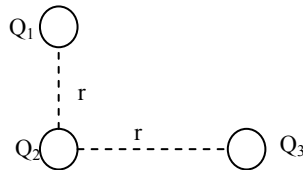
$$U_f = \frac{1}{2}C_1(\Delta V_f)^2 + \frac{1}{2}C_2(\Delta V_f)^2 = \frac{1}{2}(C_1 + C_2)(\Delta V_f)^2 \quad (13.38)$$

Jadi setelah saklar ditutup kapasitor akan menyimpan energi sebanding dengan kapasitansinya beda potensial sumber tegangan.

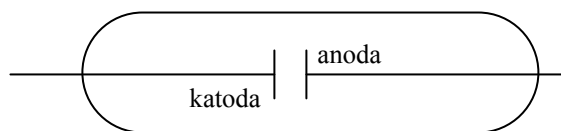
13.9 UJI KOMPETENSI

Soal pilihan ganda

- Ada empat buah titik A,B,C dan D bermuatan listrik. Titik A menolak titik B, titik B menarik titik C dan titik C menolak titik D. Jika muatan D negatif, maka muatan yang lain berturut-turut
 - titik A, positif, B positif, C negatif
 - titik A, positif, B negatif, C negatif
 - titik A, negatif, B positif, C positif
 - titik A, negatif, B negatif, C negatif
 - titik A, positif, B positif, C positif
- Tiga titik bermuatan listrik sama jenis dan besarnya, terletak pada sudut – sudut segitiga sama sisi. Bila gaya antara 2 titik bermuatan tersebut adalah F, maka besarnya gaya pada setiap titik adalah :
 - $F\sqrt{3}$
 - $\frac{1}{2}F\sqrt{3}$
 - $\frac{1}{2}F\sqrt{2}$
 - $F\sqrt{2}$
 - $\frac{1}{3}F\sqrt{2}$
- Suatu segitiga sama sisi dengan panjang sisi 30 cm terletak diudara. Pada titik-titik sudut A,B, dan C berturut-turut terdapat muatan listrik sebesar -2×10^{-6} C dan 3×10^{-6} C, maka besar gaya coulomb dititik C adalah
 - 0,6 N
 - 0,7 N
 - 0,8 N
 - 0,9 N
 - 1,0 N
- Pada gambar berikut diketahui $Q_1 = Q_2 = 5 \mu\text{C}$, $Q_3 = 40 \mu\text{C}$, dan $r = 2$ m.
Gaya yang dialami muatan Q_2 adalah



- A. $0,30\sqrt{2}$ D. $0,6\sqrt{2}$
 B. $0,45\sqrt{2}$ E. $0,9\sqrt{2}$
 C. $0,5\sqrt{2}$
5. Dua partikel masing-masing q_1 dan q_2 yang tidak diketahui besar dan jenisnya, terpisah sejauh d . Antara kedua muatan itu dan pada garis penghubungnya terletak titik P dan berjarak $2/3$ dari q_1 . bila kuat medan dititik P sama dengan nol, maka:
- muatan q_1 dan q_2 merupakan muatan-muatan yang tak sejenis
 - potensial dititik P yang disebabkan oleh q_1 dan q_2 sama
 - potensial dititik P sama dengan nol
 - besar muatan $q_1 = 2$ kali besar muatan q_2
 - besar muatan $q_1 = 4$ kali besar muatan q_2
6. dua buah muatan listrik masing-masing bermuatan $Q_1 = -4$ C dan $Q_2 = 9$ C terpisah sejauh 1 m. Q_2 berada disebelah kanan Q_1 . sebuah titik yang mempunyai kuat medan listrik nol terletak
- 0,5 meter disebelah kanan Q_1
 - 0,5 meter disebelah kanan Q_2
 - 1,0 meter disebelah kiri Q_1
 - 2,0 meter disebelah kanan Q_2
 - 2,5 meter disebelah kiri Q_1
7. Di dalam tabung dioda, elektron keluar dari katoda dipercepat oleh anoda yang berada pada potensial 300 volt (arus searah) terhadap katoda. Berapa kecepatan elektron waktu sampai di anoda jika massa elektron – elektron 10^{-27} gram dan muatan elektron adalah $1,6 \times 10^{-19}$ C? Anggap bahwa elektron ke luar dari katoda dengan kecepatan nol



- $9,8 \times 10^8$ cm/detik
- $3,3 \times 10^8$ cm/detik

- C. $5,6 \times 10^8$ cm/detik
D. $3,3 \times 10^9$ cm/detik
E. $2,1 \times 10^8$ cm/detik
8. Sebuah titik berada pada jarak r dari sebuah bola konduktor bermuatan Q . Jari-jari bola konduktor tersebut 1 cm. Apabila pada titik tersebut kuat medan listriknya 20 V/m dan potensial listriknya 8- Volt, besarnya $Q =$
- A. $2,2 \times 10^{-9}$ C
B. $2,7 \times 10^{-9}$ C
C. $2,2 \times 10^{-8}$ C
D. $2,7 \times 10^{-8}$ C
E. $4,5 \times 10^{-8}$ C
9. Dua keping logam sejajar diberi muatan listrik yang sama besarnya dan berlawanan tanda. Kuat medan listrik di antara dua keping itu...
- A. Berbanding lurus dengan rapat muatannya
B. Berbanding terbalik dengan rapat muatannya
C. Berbanding terbalik dengan jarak kuadrat antara kedua keping
D. Berbanding lurus dengan jarak antara kedua keping
E. Arahnya menuju kekeping yang bermuatan positif.
10. Dua keping logam yang sejajar dan jaraknya 0,5 cm satu dari yang lain diberi muatan listrik yang berlawanan, sehingga timbul beda potensial 10.000 volt. Bila muatan elektron sama dengan $1,6 \times 10^{-19}$ C maka besar dan arah gaya coulomb pada sebuah elektron yang ada diantara kedua keping adalah
- A. $0,8 \times 10^{-7}$ N, ke atas
B. $0,8 \times 10^{-17}$ N, ke bawah
C. $3,2 \times 10^{-13}$ N, ke atas
D. $3,2 \times 10^{-13}$ N, ke bawah
E. $12,5 \times 10^{24}$ N, ke atas

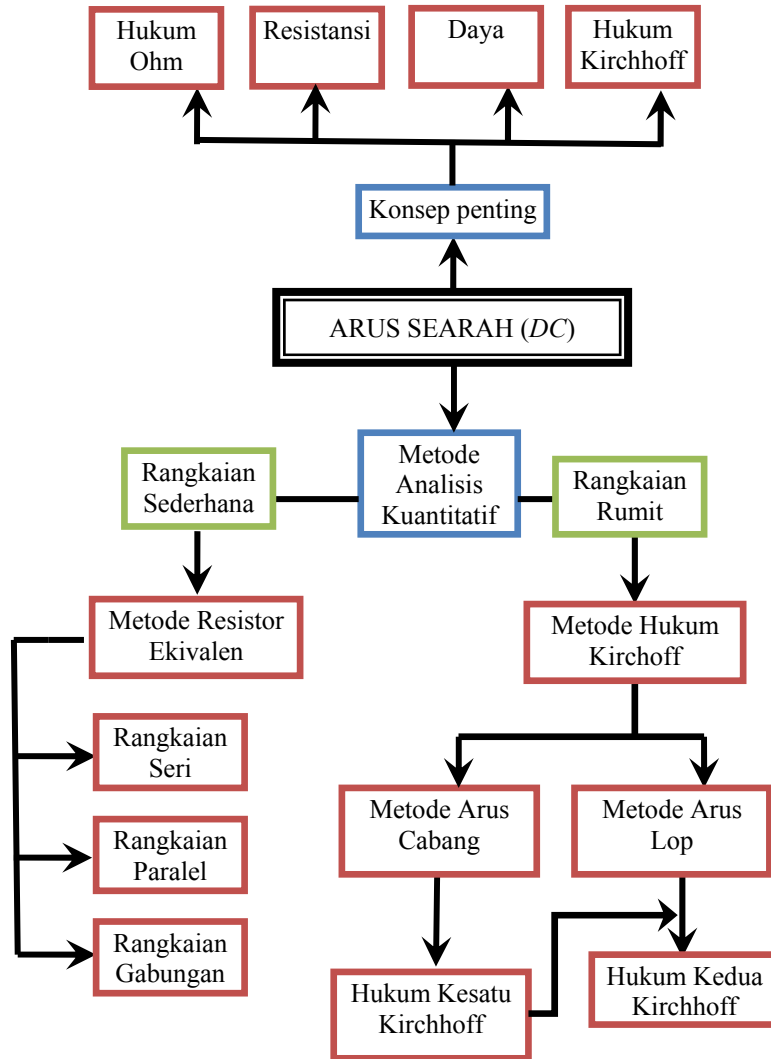
BAB 14

RANGKAIAN ARUS SEARAH



Membahas arus listrik searah tidak terlepas dari pemakaian suatu sumber energi. Sumber energi arus searah yang mudah dijumpai di pasaran adalah berupa baterai. Kebutuhan energi listrik untuk rumah tangga biasanya dipenuhi melalui sumber arus bolak-balik dari PLN. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada kelompok rumah di daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN dapat menggunakan sumber energi dari tenaga surya, yang merupakan energi terbarukan dan tidak menggunakan energi dari fosil, sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada kenaikan harga minyak bumi yang kini mencapai 100 dolar Amerika per barel dan berakibat memberatkan negara dalam memberikan subsidi terhadap bahan bakar minyak yang kita gunakan. Energi surya bersifat bersih lingkungan, karena tidak meninggalkan limbah. Karena harga sel surya cenderung semakin menurun dan dalam rangka memperkenalkan sistem pembangkit yang ramah lingkungan, maka pemanfaatan listrik sel surya dapat semakin ditingkatkan. Di samping itu, terdapat lima keuntungan pembangkit listrik dengan sel surya. Pertama energi yang digunakan adalah energi yang tersedia secara cuma-cuma. Kedua perawatannya mudah dan sederhana. Ketiga tidak menggunakan mesin (peralatan yang bergerak), sehingga tidak perlu penggantian suku cadang dan penyetelan pada pelumasan. Keempat peralatan dapat bekerja tanpa suara dan sehingga tidak berdampak kebisingan terhadap lingkungan. Kelima dapat bekerja secara otomatis.

PETA KONSEP



Pra Syarat

Pada bab ini dibahas tentang resistansi, konduktansi, hukum Ohm, konsep arus searah kaitannya dengan kecepatan derip, jenis sambungan resistor. Juga daya pada resistor, Hukum Kesatu Kirchhoff, Hukum Kedua Kirchhoff untuk loop sederhana maupun yang rumit.

Cek Kemampuan Anda, apakah :

- Anda telah memahami konsep mengapa muatan listrik dapat bergerak.
- Anda telah memahami konsep resistansi pada suatu bahan.
- Anda telah memahami dan dapat menuliskan rumusan untuk beda tegangan pada kedua ujung untuk resistor yang dilewatkan arus I dan suatu batere yang memiliki gaya gerak listrik (ggl) ϵ .
- Anda memahami konsep daya pada rangkaian listrik tersebut.

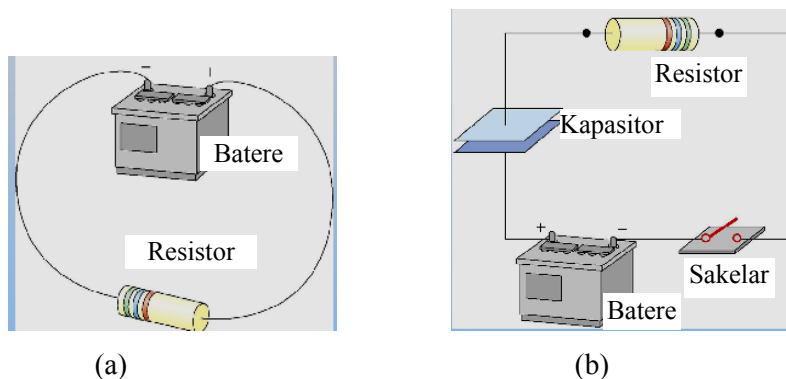
Konduktor (misalkan logam) memiliki sifat mudah melepaskan elektron untuk bergerak dari satu atom ke atom lain apabila ada medan listrik E . Konduktor yang baik sekaligus menjadi penghantar panas yang baik pula. Sebaliknya, bahan isolator tidak mudah melepaskan elektronnya, sehingga bukan merupakan penghantar yang baik. Namun, isolator padat dapat berubah menjadi konduktor apabila dipanasi karena sifat cairnya yang menghasilkan ion bebas sehingga dapat menghantarkan muatan listrik.

Semikonduktor merupakan suatu bahan yang dicirikan oleh kemampuannya untuk menghantarkan arus listrik yang kecil. Resistansi (R) merupakan ukuran daya hambat (perlawanan) bahan terhadap aliran arus listrik, (diukur dalam satuan Ohm, Ω). Resistansi menghambat aliran muatan listrik. Aliran muatan listrik dalam bahan menghasilkan tumbukan yang ditandai berupa kenaikan temperatur bahan. Hal ini mirip dengan timbulnya panas akibat gesekan antar benda.

Dengan kata lain, konduktor memiliki resistansi rendah, namun isolator memiliki resistansi yang tinggi. Resistansi dapat dinyatakan dengan rumusan $R = \rho L/A$, yang berarti bahwa resistansi suatu kawat

- ❖ bergantung pada panjang kawat, yaitu makin panjang kawat makin besar pula resistansinya.
- ❖ berbanding terbalik dengan luas penampang kawat
- ❖ berbanding lurus dengan jenis bahan. Misal kawat tembaga memiliki resistansi yang rendah. Dalam rumusan di atas dinyatakan dengan besaran ρ (rho) yaitu resistivitas.

Arus listrik searah (*direct current, DC*) adalah aliran arus listrik yang konstan dari potensial tinggi ke potensial rendah. Sebagai contoh baterai *Accu* yang biasa dipasang pada mobil atau motor merupakan sumber arus searah yang digunakan sebagai penggerak motor atau sebagai pemanas. Untuk kepentingan tertentu diperlukan tegangan yang lebih besar sehingga diperlukan modifikasi yaitu dengan menambahkan kapasitor sebagai penyimpan muatan sementara dari baterai. Pada saat sakelar ditutup muatan baterai mengalir untuk mengisi muatan pada kapasitor seperti pada Gambar 14.1.



Gambar 14.1 (a) Resistor dihubungkan dengan baterai (sumber tegangan searah). (b) Resistor dan kapasitor disambungkan seri dan dihubungkan dengan baterai lewat sakelar S .

14.1 Arus Searah dalam Tinjau Mikroskopis

Pengertian arus adalah jumlah muatan yang mengalir per satuan waktu. Secara umum, arus rerata adalah perbandingan antara jumlah muatan ΔQ yang mengalir terhadap waktu Δt .

$$I_{\text{rerata}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

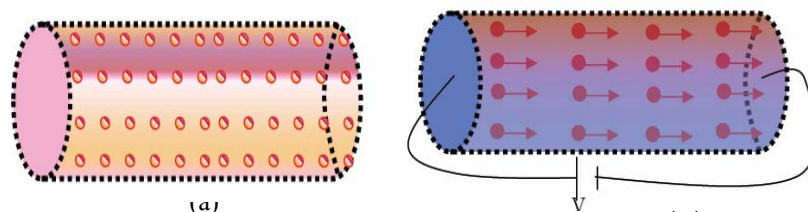
Hal ini berarti bahwa arus sesaat merupakan tinjauan dalam yaitu sejumlah kecil muatan ΔQ yang mengalir secara tegak lurus terhadap penampang kawat yang luasnya A dalam waktu Δt yang sangat singkat.

Karena besar dan arah arus sesaat tersebut tidak berubah terhadap waktu, maka untuk selanjutnya istilah arus sesaat dinyatakan dengan

arus searah (biasa disebut arus *DC*), yang disimbolkan dengan I ditulis dengan huruf besar.

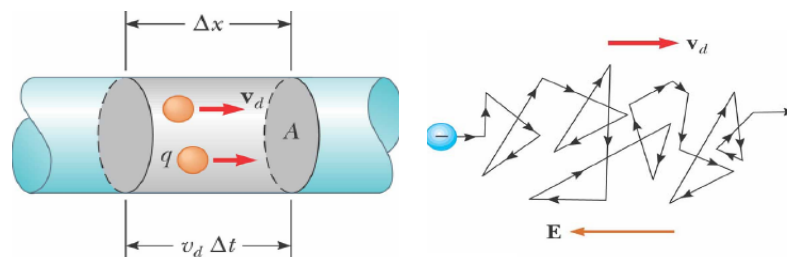
Satuan arus listrik adalah Coulomb/sekon atau Ampere. Arah arus adalah sama dengan arah gerak muatan positif yaitu kebalikan arah gerak muatan negatif.

Perhatikan Gambar 14.2 (a) yang menyatakan kondisi muatan dalam bahan tanpa pengaruh batere luar, sehingga tidak ada muatan di dalam konduktor, semua terdistribusi di bagian luar permukaan bahan. Gerakan muatan listrik di dalam bahan adalah gerakan akibat temperatur bahan (efek termal), namun secara rerata posisi partikel pembawa muatan tidak berubah. Kecepatan gerak elektron pada bahan dengan temperatur sekitar 300K adalah 10^5 m/s. Berikutnya tinjau kondisi lain, yaitu pada bahan dikenakan batere luar seperti Gambar 14.2 (b) ternyata muatan akan terkena gaya dorong akibat medan listrik dari batere. Pada prinsipnya, batere luar akan memberikan medan listrik di dalam bahan. Apabila medan listrik tersebut mengenai muatan maka akan memberikan gaya pada muatan tersebut sehingga mengakibatkan muatan positif bergerak searah dengan arah medan listrik, sebaliknya muatan negatif akan bergerak berlawanan dengan arah medan listrik. Gabungan antara gaya dorong dari batere dan kemampuan gerak akibat temperatur bahan menghasilkan kecepatan derip v_d yaitu kecepatan rerata muatan bergerak di dalam bahan. Arah arus listrik diperjanjikan mengikuti arah gerakan muatan positif, atau kebalikan dari arah gerak muatan negatif.



Gambar 14.2 (a) Kondisi muatan dalam bahan tanpa pengaruh batere luar.
(b) Kondisi muatan dalam bahan dengan diberikan pengaruh batere luar.

Untuk memahami arus listrik dengan mudah, gunakan n untuk menyatakan jumlah partikel pembawa muatan per satuan volume, q untuk muatan tiap partikel, v menyatakan kecepatan derip muatan, A adalah luas penampang lintang kawat yang dilalui muatan.



(a)

(b)

Gambar 14.3 (a) Gerak muatan di dalam bahan luas penampang lintang A , kecepatan derip v_d (b) Arah gerak muatan di dalam bahan secara acak dikenai medan listrik E .

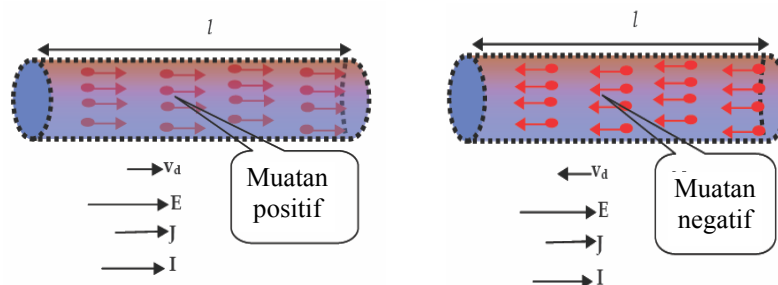
Gambar 14.3 (a) menunjukkan gerak muatan di dalam bahan dengan luas penampang lintang A dengan kecepatan derip (laju aliran) v_d yang merupakan resultan kecepatan gerak muatan sehingga dalam waktu Δt mampu menempuh jarak $\Delta L = \Delta t v_d$. Sedangkan Gambar 14.3 (b) memperlihatkan arah gerak muatan di dalam bahan secara acak dan dipengaruhi medan listrik E . Bagi elektron yang bermuatan negatif arah gerak berlawanan dengan arah medan listriknya.

Tinjau perpindahan partikel pembawa muatan dalam waktu Δt . Bila dalam waktu Δt terdapat n partikel per satuan volume dan tiap partikel bermuatan q maka jumlah muatan per satuan volume yang berpindah dalam waktu Δt adalah nq . Karena selama Δt muatan menempuh jarak $v\Delta t$ dengan luas penampang lintang A , maka jumlah muatan yang berpindah dalam waktu Δt adalah $nq(Av\Delta t)$. Volume kawat yang memberikan andil muatan yang bergerak dalam waktu Δt adalah $Av\Delta t$. Jadi jumlah muatan yang berpindah posisi per satuan waktu Δt adalah $nqvA$. Jadi besar arus listrik pada kawat dengan luas penampang lintang A dapat dinyatakan dengan $nqvA$.

Satuan arus listrik adalah

$$[I] = \frac{[Q]}{[t]} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ Ampers} = 1 \text{ Amp} = 1 \text{ A}$$

Besaran rapat arus \mathbf{J} yang didefinisikan sebagai arus per satuan luas. Untuk \hat{n} adalah vektor normal bidang luasan dA



Gambar 14.4 (a) Arah gerak muatan positif (b) Arah gerak muatan negatif. [Diambil dari Gaziantep University Faculty of Engineering Department of Engineering Physics]

Satuan rapat arus adalah Coulomb/m² dan arah rapat arus sama dengan arah arus.

Bila panjang kawat L dilalui elektron dengan kecepatan derip v dalam waktu t detik maka berlaku:

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

Dari rumusan arus listrik searah

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{nqA(v\Delta t)}{\Delta t} = nqvA$$

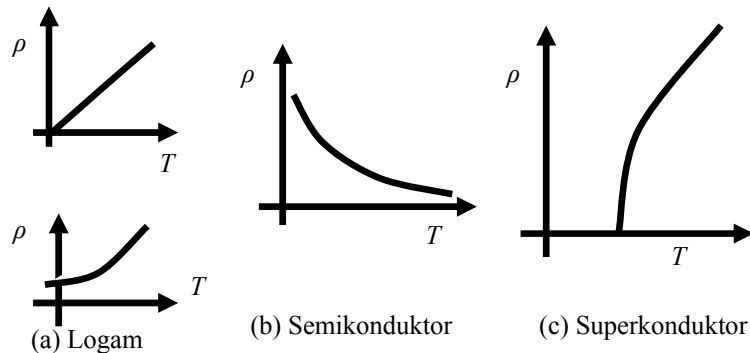
Sehingga rapat arus dapat ditulis

$$J = \frac{I}{A} = nqv$$

Dan kecepatan derip adalah

$$v = \frac{I}{Anq} = \frac{J}{nq}$$

Dari berbagai eksperimen dapat ditunjukkan bahwa resistivitas suatu bahan pada umumnya bergantung pada temperatur, seperti ditunjukkan pada Gambar 14.5 yang menyatakan hubungan antara resistansi dengan temperatur.



Gambar 14.5 Hubungan antara resistansi dengan temperatur. (a) Pada Logam. (b) Pada Semikonduktor dan (c) Pada Superkonduktor.

Contoh Soal 14.1

Suatu kawat aluminum memiliki luas penampang lintang $4 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ mengalirkan arus sebesar 5 A. Tentukan kecepatan derip (laju aliran) elektron dalam kawat. Rapat massa aluminum adalah $2,7 \text{ g/cm}^3$. Anggap setiap atom aluminum menyumbang satu elektron bebas.

Penyelesaian

Melalui kecepatan derip (laju aliran) elektron v_d , maka arus dalam konduktor logam adalah

$$I = nqv_dA$$

untuk n adalah jumlah elektron bebas per satuan volume dan A adalah luas penampang lintang kawat konduktor. Karena anggapan tiap atom memberikan andil satu elektron maka jumlah atom per satuan volume dalam bahan aluminum juga sama dengan n .

$$n = \frac{\text{massa per satuan volume}}{\text{massa per atom}} = \frac{\text{rapat massa}}{\text{massa per atom}}$$

$$m_{\text{atom}} = \frac{\text{massa per mol}}{\text{atom per mol}} = \frac{\text{berat molekul}}{\text{bilangan Avogadro}}$$

$$m_{\text{atom}} = \frac{27 \text{ g}}{6,02 \times 10^{23}} = 4,5 \times 10^{-23} \text{ g}$$

Rapat massa elektron bebas adalah

$$n = \frac{\rho}{m_{\text{atom}}} = \frac{27 \text{ g/cm}^3}{4,5 \times 10^{-23} \text{ g}} = 6 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$$

$$n = (6 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}) \left(\frac{10^6 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$$

Kecepatan derip (laju aliran) v_d elektron dalam kawat aluminum adalah

$$v_d = \frac{5 \frac{\text{C}}{\text{s}}}{(6 \times 10^{28} \text{ m}^{-3})(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(4 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}$$

$$= 1,3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Contoh Soal 14.2

Tentukan kecepatan derip elektron pada kawat tembaga berdiameter 4 mm yang dialiri arus listrik 1 A. Bila jumlah elektron pada kawat tembaga per m^3 adalah $8,5 \times 10^{28}$ elektron/ m^3 .

Penyelesaian :

Rapat arus adalah nilai arus dibagi dengan luas penampang lintang kawat

$$J = \frac{I}{A} = \frac{1}{\pi(2 \times 10^{-2})^2} = 79545,45 \frac{A}{m^2}$$

$$v = \frac{I}{Anq} = \frac{J}{nq} = \frac{\left(79545,45 \frac{A}{m^2}\right)}{\left(8,85 \times 10^{28} \frac{C^2}{Nm^2}\right) (1,6 \times 10^{-19} C)}$$

$$= 5,6 \times 10^{-6} \frac{m}{s}$$

Kegiatan:

Dari perhitungan kecepatan derip elektron didapat sekitar $5,6 \times 10^{-6} m/s$ yang tampak sangat kecil, padahal kalau kita menyalakan lampu melalui sakelar, maka lampu begitu cepat menyala. Carilah penjelasannya di berbagai literatur atau internet kemudian diskusikanlah dengan temanmu.

Berikut adalah beberapa nilai resistivitas.

Tabel 14.1 Nilai resistivitas untuk kelompok bahan yang bersifat sebagai isolator, semikonduktor dan konduktor

Bahan	Resistivitas	Sifat
Kaca	$>10^{10}$	Isolator
Air Murni	2×10^5	
Karbon	$3,5 \times 10^5$	Semikonduktor
Silikon	2300	
Air Laut	0,2	Elektrolit
Emas	$2,4 \times 10^8$	Konduktor
Tembaga	$1,7 \times 10^8$	

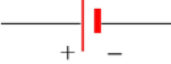


Latihan :

Bagaimana resistivitas suatu bahan berubah terhadap temperatur? Berikan ulasannya dengan menggunakan pengertian bahwa bila temperatur bahan bertambah maka muatan muatan di dalam bahan juga bertambah energinya.

Adapun rumusan yang memberikan hubungan antara resistivitas dan temperatur

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

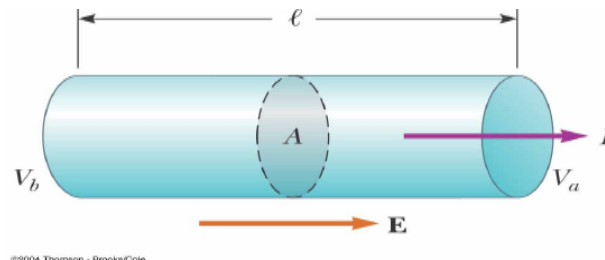
Simbol simbol yang akan digunakan dalam pembahasan selanjutnya adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 14.6

Voltage Source	
Resistor	
Switch	

Gambar 14.6 Simbol yang digunakan dalam rangkaian arus listrik.

14.2 Hukum Ohm

Secara makroskopis hukum Ohm dinyatakan dalam hubungan $V = IR$



Gambar 14.7 Arah gerak muatan positif, sesuai dengan arah arus I dan medan E . [Diambil dari *PY212 R. D. Averitt 2007*]

Tinjau kawat konduktor dari titik A ke B sepanjang l , dengan luas penampang lintang A , dalam pengaruh medan listrik E yang memiliki beda potensial $V_a - V_b = \Delta V = V_{ab}$. Dengan tanpa melakukan pembahasan secara rinci untuk menghindarkan rumusan matematis yang rumit maka kita dapat menggunakan rumusan yang memberikan hubungan antara potensial listrik dengan medan listrik yaitu

$$V = EL$$

Karena $J = \frac{I}{A}$ maka $R = \rho \frac{L}{A}$

Kegiatan:

Carilah dua kawat tembaga yang biasa digunakan untuk kabel listrik. Potonglah kawat tersebut sehingga panjang kawat 2 adalah dua kali panjang kawat 1. Hubungkan kawat 1 dengan batere dan bohlam lampu kecil hingga menyala, amatilah nyala lampu. Lakukan hal yang sama dengan menggunakan kawat 2. Diskusikan kaitannya dengan rumusan resistansi yang telah kamu pelajari.

