

F. SURYATMO

DASAR-DASAR TEKNIK LISTRIK

STAKAAN
WA TIMUR

3



F. SURYATMO

DASAR-DASAR TEKNIK LISTRIK

PENERBIT
RINEKA CIPTA

Perpustakaan Daerah
Jawa Timur

0001 / / / /

MILIK
PERPUSTAKAAN DAERAH
JAWA TIMUR

84.970 YDI R № 96
2/II 1996

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MUSUR PUMPUNG No. 32
SURABAYA

TAHUN ANGGARAN 1996/1997

Cetakan Pertama, Agustus 1992

DASAR-DASAR TEKNIK LISTRIK

Oleh : F. Suryatmo

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak isi buku ini
baik sebagian atau seluruhnya
dalam bentuk apa pun
tanpa izin tertulis
dari Penerbit

Diterbitkan oleh PT. RINEKA CIPTA, Jakarta
Anggota IKAPI

No. RC : 265/92

ISBN : 979-518-234-X

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena hanya atas taufik dan inayah-Nya buku DASAR-DASAR TEKNIK LISTRIK dapat selesai disusun dan diterbitkan pada waktunya. Seperti halnya dengan karya-karya lainnya, buku ini dimaksudkan pula sebagai sumbangan bagi nusa dan bangsa yang sedang membangun, untuk menambah khasanah kepustakaan di bidang kelistrikan.

Materi yang dihimpun dalam buku ini dimaksudkan terutama untuk memenuhi kebutuhan para pelajar STM (Sekolah Teknik Menengah) dan mereka yang terkait dengan masalah kelistrikan. Dalam hubungan ini, uraian dan urutan isi buku disusun sedemikian rupa agar memungkinkan setiap pelajar dan peminat yang memakai buku ini dapat dengan mudah mempergunakannya.

Dalam menyelesaikan penyusunan buku ini, penulis menerima bantuan dan dukungan dari banyak pihak yang telah memberikan sumbangan pikiran bagi penyempurnaan isinya. Kepada semua mereka itu, yang terlalu banyak disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan terima kasih. Akhirnya terima kasih pula kepada Penerbit PT RINEKA CIPTA yang telah bersedia menerbitkan buku ini.

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	v
BAB 1. PENGGUNAAN ISTILAH LISTRIK	1
1. Rincian Penggunaan Listrik	1
2. Pengetahuan tentang Konsumen	6
3. Medan Listrik	8
4. Tenaga Listrik	13
5. Keamanan dan Keselamatan dalam Menggunakan Listrik	13
6. Kuat Arus Listrik	16
7. Contoh-contoh Soal mengenai Kuat Arus Listrik	17
BAB 2. TAHANAN LISTRIK	22
1. Tahanan dan Daya Hantar	22
2. Contoh-contoh Soal Tahanan dan Daya Hantar	25
3. Hukum Ohm	37
4. Contoh-contoh Soal mengenai Hukum Ohm	38
5. Pengaruh Suhu Pada Tahanan	44
BAB 3. USAHA, DAYA MEKANIK DAN DAYA LISTRIK	50
1. Hubungan antara Usaha Mekanik, Panas dan Listrik	53
2. Contoh-contoh Soal Daya dan Usaha Listrik	54
3. Hubungan Deret/Seri Tahanan	62
4. Contoh-contoh Soal Rangkaian Deret	63
5. Hukum Kirchhoff I	73
6. Hubungan Sejajar/Paralel dari Beberapa Tahanan	74

7.	Contoh Soal Hubungan Sejajar/Paralel dari beberapa Tahanan.....	76
8.	Hubungan Majemuk (Campuran)	87
9.	Contoh Soal Hubungan Majemuk	91
10.	Rugi Tegangan dalam Kawat Penghantar ...	96
11.	Contoh Soal Rugi Tegangan dalam Kawat Penghantar	98
12.	Cara Menghitung Panampang Hamparan Listrik	105
BAB 4	DAYA GUNA ATAU EFESIENSI	112
1.	Perhitungan Rendemen untuk Motor Listrik	113
2.	Kerugian dan Rendemen	114
3.	Contoh Soal Kerugian dan Rendemen	116
4.	Rugi Tegangan di dalam Sumber Listrik ...	120
5.	Contoh Soal Rugi Tegangan di dalam Sumber Listrik	122
6.	Kapasitet	130
7.	Kondensator	133
8.	Hubungan Seri dari Beberapa Kondensator	140
9.	Sambungan Paralel dari Kondensator	141
BAB 5.	TEORI KEMAGNITAN DAN KEMAGNITAN LISTRIK	145
1.	Medan Magnit	149
2.	Contoh Soal Kemagnitan Listrik.....	152
3.	Kemagnitan Listrik.....	155
4.	Kesimpulan.....	157
BAB 6.	AKUMULATOR	162
1.	Akumulator Asam atau Akumulator Timbel	162
2.	Lengkung Pengisian dan Lengkung Penye- luaran.....	168
3.	Akumulator Alkali	169
BAB 7.	HUKUM KIRCHOFF KEDUA	172
BAB 8.	MUATAN LISTRIK	184
BAB 9.	BILANGAN KOMPLEKS SEBUTAN SECARA SIMBOLIS	190
BAB 10.	TAHANAN OHM (RESISTANSI) DI DALAM RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK	200
BAB II.	TAHANAN INDUKTIF	204
BAB 12.	REAKTANSI KAPASITIF	210
BAB 13.	HUBUNGAN DERET DENGAN TAHANAN OHM	218
1.	Hubungan Deret dari Gulungan Induksi dengan Tahanan Ohm	218
2.	Hubungan Deret dari Kondensator dan Tahanan Ohm	
3.	Hubungan Deret antara Sebuah Kondensator dari Gulungan	227
4.	Hubungan dari Tahanan Reaktansi Induktif, Tahanan Reaktansi Kapasitif dan Tahanan Ohm	232
BAB 14.	TEGANGAN BOLAK-BALIK	237
1.	Membangkitkan Tegangan Bolak-Balik Ber- bentuk Sinus	237
2.	Contoh Soal	
3.	Daftar Ikhtisar tentang Bermacam-macam dari Harga Tegangan dan Kuat Arus Bolak-Balik	247
4.	Harga Rata-rata dari Arus Bolak-Balik Bentuk Sinus	247
5.	Harga Efektif (Guna).....	251
6.	Faktor Bentuk dan Faktor Puncak	253
BAB 15.	DAYA LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK	256
1.	Kuat Arus dan Daya Listrik Buta	261
2.	Ringkasan Rumus Teknik Listrik II	265
3.	Beberapa Rumus Penting Ilmu Goniometri	271
4.	Rumus Goniometri Hubungan antara 2 Buah Sudut	274
5.	Rumus Goniometri untuk Kelipatan Sudut	275