Latihan :

Kawat 1 memiliki resistansi R_1 , Kawat 2 berasal dari bahan yang sama dengan bahan kawat pertama, namun memiliki luas penampang lintang 4 kali luas penampang lintang kawat pertama. Tentukan resistansi kawat 2 (R_2) terhadap resistansi R_1 .

14.3 GGL dan Resistansi Dalam

Untuk menjaga agar arus yang memiliki besar dan arahnya konstan, maka pada rangkaian tertutup tersebut harus diberikan energi listrik. Sumber energi listrik yang biasa disebut gaya gerak listrik (ggl) dengan simbol \mathcal{E} , sebagai contoh batere, sel surya, dan termokopel. Sumber energi listrik tersebut dapat “memompa” muatan sehingga muatan bergerak dari tempat dengan potensial listrik rendah ke tempat dengan potensial listrik yang lebih tinggi.

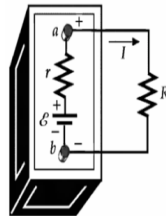
Adapun hubungan antara gaya gerak listrik dengan kerja yaitu diperlukan kerja sebesar satu joule agar muatan sebesar satu Coulomb dapat bergerak ke tempat yang memiliki potensial listrik lebih tinggi akibat ggl sebesar satu volt. Suatu batere adalah merupakan generator atau sumber energi listrik yang memiliki gaya gerak listrik (ggl) sebesar

ϵ volt. Gaya gerak listrik suatu batere bernilai sama dengan beda potensial listrik di antara kedua ujung batere apabila tidak ada arus yang mengalir. Apabila ada arus yang mengalir, beda potensial menjadi lebih kecil dari pada ggl ϵ tersebut karena adanya resistansi dalam r pada batere. Bila arus sebesar I mengalir pada resistansi dalam batere r maka turunnya potensial di dalam sumber adalah rI . Jadi, bila tegangan pada kedua ujung batere adalah V sedangkan tegangan pada ggl batere adalah ϵ maka berlaku

$$V = \epsilon - rI$$

Tegangan pada kedua ujung batere sama dengan tegangan ggl batere ϵ dikurangi tegangan akibat resistansi dalam rI . Sehingga apabila sebuah batere dengan ggl ϵ dan memiliki resistansi dalam r dihubungkan dengan resistor luar R maka arus yang mengalir adalah

$$I = \frac{\epsilon}{r + R}$$

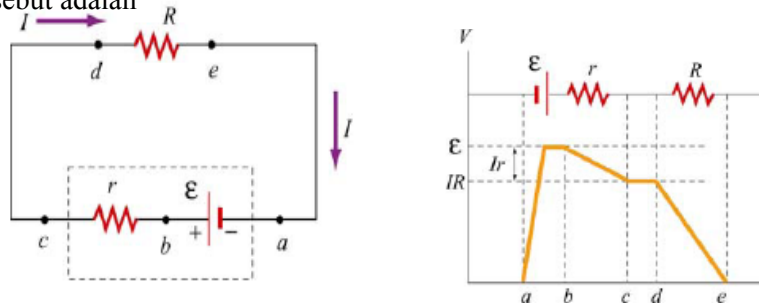


Gambar 14.8 Gambaran komponen suatu batere dalam kaitannya dengan resistansi internal dan resistansi luar R .

Bila tegangan antara kedua ujung batere dengan ggl sebesar ϵ adalah $V_a - V_b$ yang dihubungkan dengan resistor luar R seperti pada gambar

$$V_a - V_b = IR = \epsilon - rI$$

Adapun grafik tegangan untuk komponen komponen dalam rangkaian tersebut adalah



Gambar 14.9 Nilai tegangan di antara komponen batere dalam kaitannya dengan resistansi internal dan resistansi luar R .

Kegiatan:

Untuk lebih memahami penerapan hukum Ohm, cobalah gunakan internet dan kunjungi situs berikut.

<http://www.sciencejoywagon.com/physicszone/otherpub/wfendt/ohmslaw.htm>

Di situs ini kamu dapat melakukan perubahan nilai terhadap salah satu besaran beda potensial V , resistansi R atau nilai arus I . Amati perubahannya. Ulangilah untuk besaran yang berbeda. Untuk dapat menjalankan program tersebut hendaknya komputer yang digunakan berinternet dan sudah diinstal program Java terlebih dahulu.

Contoh Soal 14.3

Suatu resistor 11Ω dihubungkan dengan batere $6 V$ yang memiliki resistansi dalam $r = 1 \Omega$. Tentukan :

- Arus pada rangkaian,
- tegangan pada kedua ujung batere
- daya yang diberikan oleh sumber ggl
- daya yang digunakan untuk resistor luar R
- daya yang hilang akibat adanya resistansi dalam
- jumlah energi batere, bila batere memiliki kemampuan 150 Ampere-jam,

Penyelesaian

- a. Arus yang mengalir pada rangkaian adalah

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R} = \frac{6 V}{(1 + 11)\Omega} = 0,5 A$$

- b. Gunakan nilai arus tersebut untuk menghitung tegangan pada kedua ujung batere

$$V_a - V_b = IR = \mathcal{E} - rI = 6 V - (1 \Omega)(0,5 A) = 5,5 V$$

- c. Daya yang diberikan oleh sumber ggl adalah

$$P = I\mathcal{E} = (0,5 A)(6 V) = 3 VA = 3 \frac{J}{s} = 3 W$$

- d. Daya yang digunakan untuk resistor luar R adalah

$$P = RI^2 = (11 \Omega)(0,5 A)^2 = 2,75 W$$

- e. Daya yang hilang akibat adanya resistansi dalam adalah

$$P = rI^2 = (1 \Omega)(0,5 A)^2 = 0,25 W$$

- f. Jumlah energi yang tersimpan dalam batere adalah

$$W = q\mathcal{E} = (150 \text{ Amp}\cdot\text{jam}) \left(\frac{3600 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Amp}\cdot\text{jam}} \right) (6 V) = 3,24 MJ$$

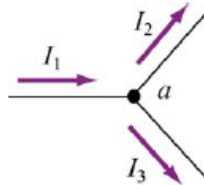
14.4 Hukum Kirchoff

Dalam melakukan analisis rangkaian terdapat dua hukum dasar yaitu hukum kesatu Kirchoff dan hukum kedua Kirchoff.

14.4.1. Hukum Kesatu Kirchoff

Biasa juga dikenal sebagai hukum titik cabang, yang artinya jumlah arus yang masuk suatu titik cabang sama dengan jumlah arus yang keluar titik cabang tersebut. Pengertian ini sama dengan kalau dikatakan bahwa jumlah muatan adalah tetap, tidak ada penambahan ataupun pengurangan muatan selama muatan melewati titik cabang, seperti pada Gambar 14.10.

$$\sum I_{\text{masuk } A} = \sum I_{\text{keluar } A}$$



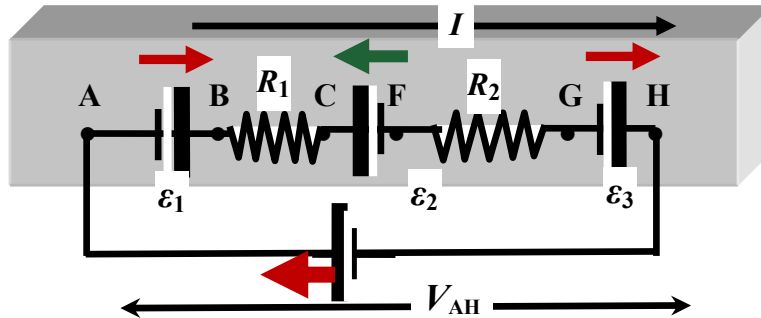
Gambar 14.10 Pada setiap titik cabang berlaku jumlah arus masuk sama dengan jumlah arus keluar.

sehingga di titik cabang A berlaku $I_1 = I_2 + I_3$

14.4.2. Hukum Kedua Kirchoff

Secara matematis, hukum kedua Kirchoff menyatakan bahwa jumlah beda potensial di antara kedua ujung setiap elemen dalam rangkaian tertutup adalah nol.

Penerapan hukum kekekalan energi pada rangkaian arus listrik diberikan oleh hukum kedua Kirchoff. Tinjaulah rangkaian listrik seperti pada Gambar 14.11 yang terdiri atas: Tiga batere \mathcal{E}_1 , \mathcal{E}_2 dan \mathcal{E}_3 disusun seri dengan dua resistor R_1 dan R_2 , kemudian dihubungkan dengan batere luar V_{AB} . Perhatikan arah kutub batere seperti arah anak panah.



Gambar 14.11 Tiga batere ε_1 , ε_2 dan ε_3 disusun seri dengan dua resistor R_1 dan R_2 , kemudian dihubungkan dengan batere luar V_{AH} . Perhatikan arah batere seperti arah anak panah.

Dari rumusan daya pada resistor R yang dilalui arus I adalah I^2R dan daya pada batere ε adalah $I\varepsilon$. maka daya listrik pada keseluruhan rangkaian tersebut adalah memenuhi hukum kekekalan energi (daya). Bahwa daya yang diberikan batere luar V_{AH} sama dengan daya yang dipergunakan pada setiap elemen di dalam rangkaian $A-B-C-F-G-H$

$$IV_{AH} = I(V_{AB} + V_{BC} + V_{CF} + V_{FG} + V_{GH})$$

$$IV_{AH} = -I\varepsilon_1 + I^2R_1 + I\varepsilon_2 + I^2R_2 - I\varepsilon_3$$

$$IV_{AH} = I^2R_1 + I^2R_2 - I\varepsilon_1 + I\varepsilon_2 - I\varepsilon_3$$

$$V_{AH} = IR_1 + IR_2 - (+\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3)$$

Perjanjian yang berlaku untuk arus dan tegangan adalah sebagai berikut

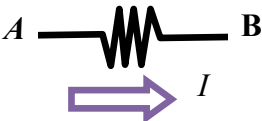
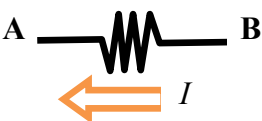
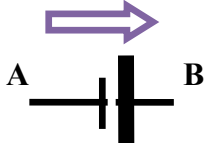
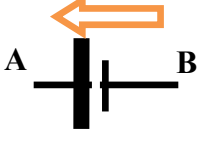
- V_{AH} = bertanda positif, karena arah ggl pada V_{AH} adalah searah dengan arah penelusuran, maka $V_{AH} = IR - \sum \varepsilon = 0 - (-V_{AH})$
- ε_1 = bertanda positif, karena arah batere ε_1 adalah searah dengan arah penelusuran demikian juga ε_3 .
- ε_2 = bertanda negatif, karena arah batere ε_2 adalah berlawanan arah dengan arah penelusuran.

Jadi secara umum, hukum kedua Kirchoff dapat ditulis

$$V_{ab} = \sum_{j=1}^N I_j R_j - \sum_{j=1}^M \varepsilon_j$$

bila di antara titik A dan B, terdapat N buah resistor, dan M buah batere untuk arah penelusuran dari A ke B dan perjanjian tanda bahwa arus atau tegangan bertanda positif bila arah I atau ε searah dengan arah penelusuran. Sebaliknya I atau ε akan bertanda negatif bila arah I atau ε adalah berlawanan dengan arah penelusuran.

Tabel 14.2 Hubungan antara arah penelusuran, arah batere, arah arus dengan pemakaian tanda plus atau minus.

Perjanjian Tanda untuk Arus I	
Arah Penelusuran A ke B	Arah Penelusuran A ke B
Arah arus A ke B	Arah arus A ke B
$V_{ab} = V_a - V_b = +IR$	$V_{ab} = V_a - V_b = -IR$
	
Arus bertanda positif karena searah dengan arah penelusuran.	Arus bertanda negatif karena berlawanan dengan arah penelusuran.
Perjanjian Tanda untuk Batere ε	
Arah Penelusuran A ke B	Arah Penelusuran A ke B
Arah tegangan A ke B	Arah tegangan B ke A
$V_{ab} = V_a - V_b = +\varepsilon$	$V_{ab} = V_a - V_b = -\varepsilon$
	
Batere ε bertanda positif karena searah dengan arah penelusuran.	Batere ε bertanda negatif karena berlawanan dengan arah penelusuran.

Tampak bila arus atau tegangan melawan arah penelusuran, maka beda tegangan di antara kedua ujung adalah negatif. Dan sebaliknya, bilangan arah arus maupun tegangan searah dengan arah penelusuran maka nilai beda tegangan di antara kedua ujung adalah positif.

Selanjutnya kita tinjau pemakaian hukum pertama dan kedua Kirrhoff untuk menghitung besar arus pada suatu cabang dan beda tegangan atau beda potensial di antara dua titik pada rangkaian listrik.

14.5 Sambungan Resistor

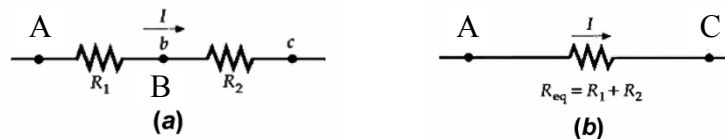
Dalam rangkaian sederhana yang dicirikan dengan adanya sambungan dari beberapa komponen sejenis, sering kali menjadi lebih mudah bila dilakukan penggabungan terhadap komponen sejenis tersebut. Hal ini berlaku pula untuk resistor. Terdapat dua tipe sambungan resistor yaitu sambungan seri dan sambungan paralel.

Dalam menganalisis rangkaian listrik sederhana hal hal yang perlu dilakukan adalah

- Kelompokkan resistor-resistor yang tersambung secara seri dan paralel.
- Lakukan penyederhanaan rangkaian dengan mengganti kelompok resistor tersebut dengan resistor pengganti atau resistansi ekuivalennya.
- Bila masih terdapat beberapa resistor dalam satu cabang upayakan agar tergantikan dengan satu resistor pengganti. Ulangi langkah tersebut sampai hanya ada resistor pengganti dalam setiap cabang.

14.5.1 Sambungan Seri

Tinjau rangkaian dua resistor yang disambung secara seri kemudian dihubungkan dengan batere dengan ggl sebesar ε yang resistansi dalamnya dapat diabaikan seperti pada Gambar 10.12.



Gambar 14.12 (a) Gambaran secara sederhana dua resistor R_1 dan R_2 disambungkan seri dan dilalui arus I . (b) Resistansi ekuivalen atau resistansi pengganti menyatakan semua arus dalam rangkaian seri adalah sama.

Sesuai dengan hukum Ohm $V = IR$ maka berlaku

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc}$$

Arus yang melalui R_1 dan R_2 sama besar, karena jumlah muatan yang melewati suatu alur tertentu haruslah besarnya konstan.

$$V_{ac} = IR_{ab} + IR_{bc} = I(R_{ab} + R_{bc}) = IR_{\text{seri}}$$

$$R_{ac} = R_{ab} + R_{bc}$$

atau bila dalam rangkaian terdapat dua resistor R_1 dan R_2 yang disambung seri maka resistansi ekuivalen atau resistansi total adalah

$$R_{\text{seri}} = R_1 + R_2$$

Kegiatan:

Rangkailah sebuah bohlam lampu senter dengan batere dan amatilah terang dari nyala lampu tersebut. Ulangi lagi hal tersebut dengan menggunakan dua bohlam lampu yang diserikan, bandingkan terangnya nyala kedua lampu ini dengan apabila hanya satu lampu. Mengapa hal ini terjadi, diskusikanlah dengan temanmu.

Latihan :

Suatu batere sebagai sumber arus searah yang memiliki ggl $\varepsilon = 3$ volt dengan resistansi dalam $r = 0,48 \Omega$ yang kemudian dihubungkan seri dengan bohlam lampu senter dengan karakteristik 250 mW apabila dikenai tegangan 3 volt.. Tentukan resistansi bohlam lampu senter tersebut. [Gunakan hukum Ohm $V = IR$ sehingga daya $P = IV = \frac{V^2}{R}$]

14.5.2 Sambungan Paralel

Tinjau dua resistor yang dihubungkan sejajar kemudian dihubungkan dengan batere yang memiliki beda potensial di antara kedua ujung adalah ΔV . Misalkan arus searah yang keluar dari kutub positif batere adalah I menuju ke R_1 dan R_2 lewat titik A yang kemudian bertemu kembali di titik B yang besar arus masing masing secara berturut-turut adalah I_1 dan I_2 seperti pada Gambar 14.13 (a).

Dengan prinsip jumlah muatan yang masuk harus sama dengan yang keluar di A ataupun B, sehingga kedua resistor dapat digabung seperti Gambar 14.13 (b).

$$I = I_1 + I_2$$

Berlaku hukum Ohm pada tiap cabang

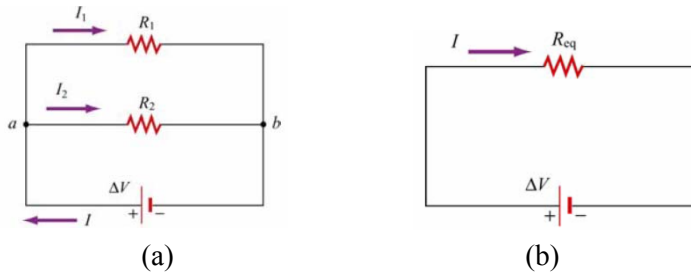
$$\frac{\Delta V}{R_{\text{par}}} = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2}$$

karena $\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2$

$$\frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

sehingga jika terdapat N resistor yang disambungkan paralel maka resistansi ekivalennya adalah:

$$\frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_N} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{R_j}$$



Gambar 14.13 (a) Gambaran sederhana dua resistor R_1 dan R_2 disambungkan paralel dan arus I dari baterai ϵ , terpecah menjadi I_1 dan I_2 . (b) Resistansi ekivalen atau pengganti pada sambungan paralel menyatakan bahwa semua sambungan paralel memiliki beda potensial yang sama.

Kegiatan:

Rangkailah sebuah bohlam lampu senter dengan baterai dan amatilah terang dari nyala lampu tersebut. Ulangi lagi hal tersebut dengan menggunakan dua bohlam lampu yang diparalelkan, bandingkan terangnya nyala kedua lampu ini dengan apabila hanya satu lampu. Mengapa hal ini terjadi, diskusikanlah dengan temanmu.

Latihan :

Suatu baterai sebagai sumber arus searah yang memiliki ggl $\epsilon = 3$ volt dengan resistansi dalam $r = 0,48 \Omega$ yang kemudian dihubungkan seri dengan empat bohlam lampu senter yang disambungkan paralel dengan karakteristik 250 mW apabila dikenai tegangan 3 volt.. Tentukan resistansi bohlam lampu senter tersebut. [Gunakan hukum Ohm $V = IR$

dan $\frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$ sehingga daya $P = IV = \frac{V^2}{R_{\text{par}}}$]

Berikut adalah contoh berbagai bentuk resistor .

Gambar 14.14 Berbagai bentuk dan ukuran resistor, sesuai keperluan, kebanyakan rangkaian elektronika menggunakan resistor karbon. Berbentuk



silindris kecil terbuat dari karbon, dan kedua kakinya keluar dari kedua ujung resistor. Biasanya nilai resistansi ditampakkkan sebagai urutan warna cat.

Gambar 14.15 Suatu resistor daya, biasanya berbentuk lebih panjang terbuat kawat tebal yang digulung pada tabung keramik agar dapat melewati arus yang besar tanpa melelehkan resistor. Arus yang besar tentu menghasilkan panas yang besar pula.



Gambar 14.16 Resistor pelat karbon merupakan resistor daya yang dibuat khusus untuk mampu melewatkan arus yang besar karena terdiri atas pelat karbon yang disusun berderet. Bila susunan rapat maka lebih banyak titik kontak di antara pelat karbon. Jadi panjang resistor ini konstan, tetapi luas permukaan kontak yang dapat diubah-ubah sesuai yang dibutuhkan.



Gambar 14.17 Resistor pelat karbon yang terhubung dengan penguat suara. Resistor ini berfungsi mengatur kuat lemahnya suara dari penguat suara.



Gambar 14.18 Resistor gulungan kawat yang disebut rheostats, terbuat dari kawat panjang digulung membentuk *loop*. Nilai resistansi bergantung pada rumusan

$$\text{Resistansi} = \frac{(\text{Resistivitas})(\text{Panjang})}{\text{Luas}}$$



Tampak ada yang berbentuk mirip donat, misalkan untuk pengatur volume radio analog (non digital).

Kegiatan:

Carilah batere yang dapat diisi ulang. Misalkan batere yang diperoleh adalah Batere 1,2V seperti gambar berikut dan pada batere terdapat petunjuk 1800 miliAmpere-jam (mAh). Carilah penjelasan cara kerja batere tersebut. Kemudian diskusikan dengan kawan kawanmu. Selanjutnya tentukan energi maksimum yang dapat disimpan dalam batere tersebut.

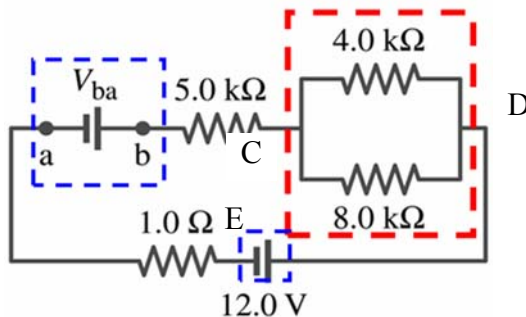


Penjelasan :

Ampere-jam adalah satuan untuk besar muatan yang dapat disimpan dalam batere.

Contoh Soal 14.4

Arus mengalir melalui resistor $4\text{ k}\Omega$ adalah 3.50 mA . Berapakah tegangan di antara kedua ujung ba (V_{ba}) ?

**Penyelesaian**

- a. Buat loop seperti pada gambar. Dua resistor paralel di antara titik CD diganti dengan nilai penggantinya yaitu

$$\frac{1}{R_{cd}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} = \frac{3}{8}$$

- b. Karena arus mengalir melalui resistor $4\text{ k}\Omega$ adalah 3.50 mA , sehingga beda potensial di antara titik cd adalah

$$V_{CD} = I_{CD} R_{CD} = I_{4k\Omega} R_{4k\Omega} = (3,5 \times 10^{-3} \text{ A})(4 \times 10^3 \Omega) = 14 \text{ volt}$$

Karena paralel maka berlaku

$$V_{CD} = V_{4k\Omega} = V_{8k\Omega}$$

$$V_{CD} = I_{8k\Omega} R_{8k\Omega} = 14 \text{ volt} = I_{8k\Omega} (8 \times 10^3 \Omega) = 14 \text{ volt}$$

$$I_{8k\Omega} = \frac{14 \text{ volt}}{(8 \times 10^3 \Omega)} = 1,75 \text{ mA}$$

$$I = I_{\text{tot}} = I_{4k\Omega} + I_{8k\Omega} = 3,5 \text{ mA} + 1,75 \text{ mA} = 5,25 \text{ mA}$$

untuk I adalah arus pada rangkaian untuk *loop* tertutup *abcd*.

- c. Gunakan hukum kedua Kirchhoff pada *loop* tertutup yang intinya adalah jumlah beda potensial dalam rangkaian tertutup harus nol.

$$V_{\text{abcd}} = \sum I_s R_s - \sum \mathcal{E}_s$$

$$I(R_{bc} + R_{cd} + R_{da}) - (-12 + V_{ba}) = 0$$

$$I(5 + 2,67 + 1) \times 10^3 \Omega = (-12 + V_{ba})$$

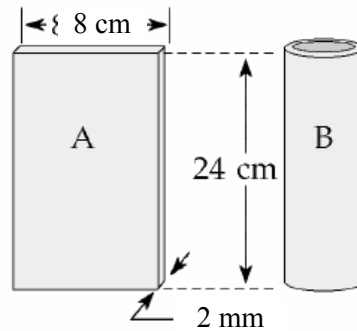
$$(5,25 \times 10^{-3} \text{ A})(8,67 \times 10^3 \Omega) = (-12 + V_{ba})$$

$$45,5 = (-12 + V_{ab})$$

$$V_{BA} = \boxed{57,5 \text{ volt}}$$

Contoh Soal 14.5

- a. Keping tembaga (resistivitas $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$) memiliki rapat masa $8,92 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ dengan ketebalan 2 mm dan ukuran permukaan 8 cm \times 24 cm. Jika kedua tepi panjang tersebut digulung hingga membentuk seperti tabung yang panjangnya 24 cm, seperti tampak dalam gambar berikut. Berapakah resistansi di antara kedua ujung.



- b. Berapakah massa tembaga yang diperlukan untuk menghasilkan gulungan kabel tembaga dengan resistansi total 4,5 Ω .

Penyelesaian :

- a. Apabila bagian tepi panjangnya keping tembaga (A) digabungkan sepanjang 24 cm sehingga membentuk silinder berrongga (B) dengan keliling sepanjang 8 cm panjang 24 cm dan tebalnya 2 mm. Luas penampang lintang adalah sama dengan luas bagian atas silinder, yaitu

$$A = (2 \times 10^{-2} \text{ m})(8 \times 10^{-2} \text{ m}) = 1,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Resistivitas tembaga adalah $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, sehingga resistansi di antara kedua ujung silinder berrongga adalah

$$R = \frac{\rho L}{A} = (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \left(\frac{24 \times 10^{-2} \text{ m}}{1,6 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \right) = 2,6 \times 10^{-5} \Omega$$

- b. Suatu kabel tembaga silinder padat yang panjang 1500 m memiliki resistansi 4,5 Ω . Volume tembaga yang diperlukan adalah

$$\text{Vol} = AL$$

gunakan

$$A = \frac{\text{Vol}}{L}$$

untuk

$$\text{Vol} = \frac{\text{massa}}{\text{rapat massa}} = \frac{m}{8,92 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L^2}{\text{Vol}}$$

$$m = \rho L^2 \left(\frac{\text{rapat massa}}{R} \right)$$

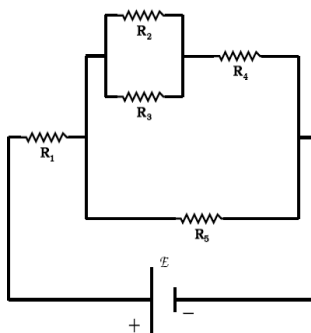
$$= (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m})(1500 \text{ m})^2 \left(\frac{8,92 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{4,5 \Omega} \right) = 76 \text{ kg}$$

adalah massa tembaga yang diperlukan untuk membuat kabel tembaga dengan spesifikasi resistansi total 4,5 Ω .

Contoh Soal 14.6

Diketahui lima buah resistor dirangkai seperti gambar, untuk $R_1 = 3 \Omega$; $R_2 = 10 \Omega$; $R_3 = 5 \Omega$; $R_4 = 4 \Omega$; dan $R_5 = 3 \Omega$;

- tentukan resistansi ekivalen (resistansi pengganti)
- tentukan gaya gerak listrik (ggl) batere bila daya listrik total pada rangkaian adalah 400 W.



Penyelesaian :

Hasil Paralel R_2 dan R_3 memberikan

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{10} + \frac{1}{5} = \frac{3}{10}$$

Serikan R_{23} dengan R_4 menghasilkan

$$R_{234} = R_{23} + R_4 = \frac{10}{3} + 4 = \frac{22}{3} = 7,33 \Omega$$

Paralelkan R_{234} dengan R_5 didapat

$$\frac{1}{R_{2345}} = \frac{1}{R_{234}} + \frac{1}{R_5}$$

$$\frac{1}{R_{2345}} = \frac{3}{22} + \frac{1}{3} = \frac{9 + 22}{66} = \frac{31}{66}$$

$$R_{2345} = \frac{66}{31} \Omega$$

Akhirnya serikan R_{2345} dengan R_1 sehingga diperoleh

$$R_{\text{total}} = R_{2345} + R_1 = \left(\frac{66}{31} + 3\right) \Omega = \left(\frac{66 + 93}{31}\right) \Omega = \frac{159}{31} \Omega = \boxed{5,13 \Omega}$$

Daya total pada rangkaian adalah

$$P = I \times V = I \times \varepsilon = I^2 \times R_{\text{total}} = 400 \text{ W}$$

untuk ε adalah gaya gerak listrik (ggl) batere, dan gunakan hukum Ohm sehingga

$$I = \frac{V}{R} = \frac{\varepsilon}{R}$$

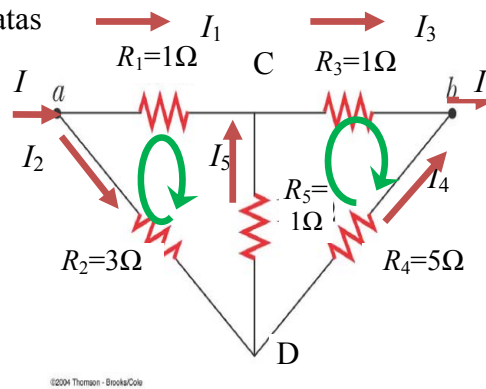
$$I = \sqrt{\frac{P}{R_{\text{total}}}} = \sqrt{\frac{400 \text{ W}}{5,13 \Omega}} = 8,83 \text{ A}$$

Atau

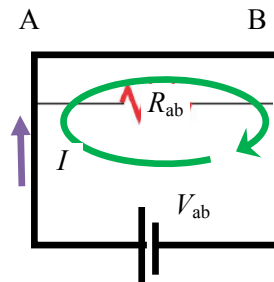
$$\varepsilon = I \times R_{\text{total}} = (8,83 \text{ A})(5,13 \Omega) = 45,3 \text{ V}$$

Contoh Soal 14.7

Tinjau rangkaian ter-diri atas lima resistor yang disambung se-perti pada gambar disamping. Diketahui $R_1 = R_3 = R_5 = 1 \Omega$; $R_2 = 3 \Omega$; dan $R_4 = 5 \Omega$. Tentukan resistansi total rangkaian (R_{ab}).



Penyelesaian:



Misal resistansi total R_{ab} dan terhubung dengan batere ε , maka dapat digambarkan seperti gambar disamping.

Gunakan metode arus cabang. Buat arus cabang I_1, I_2, I_3, I_4 dan I_5 .

Pada titik (A) berlaku

$$I = I_1 + I_2 \quad (1)$$

Pada titik (B) berlaku

$$I = I_3 + I_4 \quad (2)$$

Pada titik (C) berlaku

$$I_3 = I_1 + I_5 \quad (3)$$

Pada titik (D) berlaku

$$I_2 = I_4 + I_5 \quad (4)$$

Buat dua buah *loop* dengan arah searah jarum jam, yaitu *loop* kiri (1) *acda* dan *loop* kanan (2) *cbdc*. Gunakan hukum kedua Kirchhoff untuk kedua *loop* yaitu

$$\begin{aligned} \text{loop (1)} \quad V_{acda} &= \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s \\ 0 &= I_1 R_1 - I_5 R_5 - I_2 R_2 \\ 0 &= I_1 - I_5 - 3I_2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{loop (2)} \quad V_{cbdc} &= \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s \\ 0 &= I_3 R_3 - I_4 R_4 + I_5 R_5 \\ 0 &= I_3 + I_5 - 5I_4 \end{aligned} \quad (6)$$

Substitusikan I_5 dari persamaan (3) ke (5) sehingga

$$\begin{aligned} 0 &= I_1 - (I_3 - I_1) - 3I_2 \\ I_1 &= 1,5 I_2 + 0,5 I_3 \end{aligned} \quad (5)$$

Gabungkan persamaan (1) dan (2) didapat

$$I_1 = -I_2 + I_3 + I_4 \quad (6)$$

Gabungkan persamaan (5) dan (6) didapat

$$\begin{aligned} 1,5 I_2 + 0,5 I_3 &= -I_2 + I_3 + I_4 \\ 0 &= -2,5 I_2 + 0,5 I_3 + I_4 \end{aligned} \quad (7)$$

Substitusikan I_5 dari persamaan (4) ke (6)

$$\begin{aligned} 0 &= I_3 + (I_2 - I_4) - 5I_4 \\ I_2 &= 6 I_4 - I_3 \end{aligned} \quad (8)$$

Substitusikan I_5 dari persamaan (8) ke (7)

$$0 = -2,5 (6 I_4 - I_3) + 0,5 I_3 + I_4$$

$$0 = 14 I_4 - 3 I_3$$

$$I_3 = (14/3) I_4 \quad (9)$$

Substitusikan I_3 dari persamaan (9) ke (8)

$$I_2 = 6 I_4 - (14/3) I_4$$

$$I_2 = (4/3) I_4 \quad (10)$$

Substitusikan I_3 dari persamaan (9) ke (2)

$$I = (14/3) I_4 + I_4 = (17/3) I_4$$

karena $I = V/R$

maka

$$\frac{V}{R} = \frac{17}{3} I_4 \quad (11)$$

Dari hubungan seri dan substitusikan I_4 dari persamaan (10)

$$V = V_{ab} = V_{ad} + V_{db}$$

$$= I_2 R_2 + I_4 R_4$$

$$= 3 I_2 + 5 I_4$$

$$= 3 (4/3) I_4 + 5 I_4 = 9 I_4 \quad (12)$$

Dari (1) dan (12)

$$\frac{V}{R} = \frac{17}{3} I_4 = 9 \frac{I_4}{R}$$

Jadi

$$R = \boxed{\frac{27}{17} \Omega}$$

Contoh Soal 14.8

Tinjau rangkaian listrik yang terdiri atas dua batere $\epsilon_1 = 12 \text{ V}$ dan $\epsilon_2 = 5 \text{ V}$, serta tiga resistor yaitu $R_1 = 4\Omega$; $R_2 = 2\Omega$ dan $R_3 = 3\Omega$. Hitunglah

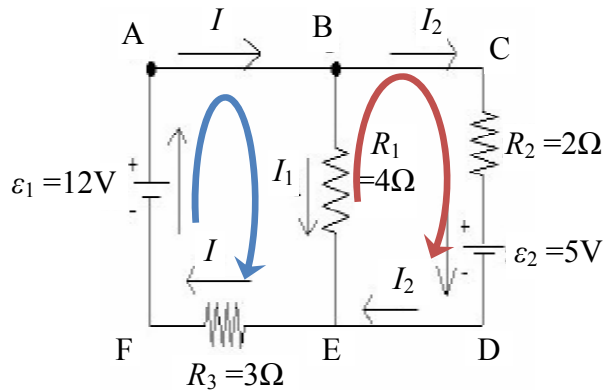
- Arus pada masing masing cabang, dengan menggunakan metode arus cabang.
- Beda potensial di antara be ; cd dan ef
- Lakukan penyelesaian yang sama menggunakan arus *loop*.

Penyelesaian :

- Dengan menggunakan hukum pertama Kirchhoff bahwa pada suatu titik cabang maka jumlah arus masuk sama dengan jumlah arus keluar sehingga di titik B berlaku $I = I_1 + I_2$

Selanjutnya gunakan hukum kedua Kirchhoff untuk *loop* kiri dan *loop* kanan. Gunakan arah *loop* dan arah penelusuran yang sama yaitu searah jarum jam, sehingga

$$V_{fabef} = 0 = \sum IR - \sum \varepsilon$$



Tinjau loop kiri *fabef*: $+ I_1 R_1 + IR_3 - \varepsilon_1 = 0$
 Tinjau loop kanan *cdebc*: $+ I_2 R_2 - I_1 R_1 - (-\varepsilon_2) = 0$
 Substitusikan I dengan $I_1 + I_2$ maka persamaan pada B dan C dapat ditulis

$$+ 4 I_1 + 3(I_1 + I_2) - 12 = 0 \quad (1)$$

$$+ 2 I_2 - 4 I_1 + 5 = 0 \quad (2)$$

$$I = I_1 + I_2 \quad (3)$$

$$\text{persamaan (1) } \times 2 \quad + 8I_1 + 6(I_1 + I_2) - 24 = 0$$

$$\text{persamaan (2) } \times 3 \quad + 6I_2 - 12I_1 + 15 = 0$$

$$+ 26I_1 - 39 = 0$$

kurangkan kedua persamaan tersebut maka diperoleh $I_1 = 1,5\text{A}$;

substitusikan I_1 tersebut ke persamaan (2) didapat

$$+ 2 I_2 - 4 (1,5\text{A}) + 5 = 0$$

$$+ 2 I_2 = 1 \quad \text{atau} \quad I_2 = 0,5\text{A}.$$

Gunakan persamaan (3) $I = I_1 + I_2$ didapat $I = 1,5 + 0,5 = 2\text{ A}$

$$V_{be} = I_1 R_1 = (1,5\text{A}) \times (4\ \Omega) = 6\text{ V};$$

Untuk menghitung V_{cd} gunakan hukum kedua Kirchhoff

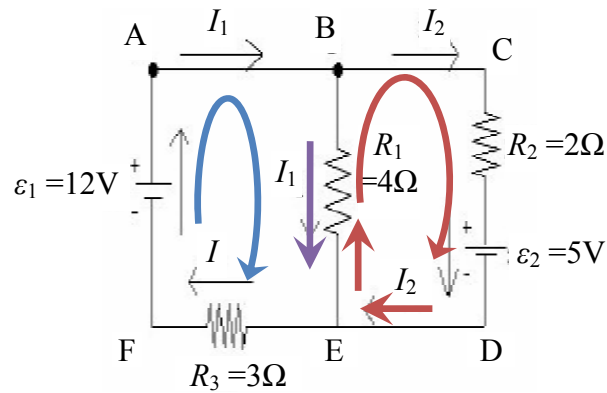
$$V_{cd} = \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s$$

$$V_{cd} = I_2 R_2 - (-\varepsilon_2) = (0,5\text{ A})(2\ \Omega) + 5 = 6\text{ V}$$

$$V_{ef} = IR_3 = (2\text{ A}) \times (3\ \Omega) = 6\text{ V}$$

Penyelesaian : Menggunakan Arus Loop

Buat loop 1 dan loop 2 sama dengan cara arus cabang. Namun, di sini hanya ada dua arus, yaitu arus loop 1 = I_1 dan arus loop 2 = I_2 . Pilih arah arus loop sama dengan arah penelusuran yaitu searah jarum jam.



Perbedaan utama yaitu untuk arus pada cabang be bukan lagi I_1 tetapi

$$I_{be} = I_1 - I_2$$

Hukum kedua Kirchhoff $V_{abefa} = 0 = \sum IR - \sum \epsilon$

$$\text{Loop 1: } abefa \quad + I_1 (R_1 + R_3) - I_2 R_1 - \epsilon_1 = 0$$

$$\text{Loop 2: } cdebc \quad I_2 (R_1 + R_2) - I_1 R_1 - (-\epsilon_2) = 0$$

Masukan nilai resistornya sehingga

$$+ I_1 (R_1 + R_3) - I_2 R_1 - \epsilon_1 = 0$$

$$+ 7I_1 - 4I_2 - 12 = 0$$

(1)

dan

$$I_2 (R_1 + R_2) - I_1 R_1 - (-\epsilon_2) = 0$$

$$6I_2 - 4I_1 + 5 = 0$$

(2)

Hilangkan I_2 dengan menambah Pers. (1)×3 dengan (1)×3

$$+ 21I_1 - 12I_2 - 36 = 0 \quad (1) \times 3$$

$$\frac{12I_2 - 8I_1 + 10 = 0}{13I_1 = 26 \text{ A}} \quad + \quad (2) \times 2$$

$$\text{Jadi } I_1 = \boxed{2 \text{ A}}$$

Substitusikan I_1 ke (1)

$$+ 7I_1 - 4I_2 - 12 = 0$$

$$14 - 4I_2 - 12 = 0$$

Jadi $I_2 = \boxed{0,5 \text{ A}}$

Arus pada cabang be adalah

$$I_{BE} = I_1 - I_2 = (2 - 0,5) \text{ A} = 1,5 \text{ A}$$

Untuk menentukan beda potensial antara dua titik gunakan

hukum kedua Kirchhoff $V_{BE} = \sum I R - \sum \epsilon$

$$V_{BE} = I_1 R_1 = (1,5 \text{ A}) \times (4 \Omega) = 6 \text{ volt}$$

$$V_{EF} = I_1 R_3 = (2 \text{ A}) \times (3 \Omega) = 6 \text{ volt}$$

Dengan ini pula terbukti bahwa

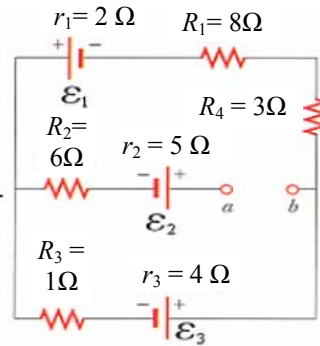
$$V_{AF} = V_{AB} + V_{BE} + V_{EF} = 0 + 6 \text{ volt} + 6 \text{ volt}$$

yaitu $V_{AF} = \epsilon_1 = 12 \text{ volt}$.

Contoh Soal 14.9

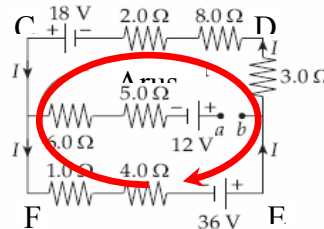
Rangkaian listrik terdiri atas tiga batere $\epsilon_1 = 18\text{V}$; $\epsilon_2 = 12\text{V}$; $\epsilon_3 = 36\text{V}$ yang masing masing memiliki hambatan dalam $r_1 = 2\Omega$; $r_2 = 5\Omega$; $r_3 = 4\Omega$ yang selanjutnya dirangkai dengan empat resistor $R_1 = 8\Omega$; $R_2 = 6\Omega$; $R_3 = 1\Omega$; $R_4 = 3\Omega$. Hitunglah :

- Arus yang melewati R_1
- Arus yang melewati R_2
- Arus yang melewati R_3
- Beda potensial antara titik A dan B



Penyelesaian :

Rangkaian diatas dapat digambar ulang sebagai berikut. Resistansi internal batere digambarkan di luar batere. Buat *loop* dengan arah searah jarum jam seperti arah penelusuran Arus *loop* dimisalkan dalam arah kebalikan arah jarum jam.



Karena cabang tengah dari rangkaian tersebut tidak kontinu maka tidak dilewati arus listrik. Gunakan hukum kedua Kirchhoff untuk *loop* rangkaian bagian luar. Ambil arah penelusuran adalah kebalikan arah

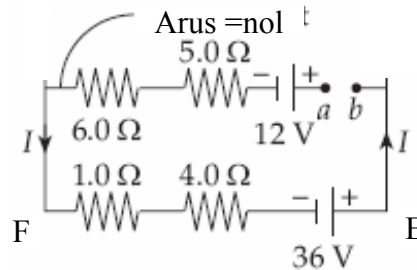
jarum jam. Sehingga arus I bertanda positif yaitu searah dengan arah penelusuran.

Sedangkan batere $\epsilon_1 = 18\text{V}$ dan $\epsilon_3 = 36\text{V}$ bertanda negatif karena berlawanan dengan arah penelusuran yaitu kebalikan arah jarum jam.

$$\begin{aligned} V_{CDEF} &= V_C - V_C = 0 = \sum I_s R_s - \sum \epsilon_s \\ I(1 + 4 + 3 + 8 + 2) - (-18 - 36) &= 0 \\ I &= (54/18) \text{ A} = 3\text{A} \end{aligned}$$

Jadi, arus yang melewati R_1 sama dengan arus yang melewati R_3 yaitu 3A. Sedangkan arus yang melewati R_2 adalah nol karena rangkaian terputus di antara titik A dan B.

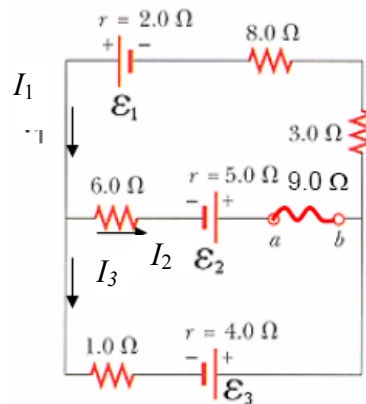
Selanjutnya lakukan penelusuran sesuai arah *afeb* yaitu dari titik A ke arah kebalikan arah jarum jam melalui rangkaian bagian bawah menuju ke B. Gunakan hukum kedua Kirchoff yaitu



Bila antara titik A dan B diberikan resistansi sebesar $9\ \Omega$, tentukan arus pada setiap cabang dengan menggunakan metode arus cabang.

Penyelesaian ::

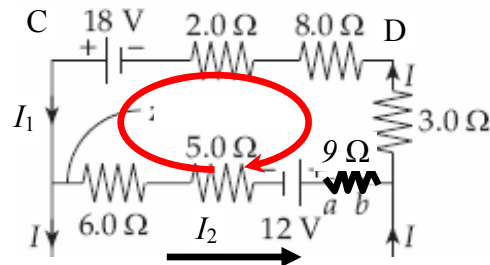
Gunakan hukum kedua Kirchoff untuk kedua *loop*. Tinjau *loop* atas (*loop* 1), lakukan penelusuran dengan arah sejajar dari A kembali ke A, pilih arah arus pada *loop* 1 kebalikan arah jarum jam, seperti pada gambar.



Secara lebih mudah dapat digambar sebagai berikut

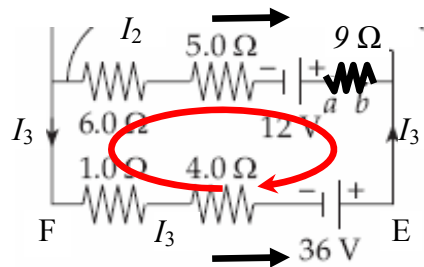
Yang memberikan persamaan

$$\begin{aligned}
 V_{ACDBA} = 0 &= \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s \\
 0 &= -I_1(2 + 8 + 3) - I_2(9 + 5 + 6) - (-\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \\
 I_1(2 + 8 + 3) + I_2(9 + 5 + 6) &= -(-18 - 12) \\
 13I_1 + 20I_2 &= 30
 \end{aligned} \tag{1}$$



Dengan cara yang sama dilakukan untuk *loop* bawah (kedua) memberikan persamaan

$$\begin{aligned}
 V_{ABEFA} = 0 &= \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s \\
 0 &= +I_2(9 + 5 + 6) - I_3(1 + 4) - (12 - 36) \\
 0 &= +20I_2 - 5I_3 + 24
 \end{aligned} \tag{2}$$



Hilangkan I_2 dengan mengurangi $(1) \times 1$ dengan $(2) \times 1$

$$13I_1 + 20I_2 = 30 \tag{1}$$

$$\underline{+20I_2 - 5I_3 = -24} \quad -$$

$$+13I_1 + 5I_3 = 54 \tag{3}$$

Dari Hukum Kesatu Kirchoff di titik cabang berlaku

$$I_1 = I_2 + I_3 \tag{4}$$

Substitusikan (4) ke Persamaan (3) sehingga

$$\begin{aligned} +13(I_2 + I_3) + 5I_3 &= 54 \\ +13I_2 + 18I_3 &= 54 \end{aligned} \quad (5)$$

Hilangkan I_3 dengan menambahkan (5) \times 5 dengan (3) \times 18

$$\begin{aligned} 65I_2 + 90I_3 &= 270 \\ 360I_2 - 90I_3 &= -432 \quad + \end{aligned}$$

$$\text{Jadi } I_2 = -(162/425) \text{ A} = \boxed{-0,38 \text{ A}} \quad (6)$$

Substitusikan (6) ke (1) didapat

$$\begin{aligned} 13I_1 + 20I_2 &= 30 \\ 13I_1 + 20(-0,38 \text{ A}) &= 30 \\ I_1 &= \frac{30(0,38 \text{ A}) + 30}{13} = \boxed{2,89 \text{ A}} \end{aligned} \quad (7)$$

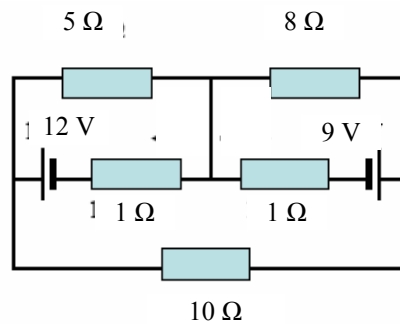
Jadi $I_1 = 2,89 \text{ A}$

Substitusikan (7) ke (3) didapat

$$\begin{aligned} +13I_1 + 5I_3 &= 54 \\ +13(2,89 \text{ A}) + 5I_3 &= 54 \\ I_3 &= \frac{54 - 13(2,89 \text{ A})}{5} = \boxed{3,28 \text{ A}} \end{aligned}$$

Contoh Soal 14.10

Rangkaian arus searah terdiri atas dua baterai $\varepsilon_1 = 12\text{V}$; $\varepsilon_2 = 9\text{V}$ dan lima resistor yang dirangkai seperti pada gambar. Tentukan besar arus pada cabang yaitu I_1 , I_2 dan I_3 .



Penyelesaian :

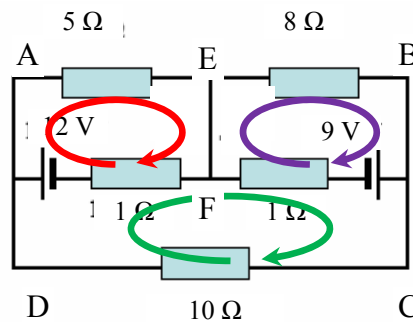
Buat tiga *loop* dengan arah searah

Gunakan hukum kedua Kirchhoff untuk masing-masing *loop*.

Untuk *loop* 1, sehingga didapat

$$V_{\text{aefa}} = 0 = \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s$$

$$6I_1 - I_3 = 12 \quad (1)$$



Untuk *loop* kedua

$$\begin{aligned} V_{\text{ebfe}} = 0 &= \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s \\ (8 + 1)I_2 - I_3 &= -9 \\ 9I_2 - I_3 &= -9 \end{aligned} \quad (2)$$

Untuk *loop* ketiga

$$\begin{aligned} V_{\text{fcdi}} = 0 &= \sum I_s R_s - \sum \varepsilon_s \\ (1 + 1 + 10)I_3 - I_1 - I_2 &= 9 - 12 \\ 12I_3 - I_1 - I_2 &= -3 \end{aligned} \quad (3)$$

Langkah berikutnya adalah menghilangkan I_3 dengan cara mengurangkan persamaan (1) dengan persamaan (2)

$$6I_1 - I_3 = 12 \quad (1)$$

$$\underline{9I_2 - I_3 = -9} \quad (2)$$

$$6I_1 - 9I_2 = 21$$

atau

$$2I_1 - 3I_2 = 7 \quad (4)$$

Hal yang sama dilakukan dengan cara mengurangkan persamaan (1) yang telah dikalikan dengan 12 terhadap persamaan (3)

$$72I_1 - 12I_3 = 144 \quad (1) \times 12$$

$$\underline{12I_3 - I_1 - I_2 = -3} \quad + \quad (3)$$

$$71I_1 - I_2 = 141$$

atau

$$I_2 = 71 I_1 - 141 \quad (5)$$

Selanjutnya, substitusikan I_2 dari persamaan (5) ke (4) didapat

$$2I_1 - 3I_2 = 7 \quad (4)$$

$$2 I_1 - 3(71 I_1 - 141) = 7$$

$$2 I_1 - 213 I_1 = -416$$

Jadi $I_a = I_1 = 416/211 \text{ A} = \boxed{1,97 \text{ A}}$

adalah arus yang lewat titik A. Substitusikan I_1 ke (3) didapat

$$I_2 = 71 I_1 - 141$$

$$I_2 = 71(416/211 \text{ A}) - 141 \text{ A} =$$

Jadi $I_b = I_2 = \boxed{-1,02 \text{ A}}$

Tanda (-) menyatakan bahwa arah I_b adalah kebalikan arah jarum jam.

Arus I_3 didapat dengan substitusikan I_1 ke (1) sehingga

$$6I_1 - I_3 = 12$$

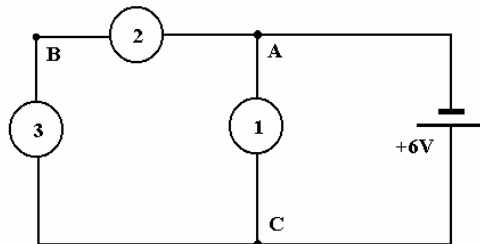
$$6(416/211 \text{ A}) - I_3 = 12$$

$$\text{Jadi } I_c = I_3 = \boxed{-0,17 \text{ A}}$$

Tanda (-) menyatakan bahwa arah I_c adalah kebalikan arah jarum jam.

Contoh Soal 14.11

Tiga buah lampu bohlam masing masing dengan resistansi $R = 15 \Omega$.
dihubungkan sebuah batere $\varepsilon = 6 \text{ V}$.



- Tentukan resistansi ekuivalen (hambatan pengganti) untuk ketiga lampu bohlam.
- Tentukan arus dari batere
- Bila kecerahan lampu sebanding dengan daya pada resistor yaitu IR^2 , jelaskan lampu bohlam mana yang paling terang nyalanya

Penyelesaian :

Serikan resistor R_2 dan R_3 , didapat

$$R_{23} = R_2 + R_3 = 30 \Omega$$

Kemudian hasil gabungan tersebut paralelkan dengan R_1 yaitu

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{30} + \frac{1}{15} = \frac{1}{10}$$

Jadi nilai resistansi ekuivalen (hambatan pengganti) ketiga lampu bohlam tersebut adalah 10Ω .

Arus daya batere adalah

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{\text{tot}}} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ A}$$

Gunakan prinsip dasar bahwa pada sambungan paralel maka nilai tegangannya adalah sama besar, gabungkan dengan hukum Ohm $V = IR$. Untuk kasus ini, berlaku tegangan paralel

$$V_1 = V_{23} = \mathcal{E} = 6V$$

atau

$$I_1 \times R_1 = I_{23} \times R_{23} = 6V$$

sehingga

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{\mathcal{E}}{R_1} = \frac{6}{15} = 0,4A$$

$$I_{23} = \frac{V_{23}}{R_{23}} = \frac{\mathcal{E}}{R_{23}} = \frac{6}{30} = 0,2V$$

Terlihat bahwa besarnya I_1 dua kali lebih besar dibandingkan dengan I_{23} .

Karena terangnya sebuah lampu bergantung pada daya $P = RI^2$

Sehingga daya lampu dengan resistor R_1 adalah

$$P_1 = (I_1)^2 \times R_1 = (0,4)^2 \times 15 = 2,4J$$

daya lampu dengan resistor R_2 adalah

$$P_2 = (I_{23})^2 \times R_2 = (0,2)^2 \times 15 = 0,6J$$

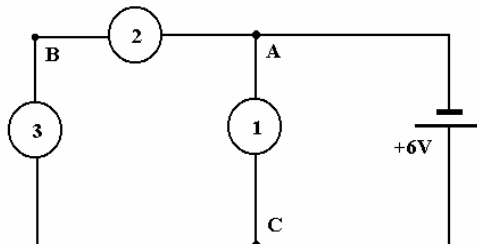
daya lampu dengan resistor R_3 adalah

$$P_3 = (I_{23})^2 \times R_3 = (0,2)^2 \times 15 = 0,6J$$

Jadi cabang rangkaian yang memiliki resistansi kecil yaitu dengan resistor R_1 yang dilalui arus yang dua kali lebih besar sehingga memiliki nyala lampu empat kali lebih terang dibandingkan dengan terangnya lampu 2 ataupun lampu 3.

Kegiatan:

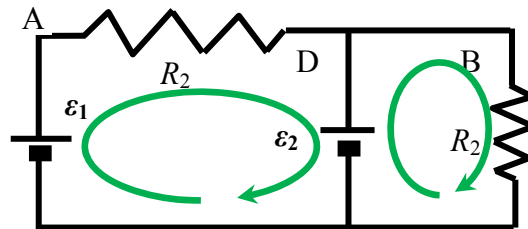
Rangkailah tiga lampu bohlam seperti gambar. Lakukanlah hal hal berikut kemudian amati dan diskusikanlah dengan kawan kawanmu.



- Setelah ketiga lampu bohlam terpasang dan teramati terangnya. Copotlah lampu bohlam kedua. Catatlah apakah terang lampu bohlam 1 dan 3 berubah terhadap semula. Jelaskan.
- Hubungkan antara titik A dan B dengan kawat secara langsung, amati dan bandingkanlah terang lampu bohlam 1,2 dan 3. Catatlah apakah terang lampu bohlam 1,2 dan 3 berubah terhadap semula. Jelaskan.

Soal:

Rangkaian arus searah (*dc*) terdiri atas dua batere $\varepsilon_1 = 12 \text{ V}$; $\varepsilon_2 = 9 \text{ V}$ yang hambatan dalamnya dapat diabaikan, disambungkan dengan dua resistor $R_1 = 150 \Omega$; $R_2 = 50 \Omega$ seperti pada gambar.



- Berapakah beda potensial pada R_2 ?
- Berapakah arus pada resistor R_2 ?
- Lakukan perhitungan yang sama untuk R_1 .

Contoh Soal 14.12

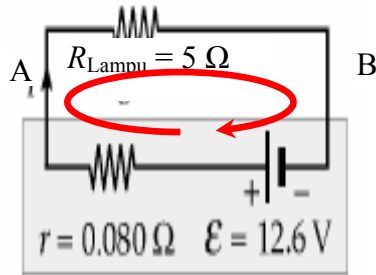
Sebuah batere mobil dengan ggl $\varepsilon = 12,6 \text{ volt}$ memiliki resistansi dalam sebesar $0,08 \Omega$ digunakan menyalakan lampu depan yang memiliki resistansi total 5Ω (anggap konstan). Berapakah beda potensial di antara kedua ujung lampu bohlam depan.

- Apabila hanya dibebankan pada batere saja

- b. Apabila motor starter digunakan akan mengambil tambahan 35 A dari batere.

Penyelesaian :

- a. Apabila lampu depan hanya dibebankan pada batere, seperti pada gambar. Gunakan hukum kedua Kirchhoff untuk *loop* tertutup V_{aba} $= \sum I_s R_s - \sum \mathcal{E}_s$ yaitu



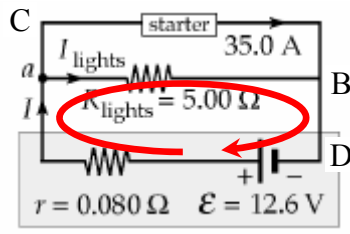
$$+Ir + IR_{lampu} - \mathcal{E} = 0$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_{lampu}} = \frac{12,6}{0,08 + 5} = \boxed{2,48 \text{ A}}$$

Sehingga beda potensial pada kedua ujung lampu bohlam adalah

$$\Delta V_{lampu} = IR_{lampu} = (2,48 \text{ A})(5 \Omega) = \boxed{12,4 \text{ V}}$$

Apabila motor strter dinyalakan, rangkaian listrik yang terjadi adalah seperti pada gambar.



Gunakan hukum pertama Kirchhoff bahwa jumlah arus yang masuk pada titik cabang harus sama dengan jumlah arus yang keluar, yaitu

$$I = I_{lampu} + I_{starter} = I_{lampu} + 35 \text{ A}$$

Selanjutnya gunakan hukum kedua Kirchhoff untuk *loop* tertutup bagian bawah rangkaian

$$V_{ABA} = 0 = \sum IR - \sum \mathcal{E}$$

$$0 = +Ir + I_{\text{lampu}} R_{\text{lampu}} - \mathcal{E}$$

Gabungkan kedua persamaan di atas sehingga didapat

$$+(I_{\text{lampu}} + 35 \text{ A})r + I_{\text{lampu}} R_{\text{lampu}} - \mathcal{E} = 0$$

atau

$$I_{\text{lampu}} = \frac{\mathcal{E} - (35 \text{ A})r}{r + R_{\text{lampu}}} = \frac{12,6 \text{ V} - (35 \text{ A})(0,08 \Omega)}{5 \Omega + 0,08 \Omega} = \boxed{1,93 \text{ A}}$$

Beda potensial di antara kedua ujung lampu bohlam mobil adalah

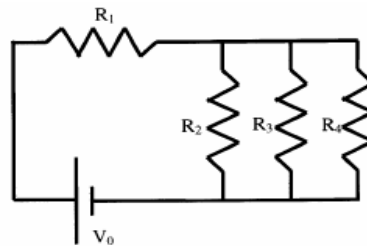
$$\Delta V_{\text{lampu}} = I_{\text{lampu}} R_{\text{lampu}} = (1,93 \text{ A})(5 \Omega) = \boxed{9,65 \text{ V}}$$

Contoh Soal 14.13

Tiga buah resistor R_2 , R_3 dan R_4 dihubungkan secara paralel kemudian diserikan dengan satu resistor R_1 dan diserikan juga dengan batere $V_m = 12 \text{ V}$, seperti pada gambar berikut.

Diketahui $R_1 = R$; $R_2 = 2R$; $R_3 = 3R$ dan $R_4 = 6R$. Tentukan

- Resistansi ekivalen, nyatakan dalam R .
- Arus I_2 ; I_3 dan I_4 masing masing adalah arus yang secara berturut-turut melewati R_2 , R_3 dan R_4 , bila arus yang melewati R_1 adalah $I_1 = 6 \text{ A}$



Penyelesaian :

- Resistansi ekivalen untuk resistor yang diparalel adalah

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{3R} + \frac{1}{6R} = \frac{6}{6R} = \frac{1}{R}$$

$$R_{234} = R$$

Resistansi total adalah $R_{\text{tot}} = R_1 + R_{234} = R + R = 2R$

Arus total dalam rangkaian adalah

$$I_{\text{tot}} = \frac{V_{\text{tot}}}{R_{\text{tot}}} = \frac{12 \text{ volt}}{2R}$$

$$V_{\text{tot}} = V_{R_1} + V_{R_{234}} = 12 \text{ volt}$$

Karena arus yang lewat R_1 adalah 6 A, maka

$$V_{\text{tot}} = V_{R_1} + V_{R_{234}} = 12 \text{ volt}$$

$$12 = I_1 R_1 + I_{234} R_{234} = 6R + 6R$$

$$R = \boxed{1\Omega}$$

$$V_{234} = 12 - V_1 = 12 - 6 = 6 \text{ volt}$$

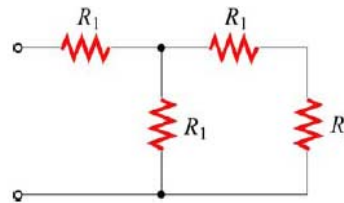
$$V_{234} = V_2 = V_3 = V_4 = 6 \text{ volt}$$

$$I_2 R_2 = I_3 R_3 = I_4 R_4 = 6 \text{ volt}$$

$$I_2 = \frac{6 \text{ volt}}{2\Omega} = \boxed{3\text{ A}} ; I_3 = \frac{6 \text{ volt}}{3\Omega} = \boxed{2\text{ A}} ; I_4 = \frac{6 \text{ volt}}{6\Omega} = \boxed{1\text{ A}}$$

Contoh Soal 14.14

Tinjau rangkaian empat buah resistor, seperti gambar berikut, tentukan nilai R_1 agar nilai total resistansi dalam rangkaian tersebut sama dengan R_0



$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_0 + R_1}$$

$$= \frac{R_0 + 2R_1}{R_1(R_0 + R_1)}$$

$$R' = \frac{R_1(R_0 + R_1)}{R_0 + 2R_1}$$

Kemudian serikan R' dengan R_1 sehingga didapat

$$R_{\text{total}} = R_1 + R' = R_1 + \frac{R_1(R_0 + R_1)}{R_0 + 2R_1}$$

$$= \frac{R_1(R_0 + 2R_1) + R_1(R_0 + R_1)}{R_0 + 2R_1}$$

$$R_{total} = R_0 = \frac{3R_1^2 + 2R_1R_0}{R_0 + 2R_1}$$

$$R_0(R_0 + 2R_1) = 3R_1^2 + 2R_1R_0$$

$$R_0^2 = 3R_1^2$$

$$R_1 = \sqrt{\frac{R_0}{3}}$$

Contoh Soal 14.15

Dua belas resistor dirangkai seperti pada gambar. Tunjukkan bahwa resistansi di antara A dan B adalah

$$R_{tot\ ab} = 5R/6$$

Penyelesaian

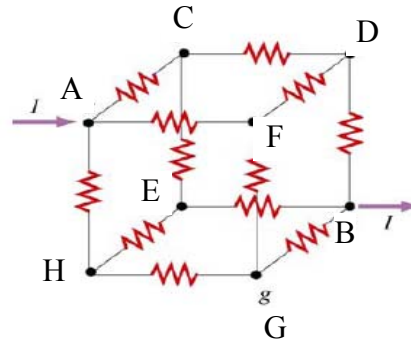
Misal arus masuk I di A keluar menjadi 3 arus yaitu i_{ac} , i_{af} , i_{ah} masing masing adalah $I/3$, keluar C menuju D dan E menjadi arus CE dan CD sebesar $I/6$ sampai di D dilanjutkan ke B kembali menjadi $I/3$ berasal dari EB; GB dan DB

$$I_a = 3 I_{aa} = 6 I_{cd} = I_{fd} + I_{ed} =$$

$$V_{ab} = V_{ac} + V_{cd} + V_{db} = \frac{I}{3}R + \frac{I}{6}R + \frac{I}{3}R = \frac{5R}{6}I$$

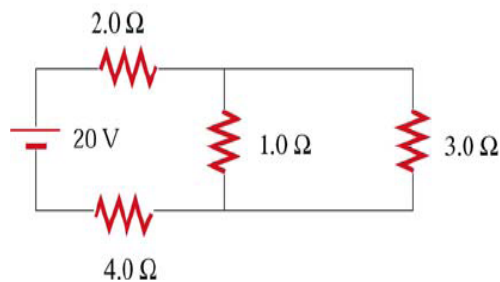
$$V_{ab} = IR_{ab} = \frac{5R}{6}I$$

$$R_{ab} = \frac{5R}{6}$$



Soal:

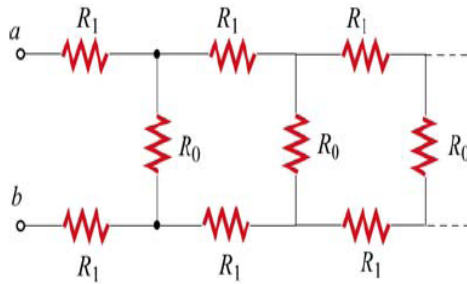
a. Dengan mengabaikan resistansi dalam



- batere, tentukan arus pada tiap cabang.
- b. Hitunglah daya yang setiap resistor

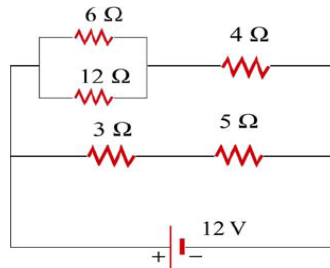
Soal:

Tunjukkan resistansi total adalah $R_{tot} = R_1 + \sqrt{R_1^2 + 2R_1R_0}$



Soal:

Lima resistor disusun seperti gambar berikut, dihubungkan dengan batere $\varepsilon = 12$ volt, tentukan beda potensial pada kedua ujung resistor 5Ω . (7,5volt)



14.6 Rangkuman

- b. Bahan isolator tidak mudah melepaskan ikatan elektronnya, bukan merupakan penghantar yang baik.
- c. Isolator padat dapat berubah menjadi konduktor apabila dipanasi. Sifat cairnya memberikan ion bebas sehingga dapat menghantarkan muatan listrik.

- d. Resistansi (R) merupakan ukuran daya hambat (perlawanan) bahan terhadap aliran arus listrik, (diukur dalam satuan Ohm (Ω)). Resistansi menghambat aliran muatan listrik.
- e. Aliran muatan listrik dalam bahan menghasilkan proses tumbukan yang ditandai berupa kenaikan temperatur bahan, timbulnya panas adalah seperti pada proses terjadinya gesekan antar benda.
- f. Konduktor memiliki resistansi rendah, namun isolator memiliki resistansi yang tinggi.
- g. Resistansi dapat dinyatakan dengan rumusan $R = \rho L/A$, L adalah panjang dan A adalah luas penampang kawat
- h. Arus Listrik Searah (dc) adalah arus yang besar dan arah alirnya selalu sama. Arah arus listrik diperjajarkan sama dengan arah gerak muatan positif. Kecepatan derip v_d dapat dipandang sebagai aliran muatan positif yang arahnya sesuai dengan arah medan atau sebagai aliran muatan negatif dalam arah yang berlawanan dengan arah medan listrik E .
- i. Jadi resistansi total atau resistansi ekuivalen untuk sambungan seri adalah dijumlahkan langsung seluruh resistor yang disambungkan tersebut.

$$R_{\text{seri}} = R_1 + R_2$$

- j. Sedangkan resistansi rang–kaian resistor yang disambungkan secara paralel adalah

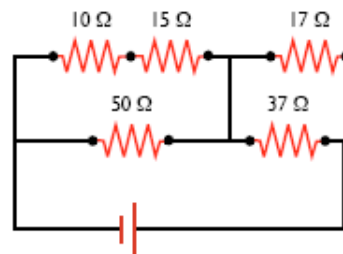
$$\frac{1}{R_{\text{par}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

14.7 SOAL UJI KOMPETENSI

Soal 14.1.

Tentukan resistansi ekuivalen (resistansi pengganti) dari lima resistor pada rangkaian disamping.

- a. 28Ω
- b. 74Ω
- c. 22Ω
- d. **54Ω**



Soal 14.2.

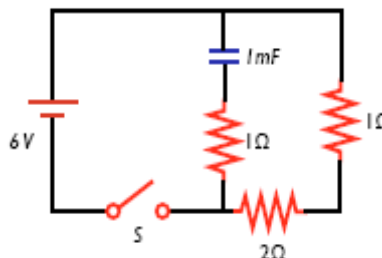
Hukum Kirchhoff dihasilkan dari dua hukum dasar dalam Fisika yaitu

- a. Hukum Kekekalan Energi dan perhitungan Muatan
- b. Hukum Kekekalan Energi dan Kekekalan Momentum

- c. **Hukum Kekekalan Muatan dan Hukum Kekekalan Energi**
 d. Hukum Coulomb dan Hukum Kekekalan Muatan.

Soal 14.3.

Tinjau rangkaian sebuah kapasitor dirangkai dengan tiga resistor seperti gambar berikut. Bila sakelar S ditutup, kemudian dibiarkan dalam waktu yang lebih besar daripada tetapan waktu kapasitor, maka arus pada resistor $2\ \Omega$ adalah



- a. **2 A**
 b. 4 A
 c. 3 A
 d. 1 A

Soal 14.4.

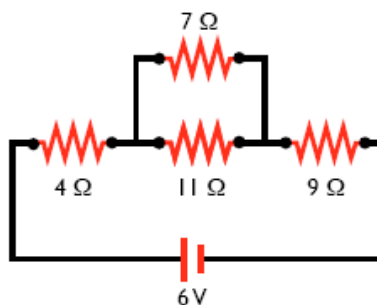
Tinjau kawat pertama berbentuk silindris dari bahan tembaga, kawat kedua juga terbuat dari bahan yang sama tetapi ukuran panjang dan jearinya dibuat dua kali ukuran kawat pertama, maka kawat kedua memiliki resistansi

- a. sama dengan resistansi kawat pertama
 b. dua kali resistansi kawat pertama
 c. **setengah resistansi kawat pertama**
 d. empat kali resistansi kawat pertama
 e. seperempat kali resistansi kawat pertama

Soal 14.5.

Arus yang melewati resistor $9\ \Omega$ pada rangkaian disamping adalah

- a. **347 mA**
 b. 581 mA
 c. 716 mA
 d. 1,32 A



Soal 14.6.

Suatu kawat yang dialiri arus listrik memiliki luas penampang irisan yang berubah semakin kecil secara bertahap sepanjang kawat, sehingga bentuk kawat mirip corong yang sangat panjang. Bagaimanakah perubahan kecepatan derip terhadap panjang kawat.

- Mengcil secara bertahap mengikuti perubahan luas penampang irisan yang juga semakin kecil.
- Semakin bertambah besar bila luas penampang irisan mengecil**
- Tidak berubah
- Berubah secara kuadratis terhadap perubahan luas penampang irisan kawat

Soal 14.7.

Suatu pemanggang roti dengan nilai daya 550 W dihubungkan dengan sumber 130 V. Maka arus yang melewati pemanggang adalah

- 5,04 A
- 1,83 A
- 2,12 A
- 4,23 A**

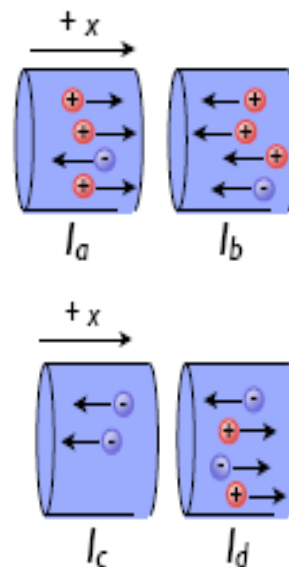
Soal 14.8.

Suatu beda potensial sebesar 11 volt digunakan untuk menghasilkan arus sebesar 0,45 A pada kawat sepanjang 3,8 m. Resistivitas kawat adalah

- 204 $\Omega \cdot m$
- $2,04 \times 10^6 \Omega \cdot m$
- 2,94 $\Omega \cdot m$
- $2,94 \times 10^{-4} \Omega \cdot m$**

Soal 14.9.

Tinjau muatan positif dan muatan negatif yang bergerak horisontal melalui empat daerah seperti pada gambar. Bila arus positif didefinisikan sebagai muatan positif yang bergerak dalam arah $X+$. Susunlah urutan besar arus yang melewati empat daerah tersebut dari yang paling tinggi



sampai dengan yang paling rendah.

- a. $I_a > I_c = I_d > I_b$
- b. $I_a > I_d > I_c > I_b$
- c. $I_d > I_a > I_b > I_c$
- d. $I_a > I_d = I_b > I_c$

Soal 14.10.

Dalam rentang waktu 1,37 s muatan berjumlah 1,73 C melewati lampu bohlam. Berapakah jumlah elektron yang lewat dalam waktu 5 s?

- a. $8,47 \times 10^{19}$
- b. $4,58 \times 10^{17}$
- c. **$3,95 \times 10^{19}$**
- d. $7,90 \times 10^{18}$

Penjelasan :

Arus yang mengalir $I = (1,73\text{C})/1,37 \text{ s} =$ Jumlah muatan per detik.

Muatan satu elektron $1,6 \times 10^{-19} \text{ C/elektron}$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah elektron yang mengalir} &= [5 \times (1,73\text{C})/1,37 \text{ s}] / [1,6 \times 10^{-19} \text{ C/elektron}] \\ &= \mathbf{3,95 \times 10^{19} \text{ elektron}} \end{aligned}$$

Soal 14.11.

Suatu beda potensial 11 volt digunakan menghasilkan arus 0,45 A dalam kawat serbasama sepanjang 3,8 m dengan jejari 3,8 mm.

Tentukan resistivitas kawat tersebut.

- a. $200 \Omega \cdot \text{m}$
- b. $2,9 \Omega \cdot \text{m}$
- c. $2 \times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$
- d. **$2,9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}$**

Penjelasan :

Resistansi

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

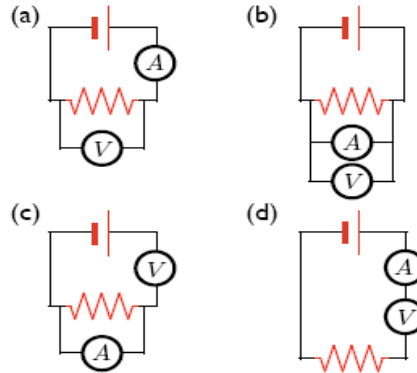
atau

$$\begin{aligned} \rho &= R \frac{A}{L} = \frac{\Delta V}{I} \frac{A}{L} = \left(\frac{11 \text{ volt}}{0,45 \text{ A}} \right) \frac{\pi (3,8 \times 10^{-3} \text{ m})^2}{3,8 \text{ m}} \\ &= 2,9 \times 10^{-4} \frac{\text{volt} \cdot \text{m}}{\text{A}} \\ \rho &= \boxed{2,9 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

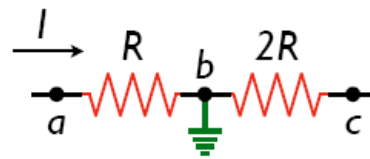
Soal 14.12.

Tinjau salah satu dari empat rangkaian yang tepat apabila digunakan mengukur arus dan tegangan pada resistor? Anggaplah voltmeter, amperemeter dan batere adalah ideal.

- rangkaian (a)**
- rangkaian (b)
- rangkaian (c)
- rangkaian (d)

Soal 14.13.

Suatu arus I mengalir pada dua resistor yang besarnya masing masing adalah R dan $2R$ yang terangkai seri seperti pada gambar. Di titik B pada kawat penghubung kedua resistor dikaitkan dengan tanah (*ground*). Tentukan beda potensial antara titik A dan C relatif terhadap tanah.



- $V_a = -I R$ $V_c = -2I R$
- $V_a = 0$ $V_c = -3I R$
- $V_a = +I R$ $V_c = +2I R$
- $V_a = +I R$ $V_c = -2I R$**

Penjelasan : $V_{ab} = V_a - V_b = I R$ dan $V_b = 0$ sehingga **$V_a = +I R$**
 $V_{cb} = V_c - V_b = -2I R$ dan $V_b = 0$ sehingga **$V_c = -2I R$**

Soal 14.14.

Untuk mengisi kembali batere 9 volt diperlukan energi $3,6 \times 10^6$ J. Tentukan jumlah elektron yang harus bergerak melewati beda potensial 9 volt hingga penuh.

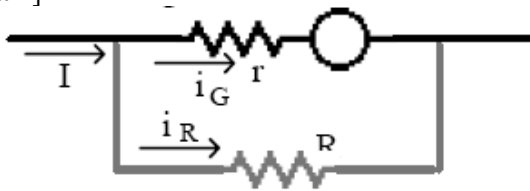
- 1×10^{25} elektron
- 2×10^{24} elektron**
- 4×10^{12} elektron
- 81×10^{13} elektron

Penjelasan :

Prinsipnya Hukum Kekekalan Energi, energi total untuk mengisi baterai sama dengan jumlah energi untuk menggerakkan satu elektron melewati beda potensial 9 volt dikalikan dengan jumlah elektron n .
 Energi Potensial = $ne \Delta V = n (1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb})(9 \text{ volt}) = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$
 Jumlah elektron yang bergerak = $n = (3,6 \times 10^6 \text{ J}) / (1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb})(9 \text{ volt}) = 2 \times 10^{24} \text{ elektron}$

Soal 14.15.

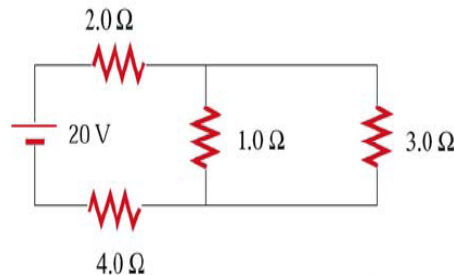
Suatu Galvanometer memiliki resistansi dalam $0,12 \Omega$; Arus maksimum yang dapat dilewatkan galvanometer adalah $15 \mu\text{A}$. Bila galvanometer dirangsang untuk dapat digunakan membaca arus sebesar 1 A , tentukan hambatan R yang harus digunakan. [Jawab: $1,8 \mu\Omega$]

Soal 14.16.

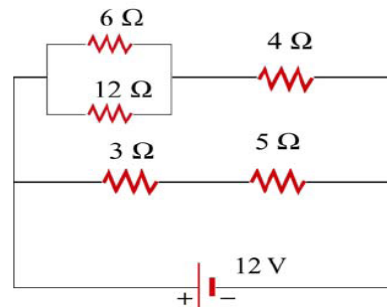
Dengan mengabaikan resistansi dalam baterai, tentukan arus pada tiap cabang.

Soal 14.17.

Hitunglah beda potensial pada resistor 2Ω dan resistor 4Ω untuk rangkaian pada soal no 2. [Jawab: $160/27$ volt dan $320/27$ volt]

Soal 14.18.

Lima resistor disusun seperti gambar berikut, dihubungkan dengan baterai $\epsilon = 12 \text{ volt}$.

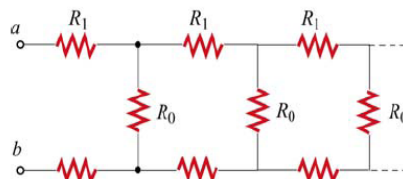


Tentukan beda poten-sial pada kedua ujung resistor 5 Ω. [Jawab: 7,5volt]

Soal 14.19.

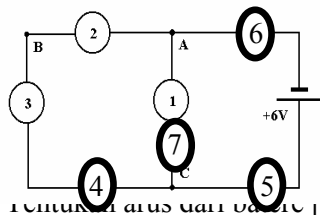
Tunjukkan bahwa resistansi total untuk rangkaian pada Gambar berikut adalah :

$$R_{tot} = R_1 + \sqrt{R_1^2 + 2R_1R_0}$$



Soal 14.20.

Tujuh buah lampu bohlam masing masing dengan resistansi $R = 15 \Omega$. dihubungkan sebuah batere $\epsilon = 6 \text{ V}$.

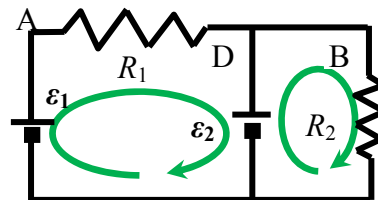


- Berapakah beda potensial antara A dan B? [Jawab: 2V]
- Berapakah arus yang mengalir pada masing-masing lampu? [Jawab: 0,125 A]

Soal 14.21.

Rangkaian arus searah (*dc*) terdiri atas dua batere $\epsilon_1 = 12 \text{ V}$; $\epsilon_2 = 9 \text{ V}$ yang hambatan dalamnya dapat diabaikan, disambungkan dengan dua resistor $R_1 = 150 \Omega$; $R_2 = 50 \Omega$ seperti pada gambar.

- Berapakah beda potensial pada R_2 ?
- Berapakah arus pada resistor R_2 ?
- Lakukan perhitungan yang sama untuk R_1 .



Soal 14.22.

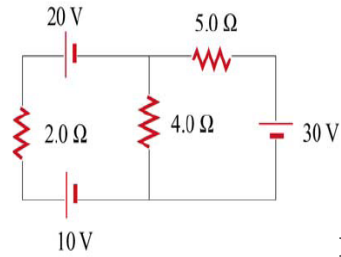
- a. Dengan mengabaikan resistansi dalam batere, tentukan arus pada tiap cabang.

Jawab: $I_1 = -5,53 \text{ A}$; $I_2 = -5,79 \text{ A}$

- b. Hitunglah beda potensial V_{af} ; V_{be} ; V_{bd}

Jawab: $V_{af} = 11,06 \text{ volt}$;

$V_{be} = 1,05 \text{ volt}$; $V_{bd} = 1,05 \text{ volt}$



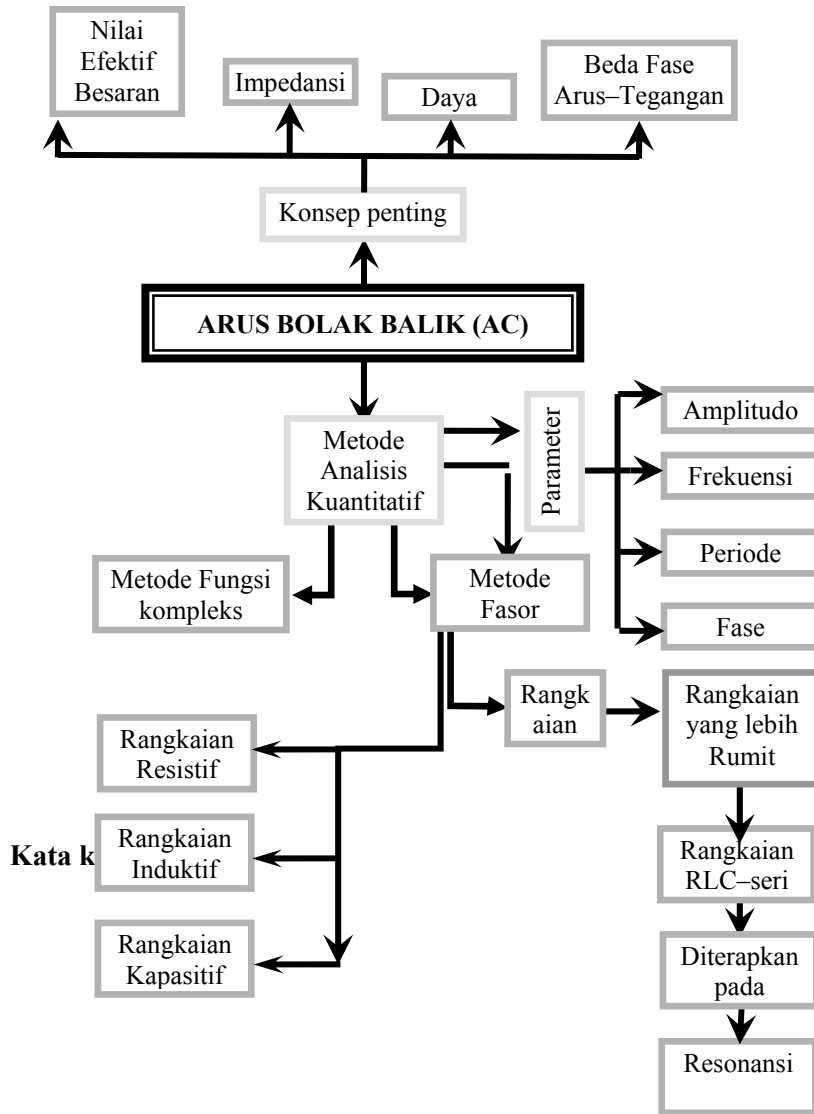
BAB 15

ARUS BOLAK BALIK



▲ An airport metal detector contains a large coil of wire around the frame. This coil has a property called inductance. When a passenger carries metal through the detector, the inductance of the coil changes, and the change in inductance signals an alarm to sound. (Jack Hollingsworth/Getty Images)

PETA KONSEP ARUS BOLAK BALIK



Arus bolak balik	Kapasitif
<i>Diagram fasor</i>	Kapasitor
Gaya gerak listrik (GGL)	Reaktansi
Hukum Faraday	Reaktansi induktif
Impedansi	Reaktansi kapasitif
Induksi	Resistansi
Induktansi	Resistif
Induktor	Resistor
Induktif	Resonansi
Kapasitansi	

Subbab : Gejala Peralihan

Pada Subbab ini dibahas tanggapan yang berupa perubahan arus atau muatan saat awal pada rangkaian yang terdiri atas resistor yang digabungkan dengan induktor atau kapasitor pada saat sumber tegangan yang mengenainya berubah terhadap waktu. Selesai bab ini anda diharapkan mampu merumuskan perubahan kondisi tersebut secara matematis.

Cek Kemampuan Anda, apakah :

Anda telah memahami tentang

- *Rumusan tegangan untuk Resistor, induktor dan kapasitor.*
- *Dampak perubahan arus pada induktor bila terjadi perubahan tegangan sumber yang dikenakan pada induktor tersebut..*
- *Dampak perubahan muatan pada kapasitor bila terjadi perubahan tegangan sumber yang dikenakan pada kapasitor tersebut.*
- *Penyelesaian integral sederhana dan penyelesaian turunan fungsi sinusoida sederhana.*
- *Energi yang tersimpan pada induktor maupun kapasitor sesaat setelah elemen tersebut dihubungkan suatu sumber tegangan.*
- *rumusan beda potensial untuk rangkaian tertutup.*

Pembahasan bab ini diawali dengan meninjau gejala transien atau biasa disebut gejala peralihan yaitu gejala awal yang timbul dalam selang waktu pendek pada rangkaian RL -seri atau RC -seri yang dihubungkan sumber tegangan searah baterai dengan gaya gerak listrik (GGL) ε , melalui sakelar agar teramati gejala peralihan dari kondisi awal. Melalui pemahaman gejala peralihan ini dapat memberikan

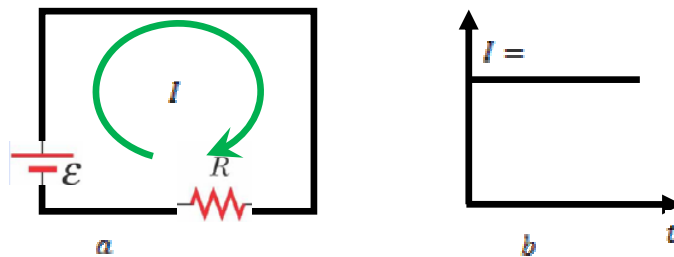
gambaran awal bahwa elemen induktor dan kapasitor dapat menyimpan energi listrik dari baterai yang terhubung padanya. Bila baterai tersebut dilepas maka energi tersimpan tadi dapat dilepas kembali ke rangkaian. Hal ini tidak terjadi bila baterai dikenakan pada resistor.

Setelah kita memahami gejala peralihan, maka kita telah mengenali perilaku elemen R , L , dan C apabila dihubungkan dengan sumber tegangan yang berubah terhadap waktu. Hal yang sama terjadi pada pembahasan rangkaian R , L , dan C yang dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik atau juga disebut sumber tegangan sinusoida. Kita juga akan memahami adanya makna resistansi efektif atau dikenal dengan istilah impedansi yang terkandung pada setiap bahan, beserta perilaku elemen R , L , dan C apabila sumber tegangan bolak balik mengandung frekuensi rendah atau frekuensi tinggi. Untuk memudahkan perhitungan impedansi total akibat variasi rangkaian R , L , dan C maka disisipkan materi fasor secara ringkas.

Nilai arus dan tegangan sinusoida (bolak balik) tidak dapat diukur langsung karena selalu berubah terhadap waktu, sehingga perlu dibahas nilai efektif atau nilai root-means-square (rms) dalam kaitannya dengan nilai maksimum. Seiring dengan itu dibahas pula tentang daya serta peran faktor daya sampai dengan munculnya gejala resonansi.

15.1. Resistor dalam Rangkaian Sumber Tegangan Searah

Tinjau suatu resistor R dihubungkan sumber tegangan searah memiliki gaya gerak listrik (GGL) ε seperti pada Gambar 15.1. Berlaku hukum Ohm, yaitu $V = IR$



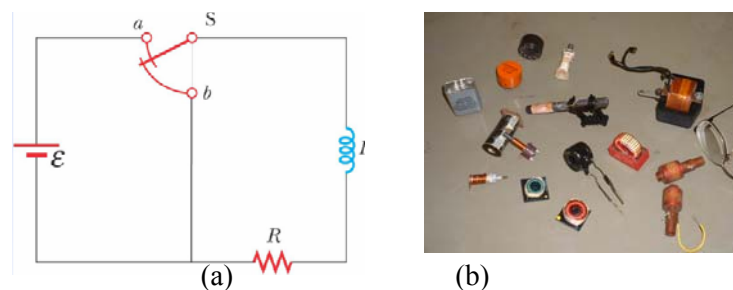
Gambar 15.1 (a) Resistor R dihubungkan dengan baterai ε
(b) Sesuai hukum Ohm, Arus I konstan terhadap waktu.

Perhatikan Gambar 15.1(a) Resistor R sesaat setelah disambungkan baterai, maka arus mengalir langsung secara konstan

seperti pada Gambar 15.1(b). Ternyata apabila resistor berada dalam rangkaian arus searah (dc), maka tidak dijumpai gejala peralihan, karena arus langsung mencapai nilai maksimum sejak waktu $t = 0$.

15.2. Gejala Peralihan pada Induktor

Tinjau rangkaian RL -seri yang dihubungkan dengan baterai ε melalui sakelar S , seperti dalam Gambar 15.2 (a).



Gambar 15.2 (a) Rangkaian RL -seri dihubungkan baterai ε melalui sakelar S . (b) Contoh beberapa induktor yang tersedia di pasaran

Gambar 15.2 (b) menggambarkan beberapa contoh induktor dalam berbagai bentuk dan ukuran yang tersedia di pasaran. Induktor berperilaku mirip massa yang selalu menghambat gerakan, maka induktor juga selalu melawan perubahan tegangan. Pada saat sakelar disambungkan maka dalam rangkaian terjadi perubahan tegangan, di sinilah perlawanan induktor akan teramati. Perilakunya berbeda dengan resistor.

Hubungkan sakelar S ke a , berarti rangkaian RL -seri tersambung dengan baterai ε , sehingga arus mengalir dalam rangkaian dan

memenuhi hukum kedua Kirchhoff: $\varepsilon = V_L + V_R = L \frac{di}{dt} + iR$

$$L \frac{di}{dt} = \varepsilon - iR \quad (15.1)$$

Sesuaikan ruas kiri hingga mendapatkan bentuk integral dx/x .

Kemudian lakukan integral dengan batas waktu saat $t = 0$ adalah saat sakelar ditutup dan nilai arus $i(0) = 0$. Sedangkan saat t detik dari saat

sakelar ditutup nilai arus listrik pada rangkaian adalah $i(t)$.

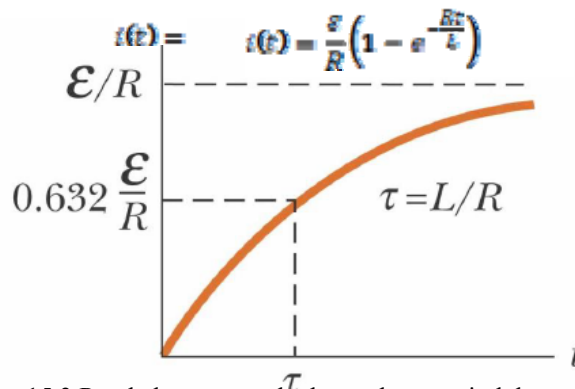
$$\ln\left(\frac{\varepsilon - iR}{\varepsilon}\right) = -\frac{R}{L}t$$

Ambil nilai eksponensial dipangkatkan dengan nilai masing masing ruas persamaan tersebut yaitu

$$e^{i \ln\left(\frac{\varepsilon - iR}{\varepsilon}\right)} = \left(\frac{\varepsilon - iR}{\varepsilon}\right) = 1 - \frac{iR}{\varepsilon} = e^{-\frac{R}{L}t}$$

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) \quad (15.2)$$

Jika persamaan diatas digambarkan dalam bentuk grafik arus terhadap waktu, diperoleh Gambar 15.3. Persamaan 15.1 menggambarkan arus pada rangkaian RL -seri sebagai fungsi waktu yaitu merupakan proses penyimpanan energi baterai ε menjadi energi magnetik dalam induktor, dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai maksimum arus dalam rangkaian $i(t) = \varepsilon/R$ dicapai pada $t = \infty$.



Gambar 15.3 Perubahan arus terhadap waktu saat induktor untuk rangkaian RL -seri dihubungkan dengan baterai ε .

Nilai arus $i(t)$ memerlukan waktu $\tau = L/R$ berteepatan dengan nilai arus $[1 - (1/e)]$ dari nilai arus saat dimulainya proses ($t = 0$). Sedangkan nilai maksimum arus pada rangkaian yaitu $I_m = \varepsilon/R$, dapat tercapai dalam waktu $t \gg \tau$, seperti pada Gambar 15.3.

Jika sakelar S pada gambar 15.2 dipindah ke titik b , berarti baterai dilepas dari rangkaian RL -seri, persamaan hukum kedua Kirchhoff menjadi: $V_L + V_R = 0$

$$L \frac{di}{dt} + iR = 0$$

$$\frac{di}{i} = -\frac{R}{L} dt \quad (15.3)$$

Integralkan persamaan tersebut dengan batas awal $t = 0$ sesuai dengan $i(0) = \varepsilon/R$ sampai dengan saat t detik dengan arus pada induktor $i(t)$, diperoleh :

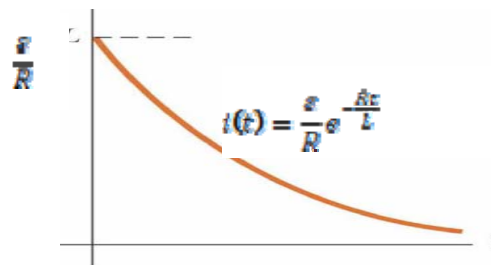
$$\ln \left[\frac{i(t)}{\varepsilon/R} \right] = -\frac{R}{L} t$$

Ambil nilai eksponensial dipangkatkan dengan nilai masing masing ruas persamaan

$$e^{\ln \left[\frac{i(t)}{\varepsilon/R} \right]} = \frac{i(t)}{\varepsilon/R} = e^{-\frac{R}{L} t}$$

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} e^{-\frac{Rt}{L}} \quad (15.4)$$

Persamaan 15.4 menggambarkan arus pada induktor berubah terhadap waktu bila baterai dilepas dari rangkaian RL dari kondisi arus awal pada induktor adalah arus maksimum $i(0) = \varepsilon/R$. Nilai arus pada induktor akan terus menurun secara eksponensial, dari persamaan tersebut terlihat bahwa $i(t) = 0$ dicapai pada $t = \infty$.

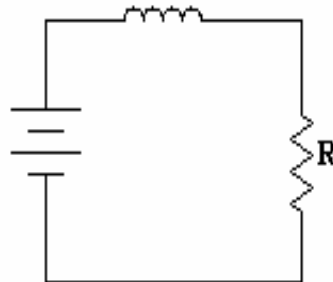


Gambar 15.4 Perubahan arus terhadap waktu, pada induktor yang telah memiliki arus awal $i(0) = \varepsilon/R$ kemudian dilepas dari baterai ε .

Contoh Soal 10.1.

Tinjau rangkaian RL seri yang terdiri atas induktor (L) 3 henry dan resistor 6 ohm dihubungkan dengan battery 12 volt yang tahanannya diabaikan, Tentukan

- Laju perubahan arus saat $t = 0$, dalam rangkaian.



- b. Laju perubahan arus saat arus $i(t) = 1$ Amp. $\varepsilon = 12$ V
- c. Besar arus saat 0,2 detik setelah rangkaian di tutup.
- d. Besar arus dalam keadaan mantap (steady state).

Penyelesaian:

$$\varepsilon = L \frac{di}{dt} + Ri$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}(\varepsilon - Ri)$$

- a. Pada keadaan awal arus $i(t) = 0$, sehingga laju perubahan arus

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}(\varepsilon) = \frac{12 \text{ V}}{3 \text{ H}} = \boxed{4 \frac{\text{A}}{\text{s}}}$$

- b. Bila $i = 1$ A

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{L}(\varepsilon - Ri) = \frac{1}{3 \text{ H}}(12 - 6) = \boxed{2 \frac{\text{A}}{\text{s}}}$$

- c. Besar arus 0,2 detik setelah rangkaian di tutup

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) = \frac{12}{6} \left(1 - e^{-\left(\frac{6}{3}\right)0,2}\right) = 2(1 - e^{-0,4}) = \boxed{0,65 \text{ A}}$$

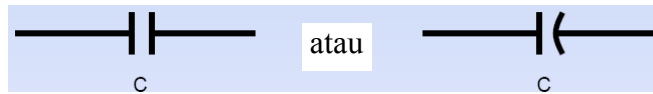
- d. Arus pada keadaan mantap (Steady State) yaitu saat $t = \infty$

$$i(t) = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) = \frac{12}{6} \left(1 - e^{-\left(\frac{6}{3}\right)\infty}\right) = 2(1 - e^{-\infty}) = \boxed{2 \text{ A}}$$

15.3. Gejala Transien pada Kapasitor

Biasanya pengertian kapasitor adalah dua bahan logam yang berbentuk identik yang kedua luas permukaannya dapat berhadapan secara simetris mengikuti arah medan listrik, sehingga memiliki kemampuan untuk menyimpan muatan listrik. Namun kenyataannya konduktor tunggalpun memiliki kapasitansi yang merupakan ukuran daya tampung muatan. Artinya konduktor tunggal pun mampu menampung muatan listrik. Contoh benda berbentuk bola dapat diberi muatan karena bentuk simetri lainnya dianggap berada di tak hingga.

Simbol untuk kapasitor digambarkan sebagai berikut



Gambar 15.5 Simbol untuk kapasitor .

PY212 R. D. Averitt 2007

Kapasitor yang tersedia di pasar dapat ditunjukkan dalam berbagai jenis dan ukuran seperti gambar berikut.



Gambar 15.6 Berbagai bentuk dan jenis kapasitor.

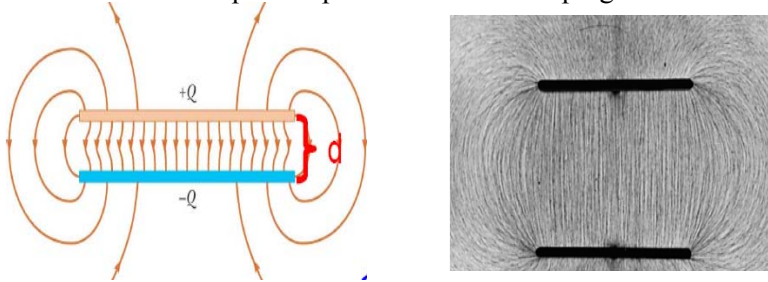
Kapasitansi didefinisikan sebagai

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

Artinya, daya tampung muatan pada suatu kapasitor bergantung pada beda potensial diantara kedua keping yang berhadapan secara simetris. Nilai beda potensial ini bergantung pada bentuk fisik dan ukuran serta jarak antara kedua keping. Hampir semua komponen dalam rangkaian listrik memiliki kapasitansi, misal kabel, kawat maupun resistor. Satuan SI untuk menyatakan kapasitansi adalah F (farad), namun karena satuan

ini terlalu besar untuk keperluan sehari-hari digunakan mikrofarad (ditulis $\mu F = 10^{-6} F$), nanofarad (ditulis $nF = 10^{-9} F$) dan pikofarad (ditulis $pF = 10^{-12} F$).

Gambar 15.7 menunjukkan hubungan antara bentuk fisik dan arah medan listrik pada kapasitor berbentuk keping.



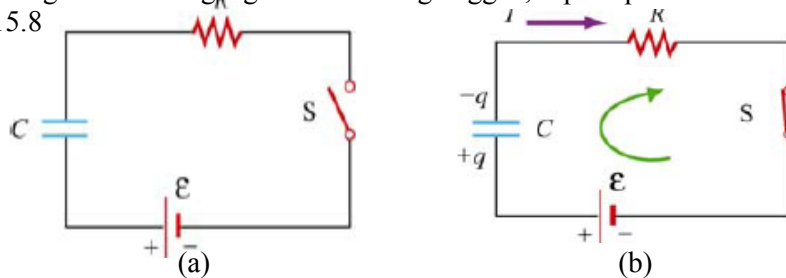
Gambar 15.7 Arus medan listrik di tengah keping tampak lurus dan serbasama untuk kapasitor .

PY212 Lecture 21, R. D. Averitt Spring 2007

Latihan

Gambar 15.7 menunjukkan bahwa arah medan listrik yang di tengah berbentuk lurus dibandingkan dengan arah medan dibagian tepi keping kapasitor. Cobalah diskusikan mengapa hal ini terjadi.

Tinjau rangkaian RC -seri yang dihubungkan dengan baterai sebagai sumber tegangan searah dengan ggl ϵ , seperti pada Gambar 15.8



Gambar 15.8 (a) Rangkaian RC -seri dihubungkan dengan baterai ϵ elalui sakelar S. (b) Rangkaian keadaan tersambung, baterai memberikan muatan pada kapasitor

dari Gambar 15.8 bila S dihubungkan dengan titik a, berarti rangkaian RC -seri terhubung baterai ϵ sehingga diperoleh persamaan hukum kedua Kirchhoff berikut

$$V_C + V_R = \epsilon$$

$$\frac{q}{C} + iR = \mathcal{E}$$

gunakan $i = \frac{dq}{dt}$

dengan: $V_C =$ beda potensial pada kapasitor C
 $V_R =$ beda potensial pada resistor R

$$\frac{q}{C} + R \frac{dq}{dt} = \mathcal{E} + RC \frac{dq}{dt} = \mathcal{E}$$

$$RC \frac{dq}{dt} = \mathcal{E} - q \quad (15.5)$$

Sesuaikan ruas kiri hingga mendapatkan bentuk integral dx/x .
 Kemudian lakukan integral dengan batas awal saat $t = 0$ sesuai kondisi muatan pada kapasitor masih nol yaitu $Q_0 = Q(0) = 0$, sedangkan batas akhir sesuai saat t detik dari saat pengisian kapasitor oleh baterai sehingga muatan pada kapasitor sudah mencapai $Q(t)$

$$\ln\left(\frac{\mathcal{E} - Q}{\mathcal{E}}\right) = \ln\left(1 - \frac{Q}{\mathcal{E}}\right) = -\frac{t}{RC}$$

Ambil nilai eksponensial dipangkatkan dengan nilai masing masing ruas

$$e^{\ln\left(1 - \frac{Q}{\mathcal{E}}\right)} = \left(1 - \frac{Q}{\mathcal{E}}\right) = e^{-\frac{t}{RC}}$$

persamaan tersebut yaitu

sehingga didapat

$$\left(1 - \frac{Q}{\mathcal{E}}\right) = e^{-\frac{t}{RC}}$$

Muatan yang tersimpan dalam kapasitor sebagai fungsi waktu adalah

$$Q(t) = \mathcal{E}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \quad (15.6)$$

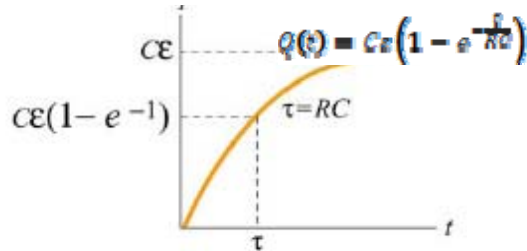
Cobakan untuk $t = 0$ maka didapat

$$Q(t) = \mathcal{E}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = \mathcal{E}\left(1 - e^{-0}\right) = \mathcal{E}(1 - 1) = 0$$

bila digunakan nilai $t = \infty$ merupakan waktu yang bersesuaian dengan $t \gg RC$ dilakukan pengisian muatan oleh baterai didapat

$$Q(t) = \mathcal{E}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = \mathcal{E}\left(1 - e^{-\infty}\right) = \mathcal{E}(1 - 0) = \mathcal{E}$$

Muatan yang tersimpan dalam kapasitor saat keadaan mantap $Q(t=\infty) = C\varepsilon$ yang nilainya konstant. Perubahan jumlah muatan yang disimpan dalam kapasitor ini digambarkan dalam grafik seperti Gambar 15.9.



Gambar 15.9 Perubahan jumlah muatan pada kapasitor terhadap waktu sesaat setelah kapasitor dihubungkan dengan baterai ε .

Amatilah keadaan muatan dalam kapasitor sesaat setelah baterai dilepas dari kondisi kapasitor dimuati secara penuh, yaitu dengan memindahkan sakelar S pada Gambar 15.8 ke b. Sehingga hukum kedua Kirchhoff menjadi

$$V_C + V_R = 0$$

$$\frac{q}{C} + IR = 0$$

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = 0$$

$$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt \quad (15.7)$$

Dengan jalan mengintegrasikan persamaan diatas diperoleh hasil :

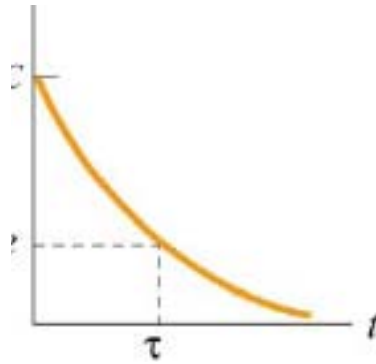
$$q = CVe^{-\frac{t}{RC}} = Q_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (15.8)$$

Persamaan (15.8) merupakan persamaan pelucutan muatan, dari persamaan tersebut terlihat bahwa $q = 0$ dicapai pada saat $t = \infty$. Habisnya muatan dalam kapasitor, lamanya bergantung pada nilai RC yang diberikan.

$$q_0 = C\varepsilon$$

$$q = C\varepsilon e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$q(t) = \frac{C\varepsilon}{e}$$



Gambar 15.10 Perubahan jumlah muatan terhadap waktu saat kapasitor dalam keadaan muatan penuh kemudian dilepas dari baterai \mathcal{E} .

Contoh Soal 10.2.

Suatu rangkaian RC -seri dengan resistansi $R = 1 \text{ M}\Omega$; kapasitansi $C = 5 \text{ }\mu\text{F}$, sedangkan baterai memiliki gaya gerak listrik (GGL) $\mathcal{E} = 30 \text{ V}$. Pada awalnya sakelar S terbuka, dan kapasitor dalam keadaan tidak bermuatan. Tentukan muatan pada kapasitor setelah 10 sakelar ditutup.

Penyelesaian:

Saat $t = 0$, sakelar mulai ditutup, maka baterai memberikan muatan-nya ke kapasitor sesuai dengan

$$Q(t) = C\mathcal{E}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

untuk

$$\tau = RC = (10^6 \Omega)(5 \times 10^{-6} \text{ F}) = 5 \text{ s}$$

Saat pengisian muatan ke dalam kapasitor oleh baterai, arus terus berkurang sampai menjadi nol, dan saat itulah muatan kapasitor mencapai maksimum, dengan hukum kedua Kirchhoff, yaitu

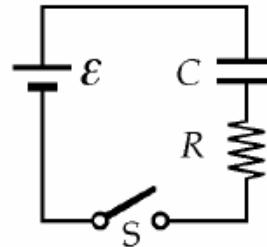
$$\mathcal{E} - \Delta V_C - Ri(t) = 0$$

Saat muatan kapasitor penuh, berlaku hubungan

$$\Delta V_C = \frac{Q_{\max}}{C} = \mathcal{E}$$

Sehingga muatan maksimum pada kapasitor adalah

$$Q_{\max} = C\mathcal{E} = (5 \times 10^{-6} \text{ F})(30 \text{ V}) = 1,5 \times 10^{-4} \text{ C} = 150 \text{ }\mu\text{C}$$



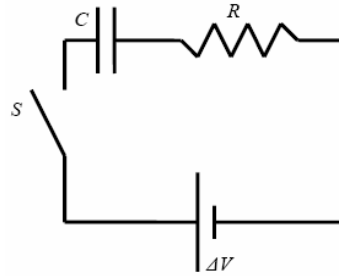
Sehingga pada saat $t = 10$ s, dari sakelar ditutup, muatan pada kapasitor adalah

$$Q(t) = C\varepsilon \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

$$Q(t) = (1,5 \times 10^{-4} \text{ C}) \left(1 - e^{-\frac{10}{\tau}}\right) = \boxed{130 \mu\text{C}}$$

Latihan:

Suatu rangkaian RC -seri dihubungkan dengan baterai $\Delta V = 30$ volt, $R = 15$ k Ω dan $C = 6$ μF . Pada keadaan awal kapasitor tidak bermuatan. Saat sakelar ditutup, kapasitor mulai menampung muatan.



- Berapakah lama waktu yang diperlukan agar kapasitor telah menampung sepertiga dari muatan maksimumnya.
- Tentukan pula besar muatan saat itu.

B: Rangkaian Arus Bolak Balik

Pada Subbab ini dibahas tanggapan fase untuk arus atau tegangan pada resistor, induktor dan kapasitor pada saat dikenai sumber tegangan bolak balik. Selesai bab ini anda diharapkan mampu memahami gejala dan dapat menyelesaikan soal-soal yang terkait dengan rangkaian yang mengandung resistor, induktor dan kapasitor baik secara sendiri (murni) maupun dengan gabungan ketiganya apabila rangkaian tersebut dikenai arus bolak balik, antara lain:

- *memahami hubungan antara fase tegangan sumber dengan fase arus bolak balik dalam rangkaian*
- *dapat melakukan perhitungan sederhana tentang impedansi, sudut fase, nilai sesaat dan nilai rerata atau rms untuk tegangan maupun arus bolak balik*

- memahami gejala resonansi maupun pengaruh perubahan frekuensi tegangan sumber terhadap induktor dan kapasitor.

Cek Kemampuan Anda, apakah :

Anda telah memahami:

- gejala pada rangkaian resistor murni, atau rangkaian induktor murni atau rangkaian kapasitor murni yang dikenai arus listrik searah.
- pengertian gelombang sinusoida, fase gelombang; frekuensi gelombang periode gelombang; amplitudo gelombang; serta penggambarannya secara grafik.
- perubahan arus pada induktor dan kapasitor bila terjadi perubahan tegangan sumber yang dikenakan pada induktor tersebut.
- Penyelesaian persamaan integral sederhana dan penyelesaian turunan fungsi sinusoida sederhana.
- gejala pada rangkaian resistor murni yang dikenai arus bolak balik, dapatkah anda merumuskan daya pada rangkaian tersebut.

15.4. Sumber Tegangan Bolak Balik

Hukum Faraday menyatakan apabila fluks magnetik berubah maka dapat dihasilkan suatu gaya gerak listrik (GGL) induksi. Jika suatu koil diputar pada ruang yang terdapat medan magnet, maka dihasilkan gaya gerak listrik induksi yang berubah dengan waktu secara sinusoida, yang dikenal sebagai arus bolak balik (ac). Prinsip kerja putaran koil inilah yang digunakan dalam sumber tegangan arus bolak balik (ac) atau dikenal dengan istilah generator arus bolak balik (ac).



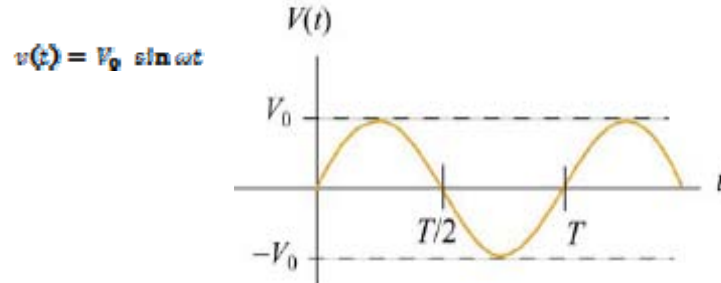
Gambar 15.11. Simbol untuk sumber tegangan bolak balik adalah menyatakan bahwa tegangan berubah sinusoida terhadap waktu.

Simbol untuk sumber tegangan bolak balik dinyatakan dalam Gambar 15.11, yang secara matematis dinyatakan dalam

$$v(t) = V_m \sin \omega t \quad (15.9)$$

nilai maksimum V_m disebut amplitudo sumber tegangan bolak balik. Fungsi sinusoida yaitu $\sin(\omega t)$ menyatakan fase tegangan sumber dengan sudut fase sebesar ωt . Tegangan berubah dari V_m sampai

dengan $-V_m$ karena fungsi sinus berubah dari 1 ke -1 . Grafik tegangan sebagai fungsi waktu ditunjukkan dalam Gambar 15.12 sebagai berikut



Gambar 15.12 Grafik sumber tegangan sinusoida dengan amplitudo V_0 .

Karena tegangan tersebut memenuhi fungsi sinus maka nilai tegangan pada saat t dan saat $t + T$ adalah tepat sama, sehingga T disebut periode. Frekuensi f didefinisikan sebagai $f = 1/T$ dengan satuan s^{-1} atau hertz (Hz). Sedangkan frekuensi sudut adalah $\omega = 2\pi f$. Untuk memudahkan pembacaan maka huruf kecil digunakan menyatakan besaran yang berubah terhadap waktu, sebaliknya huruf kapital untuk besaran yang konstan.

Apabila sumber tegangan dihubungkan dengan rangkaian RLC maka energi yang diberikan akan habis dalam resistor. Setelah bekerja selama rentang waktu peralihan, arus AC akan mengalir dalam rangkaian dan memberikan tanggapan kepada sumber tegangan. Arus dalam rangkaian inilah yang dirumuskan sebagai

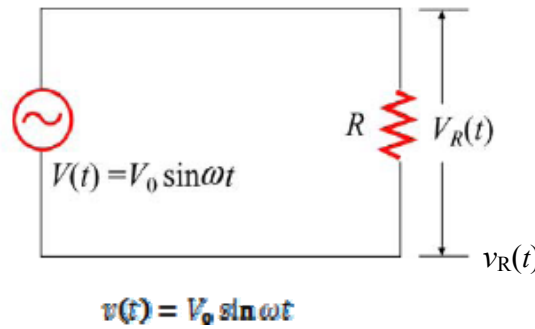
$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \phi) \quad (15.10)$$

yang juga berosilasi dengan frekuensi yang sama dengan sumber tegangan, namun dengan amplitudo arus I_m serta memiliki beda fase ϕ yang bergantung frekuensi sumber.

15.5. Resistor dalam Rangkaian Sumber Tegangan Bolak Balik

Sebelum meninjau rangkaian R , L , dan C dalam berbagai variasi sambungan rumit berikut akan ditinjau lebih dahulu rangkaian tunggal yang hanya ada satu elemen yaitu salah satu diantara resistor, induktor atau kapasitor yang dihubungkan dengan sumber tegangan sinusoida.

Tinjau resistor R yang dihubungkan dengan generator arus bolak balik (ac) seperti dalam Gambar 15.15



Gambar 15.13 Resistor dalam rangkaian sumber tegangan bolak balik.

Hukum kedua Kirchhoff untuk rangkaian resistor dalam sumber tegangan bolak balik seperti Gambar 15.13 adalah sebagai berikut

$$v(t) - v_R(t) = 0$$

bila $v(t)$ adalah tegangan pada sumber tegangan bolak balik dan $v_R(t)$ adalah tegangan sesaat pada kedua ujung resistor sehingga

$$v_R(t) = v(t)$$

$$R i_R(t) = V_m \sin \omega t$$

arus sesaat pada resistor adalah

$$i_R(t) = \frac{V_m}{R} \sin \omega t$$

$$i_R(t) = I_{Rm} \sin \omega t$$

sedangkan arus maksimum pada resistor adalah

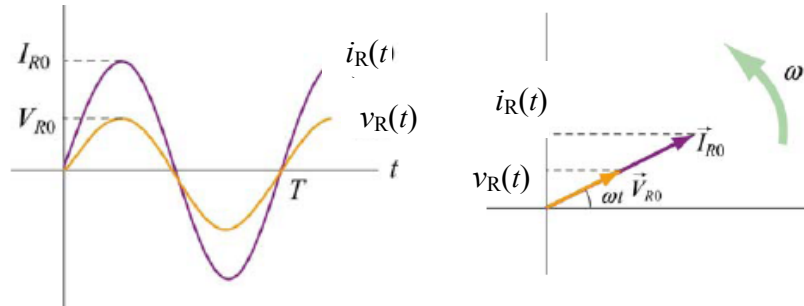
$$I_{Rm} = \frac{V_m}{R} = \frac{V_{Rm}}{R}$$

Tampak bahwa arus sesaat pada resistor $i_R(t)$, sumber tegangan bolak balik $v(t)$ dan tegangan sesaat pada resistor $v_R(t)$ adalah sefase satu sama lain, artinya ketiganya mencapai maksimum dan minimum dalam waktu yang sama. Fase arus pada resistor sama dengan fase sumber tegangan bolak balik yaitu sesuai dengan fungsi $\sin(\omega t)$.

Hubungan antara $i_R(t)$ dengan $v_R(t)$ dapat juga dinyatakan dengan diagram fasor seperti pada Gambar 15.15. Suatu fasor adalah vektor yang berputar dengan arah kebalikan arah jarum jam dengan kecepatan sudut ω . Panjang vektor merupakan amplitudo, sedangkan proyeksi vektor pada sumbu vertikalnya merupakan nilai sesaat dari besaran yang berubah terhadap waktu tersebut.

$$v_R(t) = V_{Rm} \sin \omega t$$

fasor tegangan sesaat pada resistor $v_R(t)$ memiliki amplitudo V_{Rm} dan proyeksinya ke arah vertikal adalah $V_{Rm} \sin(\omega t)$ yang nilainya sama dengan tegangan sesaat $v_R(t)$.



Gambar 15.15 (a) Arus dan tegangan pada resistor bergantung waktu secara sinusoida (b) Diagram fasor untuk resistor dalam rangkaian arus bolak balik (ac)

15.6. Nilai Root-Means-Squared (rms) untuk Tegangan dan Arus Bolak Balik

Nilai arus bolak balik tidak dapat diukur langsung dengan alat ukur arus seperti ampermeter ataupun galvanometer. Karena alat ukur biasanya hanya dapat membaca nilai rerata dari arus bolak balik, sehingga tidak mampu membaca nilai sesaat ataupun nilai maksimum arus bolak balik.

Nilai rms untuk arus bolak balik adalah nilai arus searah yang menghasilkan energi (berupa panas) yang sama bila arus bolak balik tersebut melalui suatu resistor yang sama dan dalam rentang waktu yang sama. Karena nilai tegangan sesaat dari sumber tegangan bolak balik tidak dapat diukur maka digunakan nilai rerata dari nilai sesaat yang dihitung selama satu periode. Untuk arus adalah

$$\langle i_R(t) \rangle = \frac{-I_{Rm}}{T} [\cos(2\pi) - \cos(0)] = 1 - 1 = 0$$

Ternyata hasil nilai rerata langsung untuk nilai arus adalah nol, hal ini mudah dimengerti karena arus merupakan fungsi sinusoida dan batas integralnya satu periode. Agar hasil pererataan tidak nol, maka yang direratakan adalah kuadratnya, selanjutnya diambil akarnya terhadap nilai rerata tersebut, sebagai berikut

$$\langle i_R^2(t) \rangle = \frac{1}{2} I_{Rm}^2$$

Untuk selanjutnya, nilai arus atau tegangan yang berubah terhadap waktu secara sinusoida, lebih mudah dikaitkan dengan nilai akar dari hasil perataan terhadap nilai kuadrat besaran tersebut yang dikenal sebagai nilai rms. Jadi, nilai rms arus adalah nilai arus maksimum pada resistor dibagi dengan akar dua:

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\langle I_R^2(t) \rangle} = \frac{I_{R,\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

Sesuai dengan hukum Ohm, dengan cara yang sama, nilai rms tegangan pada resistor:

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\langle V_R^2(t) \rangle} = \frac{V_{R,\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

Penting untuk ditekankan adalah nilai rms terdefinisi dari perhitungan jumlah panas apabila arus bolak balik dilewatkan resistor, sehingga nilai arus atau tegangan rms selalu terhadap nilai maksimum arus atau tegangan pada resistor. Perhitungan daya terpakai pada resistor dalam rangkaian arus bolak balik, dengan menggunakan konsep arus dc adalah

$$P_R(t) = I_R(t)V_R(t) = I_R^2(t)R$$

Sedangkan perhitungan daya pada resistor R dalam rangkaian arus bolak balik, dengan nilai root-means-square (rms) didapat

$$P_R(t) = \langle I_R^2(t)R \rangle = \frac{1}{2}I_R^2 R = I_{\text{rms}}^2 R = I_{\text{rms}}V_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{rms}}^2}{R}$$

Dari perhitungan daya tersebut dapat dipahami bahwa nilai rms suatu arus bolak balik adalah apabila nilai arus tersebut dapat memberikan daya listrik yang sama dengan nilai daya apabila arus bolak balik dianggap sebagai arus searah (dc).

15.7. Daya dalam Rangkaian Arus Bolak Balik

Pada rangkaian arus bolak balik biasanya terdiri atas sumber tegangan atau generator arus bolak balik dan rangkaian kombinasi elemen R , L , dan C . Salah satu sifat penting dari sifat elemen R , L , dan C terhadap sumber tegangan bolak balik adalah bahwa tidak ada kehilangan daya dalam rangkaian kapasitif murni maupun induktif murni, karena energi listrik dari generator atau sumber tegangan akan tersimpan di dalam induktor maupun kapasitor. Namun bila resistor dihubungkan sumber

tegangan bolak balik, maka energi generator listrik akan habis sebagai energi panas pada resistor. Artinya, energi yang melewati resistor akan berubah menjadi energi panas, dan tidak dapat diambil kembali oleh rangkaian listrik. Tetapi kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik maka, setengah energi sumber tegangan bolak balik disimpan di dalam kapasitor, setengah lagi dikembalikan ke rangkaian arus bolak balik. Bila induktor dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik, energi sumber tegangan bolak balik digunakan untuk melawan GGL induksi dari induktor dan energi disimpan dalam induktor. Namun apabila arus dalam rangkaian mulai berkurang, energi dikembalikan ke rangkaian lagi.

Daya rerata dari generator arus bolak balik diubah menjadi energi dalam pada resistor sesuai dengan

$$P_{\text{rerata}} = I_{\text{rms}} \Delta V_R = I_{\text{rms}} \Delta V_{\text{rms}} \cos \phi$$

untuk $\cos \phi$ disebut faktor daya.

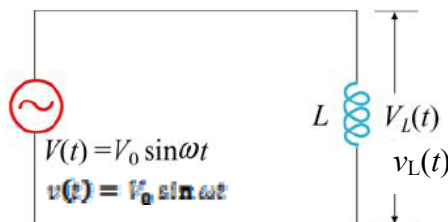
15.8. Induktor dalam Rangkaian Arus bolak balik

Tinjau suatu rangkaian listrik memiliki kapasitansi tak berhingga dan resistansinya adalah nol, rangkaian yang memenuhi kondisi demikian disebut rangkaian induktif murni. Suatu rangkaian induktor murni dengan induktansi L dihubungkan seri dengan sumber tegangan bolak balik, yaitu

$$v(t) = V_m \sin \omega t$$

sedangkan tegangan pada induktor adalah v_L

$$v_L(t) = L \frac{di}{dt}$$



Gambar 15.15 Induktor dalam rangkaian arus bolak balik.

Dari hukum kedua Kirchhoff, didapat

$$v(t) - v_L(t) = 0$$

$$V_m \sin \omega t - L \frac{di}{dt} = 0$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_m}{L} \sin \omega t$$

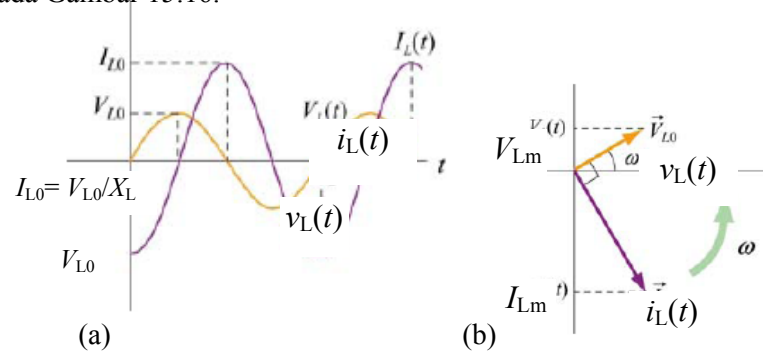
$$i_L(t) = -\frac{V_m}{\omega L} \cos \omega t$$

$$i_L(t) = -\frac{V_m}{X_L} \cos \omega t = -I_{Lm} \cos \omega t$$

untuk $X_L = \omega L$ adalah reaktansi induktif, dengan satuan SI adalah ohm (Ω), seperti resistansi. Bedanya dengan resistansi pada resistor, reaktansi induktif bergantung secara linear pada frekuensi, semakin besar frekuensi semakin besar pula nilai ohm reaktansi induktif. Sedangkan pada frekuensi rendah, nilai X_L mendekati nol pula. Arus sesaat pada induktor adalah

$$i_L(t) = I_{Lm} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

untuk $I_{Lm} = V_{Lm}/X_L$ adalah arus maksimum pada induktor. Bandingkan sudut fase arus pada induktor tersebut terhadap sudut fase tegangan sumber tegangan bolak balik $v(t)$ dan terhadap tegangan sesaat pada induktor $v_L(t)$. Ternyata fase arus pada induktor $i_L(t)$ tertinggal $\pi/2$ terhadap fase sumber tegangan bolak balik $v(t)$ maupun terhadap tegangan sesaat pada induktor $v_L(t)$. Grafik arus pada induktor dan tegangan sumber bolak balik beserta diagram fasornya ditunjukkan pada Gambar 15.16.



Gambar 15.16 (a) Grafik arus dan tegangan sesaat pada induktor dalam tegangan sumber bolak balik terhadap waktu. (b) Diagram fasor untuk induktor dan tegangan sumber bolak balik.

Kapasitor dalam Rangkaian Arus bolak balik

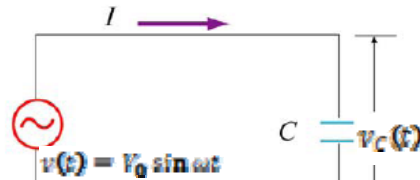
Tinjau suatu rangkaian listrik memiliki kapasitansi tak berhingga dan resistansinya adalah nol, rangkaian yang memenuhi kondisi demikian disebut rangkaian induktif murni. Tinjau Gambar 15.17 yaitu suatu rangkaian kapasitor murni dengan kapasitansi C dihubungkan seri dengan sumber tegangan bolak balik, yaitu $v(t) = V_m \sin \omega t$

sedangkan tegangan sesaat pada kapasitor adalah $v_C(t) = \frac{Q(t)}{C}$

Dari hukum kedua Kirchhoff, didapat

$$v(t) - v_C(t) = 0$$

$$v_C(t) = v(t)$$



Gambar 15.17 Kapasitor dalam rangkaian arus bolak balik.

artinya, tegangan sesaat pada kapasitor sama besar dan sefase dengan tegangan sumber. Muatan pada kapasitor adalah

$$Q(t) = C v_C(t) = C v(t)$$

$$Q(t) = C V_m \sin \omega t$$

sehingga arus sesaat pada kapasitor

$$i_C(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{d[Cv(t)]}{dt}$$

$$i_C(t) = C \frac{d[v(t)]}{dt} = C \frac{d(V_m \sin \omega t)}{dt}$$

$$i_C(t) = V_m \omega C \cos \omega t$$

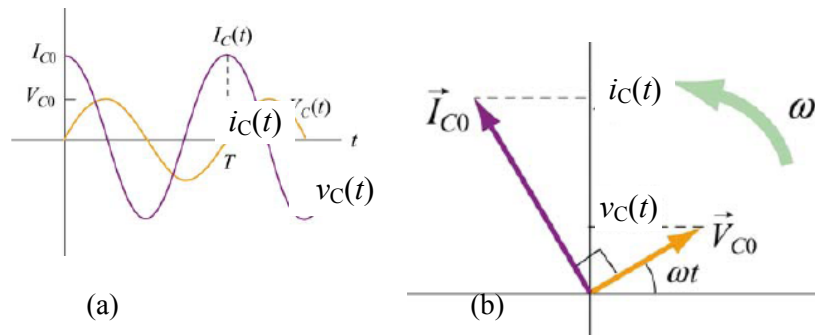
untuk $X_C = \frac{1}{\omega C}$ adalah reaktansi kapasitif dengan satuan SI adalah ohm (Ω) dan menyatakan resistansi efektif untuk rangkaian kapasitif

murni. Nilai X_C berbanding terbalik dengan C dan ω , artinya X_C menjadi sangat besar bila ω sangat kecil.

$$i_C(t) = \frac{V_m}{X_C} \cos \omega t = I_{Cm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

untuk $I_{Cm} = \frac{V_m}{X_C}$ adalah arus maksimum pada kapasitor. Ternyata, fase arus pada kapasitor mendahului sebesar $\pi/2$ terhadap fase tegangan sumber bolak balik.

Grafik arus pada induktor dan tegangan sumber bolak balik beserta diagram fasornya ditunjukkan pada Gambar 15.18



Gambar 15.18 (a) Arus dan tegangan pada kapasitor dalam rangkaian arus bolak balik (b) Diagram fasor untuk kapasitor dalam rangkaian arus bolak balik

Kegiatan:

Untuk lebih memahami proses perubahan fase dari arus bolak balik yang melalui kapasitor atau induktor murni terhadap fase tegangan generator Arus Bolak Balik yang dikenakan pada kapasitor murni atau induktor murni tersebut, cobalah gunakan internet dan kunjungi situs berikut.

<http://www.sciencejoywagon.com/physicszone/otherpub/wfendt/accircuit.htm>

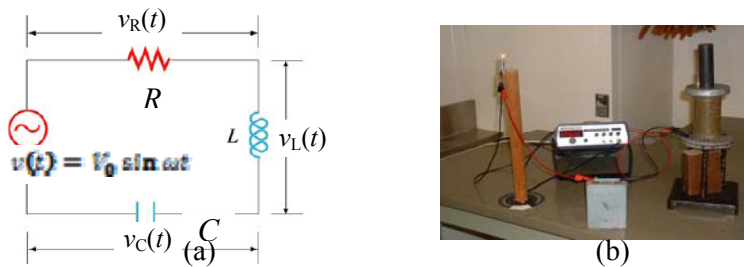
Namun untuk dapat memainkan program tersebut hendaknya komputer yang digunakan berinternet sudah diinstal program Java terlebih dahulu.

15.9. Rangkaian RLC -seri

Tinjau rangkaian RLC -seri dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik seperti pada Gambar 15.19 (a)

$$v(t) = V_m \sin \omega t$$

Sebagai contoh ditunjukkan dalam Gambar 15.19(b) suatu pembangkit pulsa (function generator) dihubungkan dengan resistor yang berupa lampu, induktor dan kapasitor.



Gambar 15.19 (a) Rangkaian RLC -seri dalam sumber tegangan bolak balik (b) Contoh rangkaian RLC -seri, Lampu sebagai resistor R .

Sesuai dengan hukum kedua Kirchoff untuk seri

$$v(t) = v_R(t) + v_L(t) + v_C(t)$$

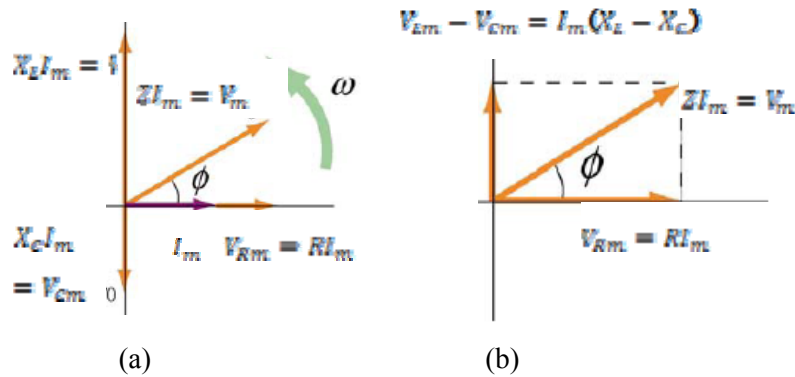
$$v(t) = R i_R(t) + X_L i_L(t) + X_C i_C(t)$$

$$v(t) = R I_{Rm} \sin \omega t + X_L I_{Lm} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) + X_C I_{Cm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

yang dapat ditulis sebagai berikut

$$v(t) = V_{Rm} \sin \omega t + V_{Lm} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) + V_{Cm} \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Kemudian dilakukan penggambaran diagram fasor sesuai dengan sudut fasenya masing masing. Dari rumusan tegangan untuk sumber tegangan bolak balik $v(t)$, menyatakan bahwa tegangan pada masing masing elemen R , L , dan C memiliki beda fase secara berturut-turut adalah nol, $-\pi/2$ dan $\pi/2$ terhadap tegangan sumber.



Gambar 15.20 (a) Diagram fasor untuk rangkaian RLC -seri, bila $X_L > X_C$
 (b) Hubungan antar tegangan dalam rangkaian RLC -seri

Latihan:

- Cobalah lakukan perumusan sendiri dengan menggunakan cara yang sama untuk kasus $X_L < X_C$.
- Tentukan pula nilai sudut fase ϕ . Jelaskan arti tanda $(-)$ dalam kaitannya dengan hubungan fase antara arus sesaat dalam rangkaian terhadap tegangan sumber.
- Gambarkan diagram fasor untuk hubungan arus dan tegangan pada masing masing elemen R , L , dan C seperti pada Gambar 15.20.

15.10. Impedansi

Impedansi merupakan nilai efektif terhadap total nilai resistansi yang berasal dari seluruh elemen RLC suatu rangkaian, sehingga hukum Ohm untuk arus bolak balik

$$V = I Z$$

untuk Z adalah impedansi total rangkaian, dengan satuan SI ohm (Ω). Di sini karena pembahasan fasor tidak mendalam, maka penulisan fasor tidak menggunakan tanda khusus, karena akan mengurangi kemudahan amteri. Hukum Ohm menjadi hubungan fasor, tidak sekedar hubungan

antar besaran, artinya mencakup hubungan sudut fase dari arus, tegangan dan impedansi.

Diagram fasor dan hubungan antara tegangan sesaat pada rangkaian seri R , L , dan C ditunjukkan pada Gambar 15.20.

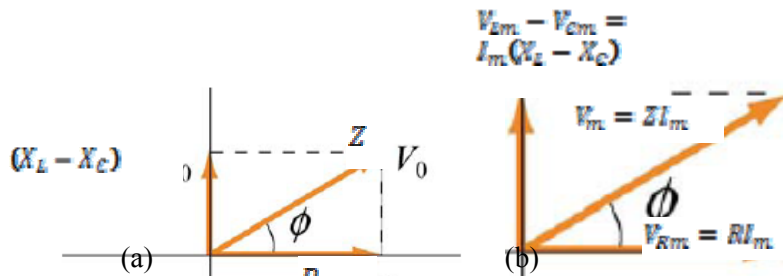
Dengan menggunakan kaidah dalam bilangan kompleks, maka dapat dipadankan sebagai berikut bahwa resistor merupakan bagian real karena arus pada resistor tidak memiliki beda fase dengan tegangan sumber. Tetapi impedansi induktor Z_L merupakan bagian imajiner positif karena tegangan pada induktor memiliki beda fase $\pi/2$ mendahului fase tegangan sumber. Sedangkan impedansi kapasitor Z_C merupakan bagian imajiner negatif, karena tegangan pada kapasitor memiliki beda fase $\pi/2$ tertinggal terhadap fase tegangan sumber. Besar tegangan maksimum pada elemen R , L , dan C secara berturut-turut dapat ditulis sebagai berikut

$$V_{Rm} = RI_m$$

$$V_{Lm} = Z_L I_m$$

$$V_{Cm} = Z_C I_m$$

Dalam tinjau RLC -seri tentu saja semua elemen R , L , dan C memiliki besar arus yang sama, tetapi tidak berlaku bahwa V_m merupakan jumlahan langsung terhadap V_{Rm} , V_{Lm} dan V_{Cm} , karena masing masing merupakan fasor, ada faktor arah sehingga penjumlahannya mengikuti kaidah vektor.



Gambar 15.21 (a) Fasor untuk impedansi rangkaian RLC -seri, bila $X_L > X_C$ (b) Hubungan antar tegangan dalam rangkaian RLC -seri, bila $X_L > X_C$

Dari Gambar 15.21 (a), menggunakan sifat vektor dari fasor impedansi Z . Maka impedansi adalah merupakan resultan antara R dan selisih antara X_L dan X_C atau gunakan kaidah sisi miring segitiga siku

pitagoras, sehingga impedansi untuk RLC -seri dapat dinyatakan sebagai berikut

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

Berangkat dari kenyataan bahwa dalam sambungan seri semua elemen memiliki arus yang sama. maka bila semua suku pada ruas kiri maupun kanan dikalikan dengan I_m didapat persamaan yang mirip, namun sangat membantu pemahaman, yaitu

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

$$V_m = \sqrt{V_{Rm}^2 + (V_{Lm} - V_{Cm})^2}$$

sesuai dengan Gambar 15.21 (b).

Dari diagram fasor impedansi masing masing elemen R , L , dan C didapat hubungan sebagai berikut

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

Sedangkan dari diagram fasor tegangan pada masing masing R , L , dan C didapat hubungan sebagai berikut

$$\cos \phi = \frac{V_{Rm}}{V_m}$$

nilai $\cos \phi$ banyak digunakan dalam pembahasan daya dalam arus bolak balik.

Secara grafis, terdapat berbagai cara untuk menyatakan tegangan sinusoida (salah satu bentuk sumber tegangan bolak-balik) yang berubah terhadap waktu. Salah satunya adalah dengan membuat grafik antara tegangan terhadap waktu. Cara kedua adalah menyatakan osilasi tersebut dengan fasor yang berputar. Fasor tegangan adalah anak panah yang panjangnya sama dengan amplitudo tegangan (tegangan maksimum) yang berputar mengelilingi titik $0(0,0)$ dengan kecepatan sudut ω dalam arah kebalikan arah jarum jam dan dimulai dari sumbu x positif (sebagai acuan sudut fase nol).

Apabila resistor yang dihubungkan dengan arus bolak-balik, maka arus dan tegangan mencapai nilai maksimum dalam waktu yang sama. Namun, bila kapasitor atau induktor dihubungkan pada rangkaian arus bolak-balik, maka arus dan tegangan mencapai nilai maksimum tidak dalam waktu yang sama. Beda sudut fase antara kedua puncak berdekatan tersebut disebut beda fase ϕ dan dinyatakan dalam derajat atau radian. Contoh, pada rangkaian induktif arus terlambat terhadap tegangan sebesar $+90^\circ$ atau $\pi/2$ radian. Pengertian beda fase 90° menyatakan beda sudut pada saat tegangan mendahului arus. Sedangkan pada rangkaian kapasitif nilai beda fase ϕ adalah -90°

karena arus mendahului 90° terhadap tegangan. Hubungan fase sering kali dinyatakan secara grafis dalam diagram fasor.

Tegangan pada rangkaian induktif mendahului arus sesuai dengan yang telah dibahas dalam gejala transien bahwa untuk mencapai tegangan maksimum diperlukan waktu tertentu.

Catatan, apabila dalam rangkaian arus bolak-balik terdapat induktansi murni, tegangan dan arus mengalami perbedaan fase. Tegangan pada induktor mencapai maksimum apabila laju perubahan arus terhadap waktu maksimum pula. Untuk bentuk gelombang sinusoida seperti pada arus bolak-balik, pada saat tegangan pada induktor maksimum nilai arus pada induktor adalah nol, sehingga bertepatan dengan tegangan mendahului arus sebesar 90° . Hal sebaliknya yang terjadi pada rangkaian arus bolak-balik yang terdapat kapasitansi murni.

Sering kali fase didefinisikan sebagai suatu vektor dalam suatu bidang. Sebagai acuan untuk fase nol adalah sumbu-x positif yang dikaitkan dengan fase untuk resistor karena tegangan dan arus pada resistor adalah sefase. Panjang fasor adalah sebanding dengan besaran yang diwakilinya, dan sudut fase menyatakan fase relatif terhadap arus yang melalui resistor.

Hukum Ohm biasa digunakan untuk rangkaian yang bersifat resistif murni. Apabila pada rangkaian terdapat reaktansi induktif atau reaktansi kapasitif, maka hukum Ohm harus dituliskan mencakup Impedansi total rangkaian. Sehingga, hukum Ohm menjadi

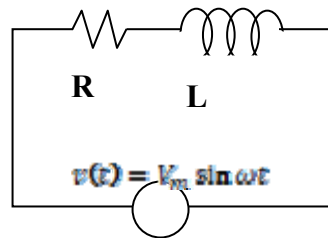
$$I = \frac{V}{Z}$$

Hukum Ohm menyatakan hubungan bahwa arus (I), dalam ampere, adalah sebanding dengan tegangan (V), dalam volt, dibagi Impedansi (Z), dalam ohm.

Impedansi Elektris (Z), adalah “hambatan” total rangkaian pada arus bolak balik. Impedansi merupakan ukuran dalam ohm yang meliputi resistansi (R), reaktansi induktif (X_L), dan reaktansi kapasitif (X_C). Namun demikian, Impedansi total bukan merupakan penjumlahan aljabar sederhana dari resistansi, reaktansi induktif, dan reaktansi kapasitif. Karena reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif berberda

fase 90 derajat terhadap fase resistansi sehingga nilai maximum terjadi pada waktu yang berbeda, dan untuk penjumlahan impedansi dilakukan secara vektor.

15.11. Perumusan Impedansi Rangkaian RL -seri



Impedansi untuk RL -seri adalah
 $Z = Z_R + Z_L = R + jX_L$
 untuk $X_L = \omega L =$ reaktansi induktif [ohm]

$$Z_R = R$$

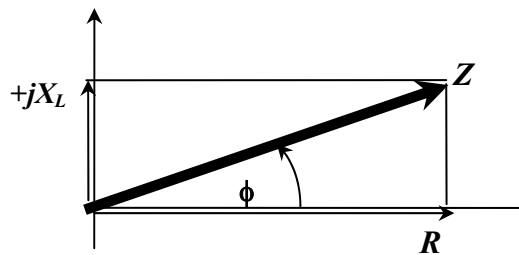
impedansi pada resistor

$$Z_L = jX_L = j\omega L$$

impedansi pada induktor

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

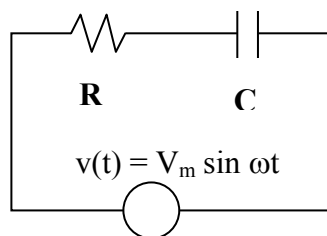
Diagram fasor untuk rangkaian RL -seri adalah



Sudut fase impedansi terhadap arus pada rangkaian RL -seri adalah

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R} \right)$$

15.12. Perumusan Impedansi Rangkaian RC -seri



Impedansi untuk RC -seri adalah
 $Z = Z_R + Z_C = R + (-jX_C) = R - jX_C$

untuk $X_C = \frac{1}{\omega C}$ = reaktansi
kapasitif [ohm]

Impedansi pada kapasitor

$$Z_C = -jX_C = -j\frac{1}{\omega C}$$

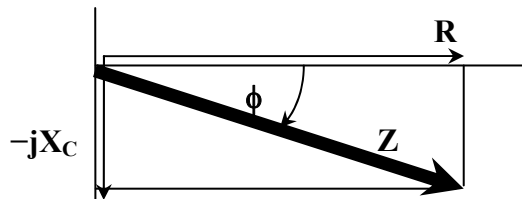
Besar impedansi rangkaian RC-seri adalah

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Sudut fase rangkaian RC-seri adalah

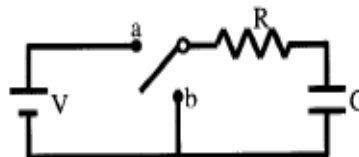
$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{-X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{-1}{R\omega C}\right)$$

Diagram fasor untuk rangkaian RC-seri adalah



Contoh Soal 10.3.

Suatu rangkaian RC-seri dengan $R = 100 \text{ k}\Omega$, baterai dengan ggl $\varepsilon = 50$ volt, dan kapasitor dengan $C = 4,7 \text{ }\mu\text{F}$. Saat awal kapasitor belum bermuatan. Tentukanlah:



- Arus awal yang melalui resistor saat sakelar ditutup (posisi sakelar di a)
- Tegangan pada kapasitor 0,09 s dari sakelar ditutup.
- Setelah kapasitor termuati secara penuh, skalar dilepas, baterai tak tersambung, tentukan muatan pada kapasitor setelah 0,47 s dari dileasnya baterai tersebut.

Penyelesaian

a. Arus awal yang melalui resistor saat sakelar ditutup

$$V = RI_0$$

$$I_0 = \frac{V}{R} = \frac{50 \text{ volt}}{100 \Omega} = \boxed{5 \times 10^{-4} \text{ A}}$$

b. Tegangan pada kapasitor 0,09 s dari sakelar ditutup

$$Q(t) = Q_{\max} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = CV \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$Q(t) = C V(t)$$

$$V(t) = \frac{Q(t)}{C} = V \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$V(t) = (50 \text{ volt}) \left(1 - e^{-\frac{0,09 \text{ s}}{(100 \times 10^3 \Omega)(4,7 \times 10^{-6} \text{ F})}}\right)$$

$$V(t = 0,09 \text{ s}) = \boxed{8,71 \text{ volt}}$$

c. Persamaan untuk saat pelepasan muatan pada kapasitor adalah

$$Q(t) = Q_{\max} e^{-\frac{t}{RC}} = CV e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$Q(0,47 \text{ s}) = (4,7 \times 10^{-6} \text{ F})(50 \text{ volt}) e^{-\frac{0,47 \text{ s}}{(100 \times 10^3 \Omega)(4,7 \times 10^{-6} \text{ F})}}$$

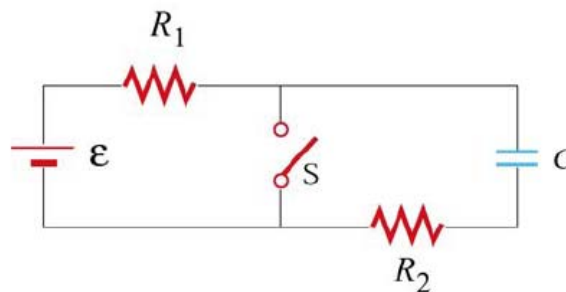
$$Q(0,47 \text{ s}) = \boxed{8,65 \times 10^{-5} \text{ C}}$$

Contoh Soal 10.4.

Tinjau rangkaian RC -seri dengan dua resistor R_1 dan R_2 dan satu kapasitor C disambungkan dengan baterai ε oleh sakelar S .

Keadaan awal sakelar S terbuka, saat $t = 0$, sakelar ditutup

- tetapan wakt saat sakelar belum ditutup
- tetapan waktu saat sakelar sudah ditutup
- arus yang melewati sakelar S sebagai fungsi waktu setelah sakelar ditutup.



Penyelesaian:

Sebelum sakelar ditutup, terlihat dua resistor dan satu kapasitor tersambung seri, sehingga tetapan waktu adalah

$$\tau_{\text{sebelum}} = R_{12}C = (R_1 + R_2)C$$

Jumlah muatan yang disimpan dalam kapasitor sesuai dengan

$$Q(t) = C \mathcal{E} \left(1 - e^{-\frac{t}{R_{12}C}}\right)$$

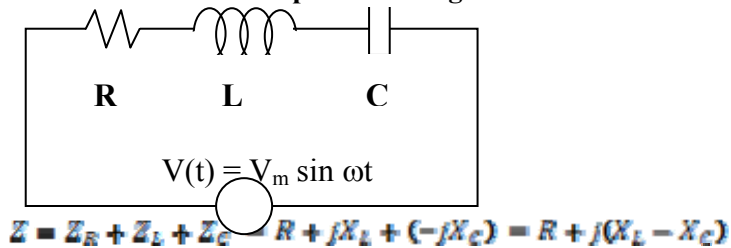
Setelah sakelar ditutup maka terjadi pelepasan muatan kapasitor oleh resistor R_2 sehingga tetapan waktu menjadi $\tau' = R_2C$. Muatan mulai meluruh sesuai dengan

$$Q(t) = C \mathcal{E} e^{-\frac{t}{R_2C}}$$

sehingga arus yang mengalir pada sakelar adalah

$$i(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{-C \mathcal{E}}{R_2C} e^{-\frac{t}{R_2C}}$$

15.13. Perumusan Impedansi Rangkaian RLC-seri



$$Z_R = R$$

impedansi pada resistor

$$Z_L = jX_L = j\omega L$$

impedansi pada induktor

$$Z_C = -jX_C = -j \frac{1}{\omega C}$$

impedansi pada kapasitor

Besar impedansi RLC seri

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

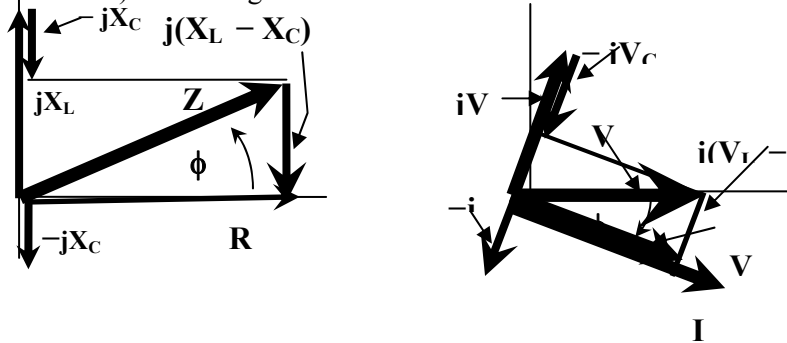
$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

Bila diasumsikan $X_L > X_C$ sehingga $X_L - X_C > 0$ (positif, seperti pada diagram fasor)

Sudut fase rangkaian RLC seri adalah

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right)$$

Diagram fasor untuk impedansi maupun tegangan (dalam skala berbeda) untuk rangkaian RLC seri adalah



15.14. Resonansi pada Rangkaian RLC–seri

Kondisi resonansi dapat terjadi dalam rangkaian RLC–seri apabila saat itu nilai arus pada rangkaian mencapai nilai maksimum. Padahal nilai arus bergantung pada impedansi rangkaian. Jadi, apa makna resonansi dalam kaitannya dengan kondisi rangkaian RLC–seri beserta tegangan sumbernya?

Tinjau rumusan untuk impedansi pada rangkaian RLC–seri yaitu

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

atau

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

sedangkan arus maksimum dalam rangkaian sesuai hukum Ohm adalah

$$I_m = \frac{V_m}{Z}$$

artinya, karena impedansi rangkaian RLC–seri bergantung pada frekuensi sudut sumber tegangan yaitu ω , maka nilai arus maksimum

dalam rangkaian yaitu I_m juga bergantung pada ω . Sehingga arus maksimum I_m hanya dapat mencapai nilai maksimum bila impedansi rangkaian Z memiliki nilai minimum.

Dari rumusan impedansi rangkaian RLC -seri, tampaklah bahwa kondisi resonansi pada rangkaian terjadi apabila:

- Impedansi mencapai nilai minimum:
- $Z = R$ yang berarti impedansi rangkaian RLC -seri sama dengan resistansi total rangkaian.
- $X_L = X_C$ yang berarti besarnya reaktansi induktif sama dengan reaktansi kapasitif rangkaian, sehingga frekuensi sudut kondisi resonansi adalah

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad \text{atau} \quad \omega_{\text{resonansi}} = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

- Sudut fase rangkaian RLC -seri adalah $\phi = 0$, karena $\tan \phi = 0$, sesuai dengan

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) = \tan^{-1} 0 = 0$$

- Faktor Daya mencapai nilai maksimum yaitu

$$\cos \phi = \cos 0 = 1$$

- Daya rerata dalam rangkaian juga mencapai nilai maksimum sesuai dengan rumusan bahwa besar sudut fase ϕ terkait dengan besaran daya rerata melalui

$$P_{\text{rerata}} = \frac{1}{2} I_m V_m \cos \phi = I_{\text{rms}} V_{\text{rms}} \cos \phi = I_{\text{ef}} V_{\text{ef}} \cos \phi$$

sedangkan nilai maksimum tegangan rms atau biasa disebut tegangan efektif pada resistor adalah

$$V_{R,\text{maks}} = V_{Rm} = V_m \cos \phi$$

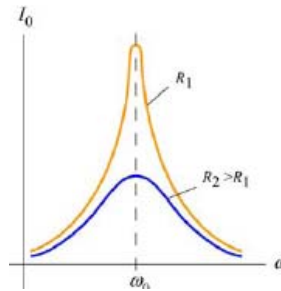
atau

$$V_{R,\text{ef}} = V_{\text{ef}} \cos \phi$$

$$P_{\text{rerata}} = \frac{1}{2} I_m V_{Rm} = I_{\text{rms}} V_{R,\text{rms}} = I_{\text{ef}} V_{\text{ef}}$$

artinya, daya rerata pada resistor atau pada rangkaian mencapai nilai maksimum pula.

Hubungan antara arus maksimum terhadap frekuensi menunjukkan bahwa adanya kapasitor akan memotong frekuensi rendah dan sedangkan adanya induktor memotong frekuensi tinggi. Frekuensi pada saat terjadinya arus maksimum disebut “frekuensi resonansi”.

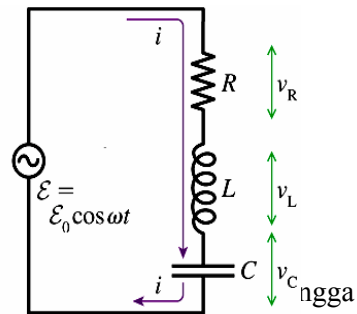


15.15. Ringkasan Rangkaian RLC -seri dalam Arus Bolak Balik

Tinjau suatu rangkaian seri terdiri atas resistor, induktor dan kapasitor yang biasa disebut rangkaian RLC -seri seperti pada gambar. Sesuai dengan hukum kedua Kirchhoff untuk loop tertutup maka

$$\varepsilon = v_R + v_L + v_C$$

Karena adanya elemen induktif dan kapasitor pada umumnya antara arus dengan tegangan tidak setase. Bila tegangan sumber adalah $\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t$



Maka arus sesaat (yang berubah terhadap waktu) dapat ditulis

$$i = i_m \cos(\omega t - \phi)$$

yang berarti bahwa ϕ adalah sdt fase antara arus i terhadap tegangan sumber ε . Artinya, bila $v_L > v_C$ maka arus i terlambat terhadap ε dan diperoleh nilai $\phi > 0$.

Sebaliknya, apabila $v_L < v_C$ maka arus i mendahului tegangan sumber ε , dan menghasilkan nilai sudut fase $\phi < 0$.

Sesuai dengan diagram fase terhadap fasor rangkaian RLC -seri, maka

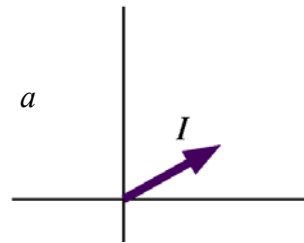
$$\varepsilon_m^2 = v_R^2 + (v_L - v_C)^2$$

$$\varepsilon_m^2 = [R^2 + (X_L - X_C)^2] I^2$$

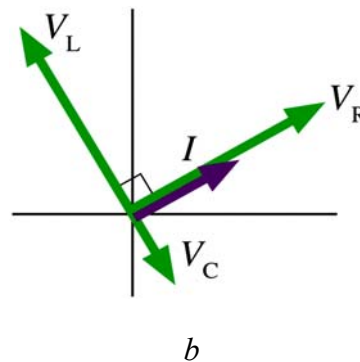
$$I = \frac{\mathcal{E}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{\mathcal{E}}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

Berikut adalah telaah Diagram pada Rangkaian RLC–seri dalam Arus Bolak Balik (ac)

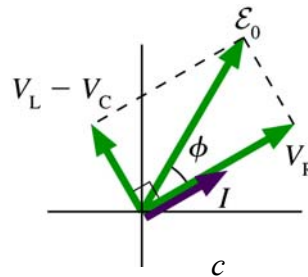
Gambar (a) di samping adalah menggambarkan vektor arus I pada sembarang sudut atau sembarang waktu. Semua elemen R , L dan C memiliki arus yang sama, sesuai dengan kaidah rangkaian seri.



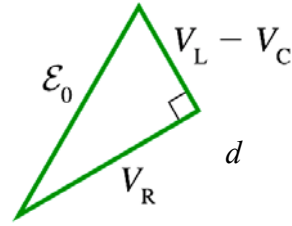
Gambar (b) di samping adalah menggambarkan tegangan pada resistor V_R sefase dengan arus I pada rangkaian. Juga ditunjukkan tegangan pada induktor V_L yang 90° mendahului fase arus I . Sedangkan tegangan pada kapasitor V_C memiliki fase yang 90° tertinggal terhadap fase arus I . sembarang sudut atau sembarang waktu. Semua elemen R , L dan C memiliki arus yang sama, sesuai dengan kaidah rangkaian seri.



Gambar (c) di samping adalah menggambarkan tegangan sumber \mathcal{E}_0 merupakan resultan dari tegangan pada resistor V_R dengan $V_L - V_C$. Sudut fasor ωt menyatakan perubahan gaya gerak listrik (GGL) bergantung terhadap waktu melalui $\mathcal{E}_m \cos \omega t$.



Gambar (d) di samping adalah menggambar vektor fasor V_R dan $V_L - V_C$ membentuk segitiga siku siku dengan ϵ_m sebagai sisi miring. Sehingga berlaku $\epsilon_m^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2$.



Contoh Soal 10.5.

Suatu rangkaian RLC -seri dihubungkan dengan generator arus bolak balik yang memiliki tegangan maksimum 125 volt dan arus maksimum 3,20 A. Ternyata fase arus mendahului 60° terhadap fase tegangan sumber. Tentukan

- Impedansi rangkaian RLC -seri tersebut.
- Resistansi dalam rangkaian.
- Apakah rangkaian lebih bersifat induktif atau kapasitif

Penyelesaian:

- Gunakan hukum Ohm untuk Arus Bolak Balik yaitu

$$I_m = \frac{\epsilon_m}{Z}$$

$$Z = \frac{\epsilon_m}{I_m} = \frac{125 \text{ volt}}{3,20 \text{ A}} = 39,1 \Omega$$

- Karena diketahui bahwa fase arus mendahului 60° artinya bila tegangan sesaat pada sumber adalah

$$v(t) = V_m \sin(\omega t)$$

maka arus sesaat pada rangkaian RLC -seri adalah

$$i(t) = I_m \sin(\omega t - \phi) = I_m \sin(\omega t - 60^\circ)$$

sehingga nilai sudut fase memenuhi hubungan

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$R \tan \phi = R \tan 60^\circ = R (1,73) = X_L - X_C$$

Impedansi pada rangkaian RLC -seri adalah

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

$$Z^2 = R^2 + (X_L - X_C)^2 = R^2 + (R \tan \phi)^2 = R^2(1 + \tan^2 \phi)$$

$$Z^2 = R^2(1 + 1,73^2)$$

$$R = \frac{Z}{\sqrt{1 + 1,73^2}} = \frac{39,1}{\sqrt{1 + 3}} = 19,55 \Omega$$

- c. Karena nilai X_L lebih kecil dibandingkan dengan X_C maka dikatakan bahwa rangkaian bersifat kapasitif.

Contoh Soal 10.6.

Suatu rangkaian RLC -seri dihubungkan dengan sumber tegangan dengan amplitudo tegangan 6 volt. Sudut fase arus adalah $+30^\circ$. Bila beda potensial pada kapasitor mencapai nilai positif maksimum + 5 volt, tentukan beda potensial pada induktor (termasuk tanda positif atau negatifnya)

Penyelesaian:

- a. Misalkan sumber tegangan Arus Bolak Balik memiliki tegangan sesaat yaitu

$$v(t) = V_m \sin(\omega t)$$

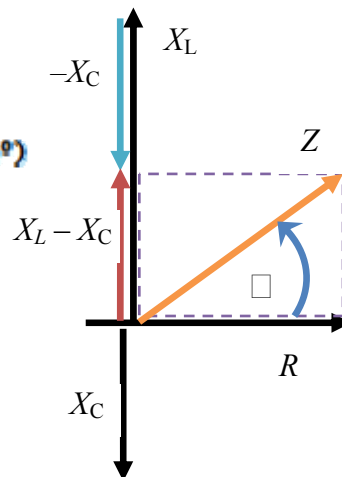
maka arus sesaat pada rangkaian RLC -seri tersebut adalah

$$i(t) = I_m \sin(\omega t + \phi) = I_m \sin(\omega t + 30^\circ)$$

karena telah diketahui bahwa fase arus adalah tertinggal terhadap fase tegangan sumber sebesar $\phi = +30^\circ$.

Tegangan pada kapasitor adalah

$$v_C(t) = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int_0^t i(t) dt$$



$$v_C(t) = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int i_m \sin(\omega t + 30^\circ) dt = \frac{i_m}{\omega C} \int i_m \sin(\omega t + 30^\circ) d(\omega t + 30^\circ) = \frac{-i_m}{\omega C} \cos(\omega t + 30^\circ)$$

$$v_C(t) = \frac{i_m}{\omega C} \sin\left(\omega t + 30^\circ - \frac{\pi}{2}\right)$$

artinya, agar tegangan pada kapasitor maksimum, maka

$$\omega t + 30^\circ - \frac{\pi}{2} = \frac{\pi}{2}$$

$$\omega t = \pi - 30^\circ$$

pada tegangan sesaat pada kapasitor adalah maksimum yaitu

$$v_{C,\text{maks}}(t) = V_m \sin(\omega t) = V_m \sin(\pi - 30^\circ) = V_m \sin(30^\circ) = \frac{V_m}{2}$$

$$v_{C,\text{maks}} = +3 \text{ volt}$$

Gunakan hukum kedua Kirchhoff untuk *loop* tertutup dengan $V_R = 0$

karena $i = 0$

$$V_m - V_R - V_L - V_C = 0$$

$$3 - 0 - V_L - 5 = 0$$

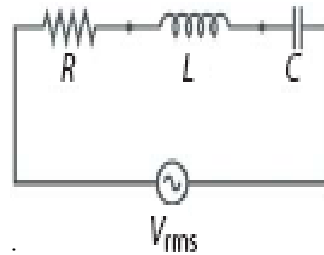
$$V_L = +2 \text{ volt}$$

Contoh Soal 10.7.

Tinjau rangkaian *RLC*-seri yang terdiri atas resistor $R = 8 \Omega$; $L = 2 \text{ mH}$ dan $C = 500 \mu\text{F}$ dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik yang memiliki tegangan rms 6 volt dan frekuensi 700 Hz.

Tentukan :

- Tuliskan persamaan *loop* untuk rangkaian.
- Gambarkan diagram fasor untuk tegangan dalam rangkaian tersebut.
- Nilai rms untuk arus pada rangkaian.
- Jelaskan hubungan antara fase arus sesaat terhadap tegangan yang dikenakan pada rangkaian.

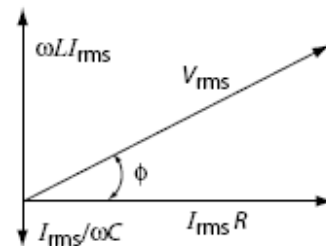


Penyelesaian:

- Persamaan hukum kedua Kirchhoff untuk *loop* dalam rangkaian adalah

$$V - IR - L \frac{di}{dt} - \frac{Q}{C} = 0$$

- Untuk menggambarkan diagram fasor rangkaian tersebut adalah



Reaktansi induktif adalah

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2\pi(700 \text{ Hz})(2 \times 10^{-2} \text{ H}) = 8,7968 \Omega$$

Reaktansi kapasitif adalah

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(700 \text{ Hz})(3 \times 10^{-4} \text{ H})} = 0,4547 \Omega$$

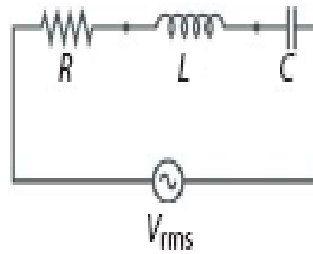
Impedansi total pada rangkaian adalah

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{8^2 + (8,7968 \Omega - 0,4547 \Omega)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{64 + (8,7968 \Omega - 0,4547 \Omega)^2}$$

Contoh Soal 10.8.

Suatu rangkaian RLC -seri dengan resistor $R = 5 \Omega$; induktor $L = 40 \text{ mH}$ dan kapasitor $C = 300 \text{ nF}$, dihubung dengan sumber tegangan yang memiliki frekuensi 1000 Hz



Penyelesaian:

a. Reaktansi induktif adalah

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2\pi(1000 \text{ Hz})(40 \times 10^{-3} \text{ H}) = 251,3 \Omega$$

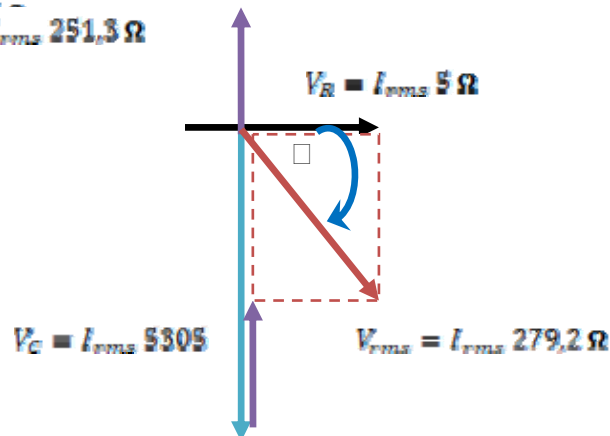
Reaktansi kapasitif adalah

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(1000 \text{ Hz})(300 \times 10^{-9} \text{ H})} = 530,5 \Omega$$

Impedansi total pada rangkaian adalah

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{5^2 + (251,3 \Omega - 530,5 \Omega)^2}$$

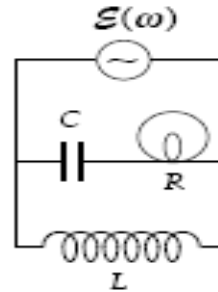
$$Z = V_L = I_{rms} 251,3 \Omega$$



Contoh Soal 10.9.

Pada rangkaian arus bolak balik bila frekuensi bertambah besar sedangkan nilai maksimum gaya gerak listrik (GGL) ε konstan, maka kecerahan lampu dengan resistansi R menjadi

- Berkurang
- Bertambah**
- Tidak berubah
- Perubahan hanya bergantung pada induktor L .



Penjelasan: Reaktansi kapasitif $X_C = 1/\omega C$ bila frekuensi bertambah besar X_C berku-rangkaian. Dalam hubungan paralel maka beda potensial RC -seri dan L sama besar, sehingga arus pada RC -seri lebih besar.

Contoh Soal 10.10.

Suatu rangkaian RLC -seri dengan nilai kapasitansi 1 pF, dihubungkan dengan generator yang memiliki nilai tegangan rms 10 volt. Bila rangkaian mengalami resonansi pada frekuensi sudut $\omega_0 = 10^7$ 1/s.

- Tentukan induktansi
- Jika tegangan pada kapasitor adalah 100 volt, tentukan nilai arus rms.
- tentukan resistansi.

Penyelesaian:

Keadaan resonansi dengan frekuensi sudut

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Induktansi L

$$L = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{\left(10^7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 (10^{-12} \text{ F})} = 0,01 \text{ H}$$

Tegangan rms pada kapasitor

$$V_{C,rms} = I_{C,rms} X_C = I_{C,rms} \left(\frac{1}{\omega C}\right)$$

Arus rms pada kapasitor

$$I_{C,rms} = V_{C,rms} (\omega C) = (100 \text{ volt}) \left(10^7 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) (10^{-12} \text{ F}) = 0,001 \text{ A}$$

pada keadaan resonansi

$$Z = R$$

Tegangan rms $\varepsilon = IZ = IR$

$$R = \frac{\varepsilon}{I} = \frac{10 \text{ volt}}{0,001 \text{ A}} = 10.000 \Omega = 10 \text{ k}\Omega$$

Contoh Soal 10.11.

Dalam rangkaian RLC -seri nilai tegangan pada induktor lebih besar daripada tegangan pada kapasitor. Untuk meningkatkan arus dapat dilakukan untuk

- Memperbesar frekuensi generator
- Memperbesar kapasitansi
- Memperbesar induktansi
- Memperkecil induktansi dan kapasitansi**

Penjelasan:

- Memperbesar frekuensi generator
Memperbesar frekuensi, berarti reaktansi induktif
 $X_L = \omega L = 2\pi fL$ akan makin besar sedangkan reaktansi

kapasitif $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$ semakin kecil. Artinya, $X_L - X_C$

semakin besar. Karena impedansi total $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ juga makin besar, maka arus $I =$

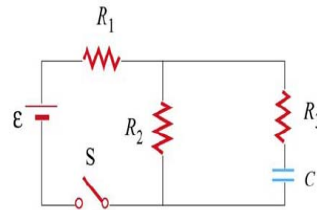
- Memperbesar kapasitansi
- Memperbesar induktansi
- Memperkecil induktansi dan kapasitansi**

15.16. SOAL UJI KOMPETENSI

Soal 15.1

Diketahui $\varepsilon = 40 \text{ V}$; $R_1 = 8 \Omega$; $R_2 = 6 \Omega$ $R_3 = 4 \Omega$ dan $C = 4 \mu\text{F}$
 Saat awal kapasitor tidak bermuatan.

- Bila saat $t = 0$, tentukan arus pada setiap cabang sesaat setelah sakelar ditutup.
- Tentukan muatan akhir pada kapasitor



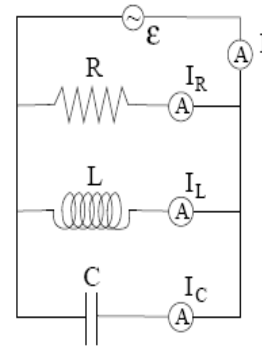
Soal 15.2

Tinjau tegangan sumber untuk arus bolak balik (ac) $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \cos \omega t$ dikenakan pada rangkaian RLC -paralel sehingga menghasilkan arus bolak balik (ac) $I = I_{\max} \cos(\omega t - \delta)$.

- Nyatakanlah arus maksimum I_{\max} dan sudut fase δ pada rangkaian
- Nyatakanlah arus pada R , L , dan C .

Catatan:

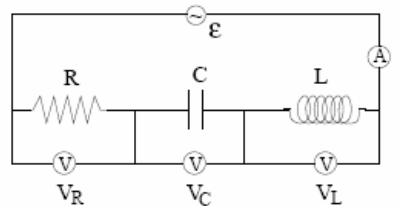
- Untuk RLC -paralel dalam rangkaian arus bolak balik (ac) semua arus merupakan fungsi waktu.
- Pada umumnya masing masing arus memiliki beda fase.
- Fase arus pada resistor sama dengan fase tegangan sumber.
- Secara vektor berlaku penjumlahan $I = I_R + I_L + I_C$



Soal 15.3

Tinjau tegangan sumber untuk arus bolak balik (ac) $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \cos \omega t$ dikenakan pada rangkaian RLC -seri sehingga menghasilkan arus bolak balik (ac) $I = I_{\max} \cos(\omega t - \delta)$.

- Nyatakanlah arus maksimum I_{\max} dan sudut fase δ pada rangkaian
- Nyatakanlah arus pada R , L , dan C .



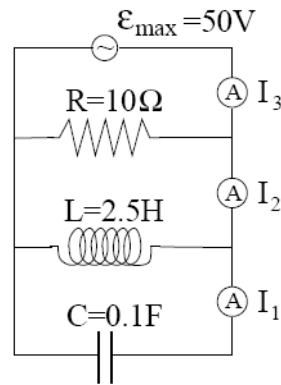
Catatan:

- Berlaku hukum lomp tertutup
- $$\varepsilon - V_R - V_L - V_C = 0$$
- Untuk RLC -seri dalam rangkaian arus bolak balik (ac) semua tegangan merupakan fungsi waktu.
 - Pada umumnya masing masing tegangan memiliki beda fase.
 - Fase tegangan pada resistor sama dengan fase arus sumber.
 - Secara vektor berlaku penjumlahan $I = I_R + I_L + I_C$

Soal 15.4

Tinjau tegangan sumber untuk arus bolak balik (ac) $\varepsilon_{\max} = 50 \text{ V}$, dihubungkan pada rangkaian RLC -paralel untuk $R = 10 \Omega$; $L = 2,5 \text{ H}$ dan $C = 0,1 \text{ F}$ dan frekuensi sudut $\omega = 2 \text{ rad/s}$.

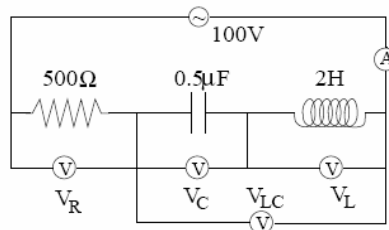
Hitunglah arus maksimum I_R , I_L dan I_C masing masing pada elemen R , L , dan C .



Soal 15.5

Tinjau rangkaian RLC -seri yang dihubungkan dengan sumber tegangan bolak balik dengan amplitudo tegangan $\varepsilon_{\max} = 100 \text{ V}$, frekuensi sudut sumber adalah $\omega = 1000 \text{ rad/s}$ dan nilai $R = 500 \Omega$; $L = 2 \text{ H}$ dan $C = 0,5 \mu\text{F}$. Tentukanlah

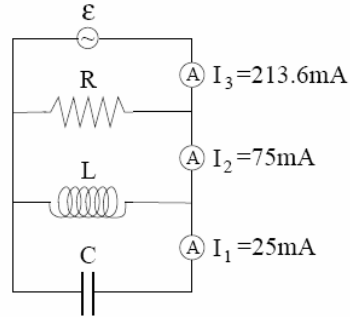
- Impedansi rangkaian.
- Arus maksimum I_{\max}
- Sudut fase δ pada rangkaian
- amplitudo tegangan V_R , V_L dan V_C dan V_{LC} masing masing pada R , L , C dan LC



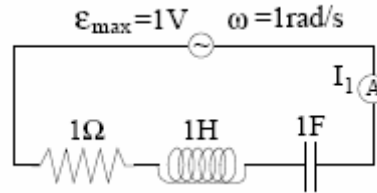
Soal 15.6

Diketahui arus maksimum I_R , I_L dan I_C yang melewati masing masing cabang rangkaian RLC -paralel setelah dihubungkan dengan sumber arus bolak balik yang memiliki amplitudo tegangan $\epsilon_{\max} = 100$ V dan frekuensi sudut $\omega = 500$ rad/s. Tentukan nilai

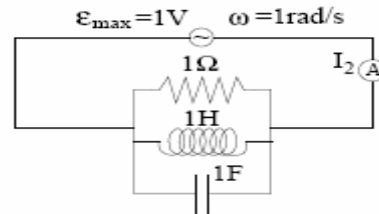
- resistansi R
- induktansi L
- kapasitansi C

Soal 15.7

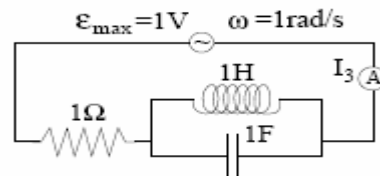
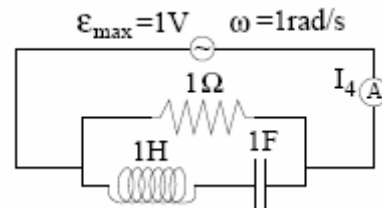
Tentukan amplitudo arus dalam rangkaian berikut

Soal 15.8

Tentukan amplitudo arus dalam rangkaian berikut

Soal 15.9

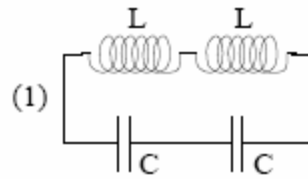
Tentukan amplitudo arus dalam rangkaian berikut

Soal 15.10

Tentukan amplitudo arus dalam rangkaian berikut

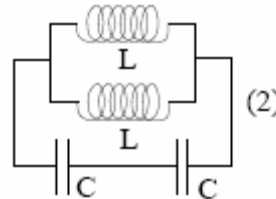
Soal 15.11

Bila diketahui nilai Induktansi $L = 2,5 \text{ H}$ dan $C = 0,1 \text{ F}$ dalam rangkaian LC . Tentukan frekuensi osilasi rangkaian tersebut.



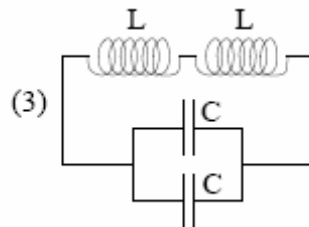
Soal 15.12

Bila diketahui nilai Induktansi $L = 2,5 \text{ H}$ dan $C = 0,1 \text{ F}$ dalam rangkaian LC . Tentukan frekuensi osilasi rangkaian tersebut.



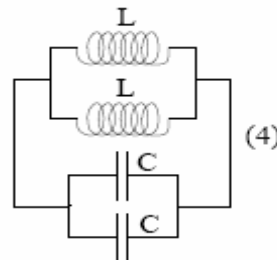
Soal 15.13

Bila diketahui nilai Induktansi $L = 2,5 \text{ H}$ dan $C = 0,1 \text{ F}$ dalam rangkaian LC . Tentukan frekuensi osilasi rangkaian tersebut.



Soal 15.14

Bila diketahui nilai Induktansi $L = 2,5 \text{ H}$ dan $C = 0,1 \text{ F}$ dalam rangkaian LC . Tentukan frekuensi osilasi rangkaian tersebut.



Soal 15.15

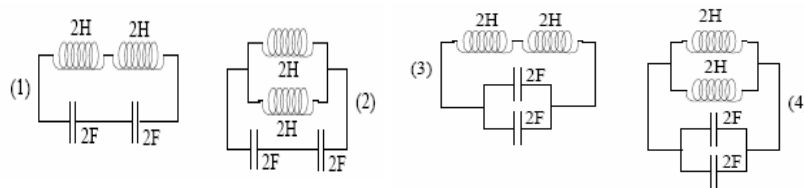
Tinjau rangkaian RLC -seri dengan Induktansi $L = 88 \text{ mH}$; kapasitansi $C = 0,94 \text{ }\mu\text{F}$ dan resistor R yang belum diketahui nilai resistansinya. Rangkaian RLC -seri tersebut dihubungkan dengan generator arus bolak balik (ac) dengan $\varepsilon = \varepsilon_{\max} \cos(\omega t)$ dan amplitudo tegangan $\varepsilon_{\max} = 24 \text{ V}$; frekuensi $f = 930 \text{ Hz}$ dan sudut fase $\delta = 75^\circ$. Tentukan

- resistansi R
- amplitudo arus I_{\max}
- energi maksimum yang tersimpan dalam induktor
- energi maksimum yang tersimpan dalam kapasitor
- waktu t_1 yang diperlukan untuk mencapai arus maksimum I_{\max}
- waktu t_2 yang diperlukan untuk mencapai muatan maksimum pada kapasitor Q_{\max}

Soal 15.16

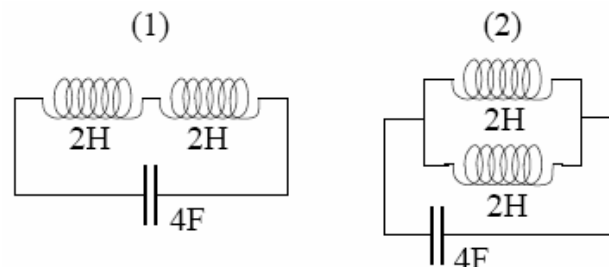
Pada saat $t = 0$, setiap kapasitor memiliki muatan $Q = 2 \text{ C}$, semua arus adalah nol.

- Waktu t_1 yang diperlukan saat pertama kali kapasitor mengalami pelucutan muatan.
- Tentukan energi yang tersimpan dalam induktor saat t_1 tersebut.
- Selesaikanlah untuk rangkaian (1), (2), (3) dan (4)



Soal 15.17

Tinjau dua rangkaian LC berikut. Jika muatan maksimum pada kapasitor adalah $Q_{\max} = 3 \text{ C}$, berapakah nilai arus maksimum I_{\max} yang melewati induktor pada setiap rangkaian berikut.



15.7 RANGKUMAN

- a. Resistor merupakan elemen listrik yang memakai energi listrik yang diterimanya menjadi energi panas. Artinya energi yang dilewatkan pada resistor akan hilang, tidak dapat kembali pada rangkaian listrik tersebut.
- b. Induktor merupakan elemen listrik yang memiliki
- c. kemampuan menyimpan energi listrik yang melewatinya. Artinya bila suatu induktor telah dilewati arus listrik, maka induktor akan menyimpan sebagian energi listrik yang diterimanya tersebut. Nanti sebagian energi tersebut dapat dipulihkan kembali kepada rangkaian listrik tersebut apabila arus sudah tidak mengalir. Induktor juga dapat sebagai filter karena memiliki impedansi yang bergantung frekuensi. Bila frekuensi arus atau tegangan yang lewat besar maka impedansi induktor besar pula. Artinya induktor akan menghalanginya. Sebaliknya bila frekuensi arus atau tegangan yang lewat rendah, maka impedansi induktor juga rendah dan induktor meloloskan arus tersebut.
- d. Kapasitor memiliki sifat yang serupa dengan induktor yaitu mampu menyimpan energi listrik yang mengenainya. Namun impedansi untuk kapasitor adalah kebalikan dari impedansi induktor. Sehingga prinsip kerjanya juga berkebalikan. Cobalah berikan uraiannya.
- e. Resonansi merupakan gejala pencapaian nilai arus maksimum dalam suatu rangkaian yang dikenai arus bolak balik. Prinsip kerja radio adalah merupakan penerapan gejala resonansi tersebut. Berbagai kondisi yang terkait dengan gejala resonansi misal adalah rangkaian memiliki daya maksimum, rangkaian memiliki faktor daya maksimum atau satu, atau Impedansi kapasitif sama dengan impedansi induktif atau impedansi total sama dengan resistansi rangkaian atau juga impedansi rangkaian adalah minimum.

DAFTAR PUSTAKA

- Tippler, Paul A, 1998, *Fisika Untuk Sains dan Teknik*, Alih Bahasa Lea Prasetio, Rahmat W Adi, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Douglas C Giancoli, *FISIKA*, Jilid 1 Edisi 5, Alih Bahasa Yulhiza Hanum, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Marthen Kanginan, 2006, *Fisika Untuk SMA Kelas IX,X, dan XI*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Raymond Serway, et. al, *Physics for Scientists and Engineers*, Saunders College Publishing, New York.
- Dosen-Dosen Fisika FMIPA ITS, 1998, *Diktat Fisika Dasar I*, Yanasika ITS.
- Lawrence H Van Vlack, *“Elements of Materials Science and Engineering”* Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1985
- William D Callister Jr, *“Materials Science and Engineering” An Introduction*, John Willey and Sons, Singapore, 1986
- O’Dwyer, John J, 1984, *College Physics*, Wadsworth, Inc, USA
- Lawrence H Van Vlack, *“Elements of Materials Science and Engineering”* Addison-Wesley Publishing Company, USA, 1985
- William D Callister Jr, *“Materials Science and Engineering” An Introduction*, John Willey and Sons, Singapore, 1986
- Dikmenjur, *Bahan Ajar Modul Manual Untuk SMK Bidang Adaptif Mata Pelajaran Fisika*, 2004.
- Dra. Ety Jaskarti S, Drs. Iyep Suryana, 1994, *Fisika untuk SMK Kelompok Teknologi dan Industri Program Studi Belmo*, Tingkat 1 Catur wulan 1,2, dan 3, Penerbit ANGKASA Bandung.

Glosarium

Akurasi: Berkaitan dengan ketepatan, hasil pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya.

Angka penting: Angka-angka hasil pengukuran yang terdiri dari angka pasti dan angka taksiran.

Besaran: Sesuatu yang memiliki kuantitas/nilai dan satuan.

Besaran pokok: Besaran yang satuannya didefinisikan sendiri melalui konferensi internasional.

Besaran turunan: Besaran-besaran yang satuannya diturunkan dari besaran pokok.

Dimensi: Salah satu bentuk deskripsi suatu besaran.

Jangka sorong: Alat ukur panjang dengan nonius geser, umumnya memiliki ketelitian hingga 0,1 mm atau 0,05 mm.

Kilogram (kg) Satuan SI untuk massa.

Massa benda: Jumlah materi yang terkandung dalam suatu benda.

Meter (m): Satuan SI untuk panjang.

Mikrometer sekrup: Alat ukur panjang dengan nonius putar, umumnya memiliki ketelitian hingga 0,01 mm.

Neraca lengan: Alat ukur massa.

Neraca pegas: Alat ukur gaya, termasuk gaya berat.

Newton (N): Satuan SI untuk gaya.

Nonius: Skala tambahan yang membagi skala utama menjadi nilai/kuantitas lebih kecil.

Panjang: Jarak antara dua titik.

Paralaks: Kesalahan yang terjadi karena pemilihan posisi atau sudut pandang yang tidak tegak lurus.

Pengukuran: Kegiatan membandingkan suatu besaran dengan besaran lain sejenis yang digunakan sebagai satuan.

Presisi: Berkaitan dengan ketelitian, pengukuran yang mengandung ketidakpastian kecil.

Sekon: Satuan SI untuk waktu.

Skala terkecil: Skala pada alat ukur yang nilainya paling kecil, dibatasi oleh dua garis skala yang paling dekat.

SI Sistem Internasional: sistem satuan yang berbasis sistem metrik.

Stopwatch: Alat pengukur waktu.

Termometer: Alat pengukur temperatur.

Waktu: Selang antara dua kejadian atau peristiwa.

Besaran: Sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan angka.

Besaran scalar:

- Besaran yang cukup dinyatakan dengan suatu angka.
- Besaran yang hanya memiliki besar (nilai) saja.

Besaran vector:

- Besaran yang harus dinyatakan dengan suatu angka dan arah
- Besaran yang memiliki arah dan besar (nilai)

Gerak jatuh bebas: Gerak suatu benda yang dijatuhkan dari suatu ketinggian tanpa kecepatan awal

Gerak lurus beraturan: Gerak benda pada garis lurus yang pada selang waktu sama akan menempuh jarak yang sama.

Gerak lurus berubah beraturan Gerak benda yang lintasannya pada garis lurus dengan perubahan kecepatan tiap selang waktu adalah tetap.

Gerak vertikal: Gerak suatu benda pada arah vertikal terhadap tanah, yang selama geraknya benda itu dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi.

Gerak vertikal ke atas: Gerak benda yang dilempar vertikal ke atas dengan kecepatan awal tertentu. Pada kasus gerak vertikal ke atas terdapat dua kejadian yaitu gerak vertikal naik dan gerak vertikal turun.

Gerak vertikal ke bawah: Gerak benda yang dilempar vertikal ke bawah dengan kecepatan awal tertentu

Gradien: Kemiringan suatu garis/kurva

Jarak: Panjang lintasan sesungguhnya yang ditempuh oleh suatu benda dalam waktu tertentu, dan tidak bergantung pada arah sehingga jarak selalu memiliki tanda positif (+).

Kedudukan: Letak suatu materi yang dinyatakan terhadap suatu titik sembarang (titik acuan).

Kuadran: Daerah pada sumbu koordinat yaitu di atas sumbu x positif dan di sebelah kanan sumbu y positif.

Lintasan:

- Jalan yang dilalui suatu materi/benda yang bergerak.
- Titik berurutan yang dilalui suatu benda yang bergerak.

Percepatan: Penambahan kecepatan per satuan waktu.

Perpindahan: Perubahan kedudukan awal dan akhir suatu benda karena adanya perubahan waktu dan tidak bergantung pada jalan mana yang ditempuh oleh benda.

Pewaktu ketik (ticker timer): Alat yang dapat digunakan untuk menentukan kelajuan sesaat dan percepatan suatu benda yang bergerak.

Titik acuan: Titik pangkal pengukuran.

Perlambatan: Pengurangan kecepatan per satuan waktu.

Gerak melingkar beraturan Gerak yang lintasannya melingkar dengan kelajuan konstan.

Kecepatan linier: Kecepatan gerak melingkar yang arahnya selalu tegak lurus jari-jari lingkaran.

Kecepatan sudut: Perpindahan sudut persatuan waktu

Percepatan sentripetal: Perubahan kecepatan persatuan waktu pada gerak melingkar yang arahnya selalu ke pusat lingkaran.

Gaya sentripetal: Gaya yang mengakibatkan percepatan sentripetal.

Percepatan sentrifugal: Percepatan yang dihasilkan adanya gaya sentrifugal.

Gaya sentrifugal: Gaya inersial yang besarnya sama dan arahnya berlawanan dengan gaya sentripetal. Berdasarkan hukum III Newton gaya setrifugal dan gaya sentripetal merupakan pasangan gaya aksi dan reaksi.

Kelembaman: Mempertahankan dalam keadaan semula baik dalam keadaan bergerak maupun diam.

Gaya Merupakan besaran vektor yang mempunyai nilai besar dan arah, misalnya berat mempunyai nilai 10 m/s^2 arahnya menuju kepusat bumi.

Gaya aksi: Gaya yang diberikan oleh benda pertama kepada benda kedua.

Gaya reaksi: Gaya yang diberikan benda kedua sebagai akibat adanya gaya oleh benda pertama, yang mempunyai besar sama dengan gaya aksi tetapi arahnya berlawanan.

Percepatan: Merupakan vektor yang dapat menyebabkan kecepatan berubah seiring perubahan waktu.

Gaya Normal: Gaya yang ditimbulkan oleh suatu benda pada suatu bidang dan bidang memberikan gaya reaksi yang besarnya sama dengan berat benda yang arahnya tegak lurus bidang.

Gaya Gesek: Merupakan gaya akibat dari gesekan dua buah benda atau lebih yang arah berlawanan dengan arah gerak benda.

Koefisien gesek: Perbandingan antara gaya gesek dengan gaya normal.

Massa: Jumlah materi yang dikandung suatu benda.

Berat: Merupakan gaya yang disebabkan adanya tarikan bumi, sehingga arahnya menuju ke pusat dan besarnya merupakan perkalian antara massa dan percepatan gravitasi.

Usaha: Hasil kali besar perpindahan dengan komponen gaya yang sejajar dengan perpindahan benda.

Gaya: Suatu tarikan atau dorongan yang dapat mengakibatkan perubahan bentuk dan arah gerak pada suatu benda.

Perpindahan: Perubahan kedudukan suatu benda karena mendapat pengaruh gaya.

Joule: Satuan energi dalam MKS atau SI.

Erg: Satuan energi dalam CGS.

Daya: Usaha persatuan waktu.

Watt: Salah satu satuan daya.

Pk: Satuan daya kuda.

Energi Potensial: Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena kedudukannya.

Energi Kinetik: Energi yang dimiliki oleh suatu benda karena kecepatannya.

Energi Mekanik: Penjumlahan antara energi potensial dengan energi kinetik pada sistem tertentu.

Gaya Konservatif: Gaya yang tidak bergantung pada lintasannya namun hanya pada posisi awal dan akhir.

Gaya non Konservatif: Gaya yang bergantung pada lintasannya.

Momentum: Ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda yang sedang bergerak.

Impuls: Perubahan momentum yang dialami benda.

Koefisien Restitusi: Ukuran Kelentingan atau elastisitas suatu

Arus Listrik Searah : Jumlah muatan positif yang mengalir dalam suatu bahan atau media per satuan waktu dari suatu titik yang memiliki potensial listrik tinggi ke titik yang berpotensi listrik rendah.

Medan Listrik: Besar Medan Listrik disuatu titik P didefinisikan sebagai besar gaya listrik per satuan muatan di titik P tersebut.

Resistor merupakan salah satu elemen listrik yang memiliki sifat mengubah energi listrik menjadi energi panas. Sehingga energi listrik tersebut tidak dapat dipulihkan menjadi energi listrik kembali secara langsung.

Resistansi merupakan sifat intrinsik suatu bahan yang memberikan hambatan terhadap aliran muatan listrik di dalam suatu bahan atau materi.

Resistivitas merupakan sifat suatu bahan untuk memberikan hambatan terhadap laju aliran muatan listrik di dalam suatu bahan. Resistivitas merupakan sifat intrinsik yang tidak bergantung pada ukuran dan berat benda.

Beda Potensial Listrik: dapat dimengerti secara lebih mudah dengan cara sebagai berikut Bila diantara dua titik memiliki Beda Potensial sebesar satu volt, berarti bahwa untuk memindahkan muatan satu Coulomb diantara kedua titik tersebut diperlukan energi sebesar satu joule.

Kecepatan derip merupakan nilai laju total perjalanan muatan di dalam suatu bahan atau materi.

Dielektrik: zat yang dapat digunakan untuk memperbesar kapasitansi kapasitor

Kapasitor: piranti elektronik yang terbuat dari dua buah bahan konduktor dan berfungsi untuk menyimpan energi.

Permitivitas: kemampuan suatu bahan untuk menerima fluks listrik

Generator Listrik pada arus bolak balik merupakan sumber tegangan yang digunakan memberikan aliran arus listrik bolak balik. Pengertian bolak balik terkait dengan nilai arus atau tegangan yang dihasilkan selalu berubah terhadap waktu secara sinusoida. Tegangan yang dihasilkan bernilai $+V_{maks}$ sampai dengan $-V_{maks}$. Atau kalau yang dihasilkan generator adalah arus listrik maka akan bernilai antara $+I_{maks}$ sampai dengan $-I_{maks}$.

Arus listrik bolak balik dapat dihasilkan oleh adanya jumlah fluks magnet yang dilingkupi oleh suatu kumparan. Agar proses perubahan fluks magnet tersebut dapat dilakukan secara berulang maka digunakan sistem pemutaran terhadap kumparan tersebut. Hal ini pulalah yang mengakibatkan arus atau tegangan yang dihasilkan adalah sinusoida.

Hukum Kirchhoff dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu Hukum Kesatu Kirchhoff yang menyatakan bahwa muatan yang masuk suatu titik cabang adalah kekal. Artinya jumlah muatan yang masuk sama dengan jumlah muatan yang keluar. Rumusan ini banyak digunakan menyelesaikan soal dengan tipe rangkaian sederhana. Tetapi bila terkait dengan rangkaian yang rumit, dapat digunakan hukum kedua Kirchhoff. Hukum kedua Kirchhoff pada prinsipnya merupakan penerapan hukum kekekalan energi listrik dalam suatu rangkaian. Artinya energi yang diberikan oleh baterai atau suatu sumber energi listrik maka seluruhnya akan digunakan oleh rangkaian tersebut.

Gaya gerak listrik (GGL) merupakan kemampuan suatu bahan untuk memberikan beda potensial contohnya adalah baterai. Artinya bila kedua ujung baterai dihubungkan dengan suatu resistor maka akan terdapat beda potensial pada kedua ujung resistor tersebut. Hal ini berarti baterai memberikan energi pada resistor yaitu untuk menggerakkan muatan listrik di dalam resistor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ISBN 978-602-8320-26-9
ISBN 978-602-8320-29-0

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 17,402,00