Bab 1

Penggunaan Istilah Listrik

Pada umumnya kita menggunakan istilah "listrik", jika listrik itu digunakan untuk menjalankan motor listrik, menyalakan lampu, menghasilkan panas dan membuat magnit listrik bekerja. Sebenarnya listrik itu sendiri merupakan suatu bentuk tenaga atau energi yaitu: panas, cahaya, tenaga mekanik dan tenaga kimiawi.

Energi listrik mempunyai beberapa kelebihan dibanding energi yang lain di antaranya adalah:

- a. Lebih mudah disalurkan.
- b. Lebih mudah didistribusikan ke daerah yang lebih luas.
- c. Lebih mudah diubah ke dalam bentuk energi lain. misalnya menjadi energi panas, cahaya atau tenaga mekanik.

1. Rincian Penggunaan Listrik

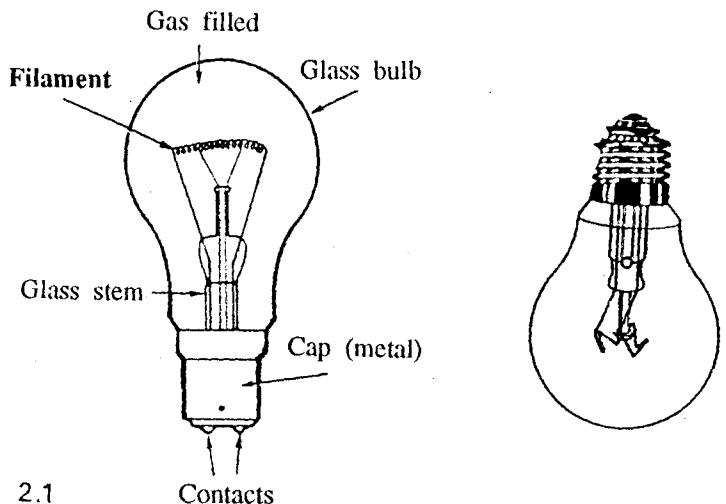
a. Penggunaan listrik untuk menghasilkan cahaya

Jika sepotong kawat logam dipanaskan oleh sebuah lampu Bunsen atau lampu tempel, dalam waktu yang sangat singkat kawat tadi akan bersinar dengan cahaya merah. Kawat logam yang dalam keadaan seperti ini disebut "memijar".

Jika proses pemanasan ini dilanjutkan maka cahaya merah tadi akan menjadi memutih. Untuk tercapainya proses ini diperlukan sejumlah panas yang cukup besar. Proses ini merupakan salah satu konsep dasar pemikiran untuk pembuatan sebuah "lampu pijar listrik biasa". Sebagaimana kita ketahui jika arus listrik mengalir sepanjang kawat yang memiliki hambatan (tahanan), maka arus ini akan menimbulkan energi panas.

Dengan perhitungan yang teliti terhadap kawat (luas penampangannya) dan banyaknya jumlah muatan listrik maka proses memijar ini akan tercapai, maka cahaya putih tadi diubah ke dalam bentuk energi lain yaitu yang biasa disebut: Cahaya.

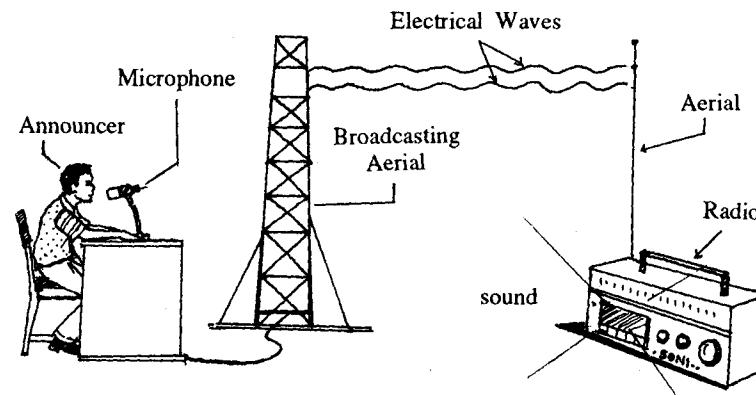
Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah lampu pijar listrik biasa!



Bagian yang terpenting dari lampu pijar ini adalah kaca penutup dan kumparan kecil yang terbuat dari kawat wolfram di mana arus listrik dialirkan. Kumparan ini dinamakan "FILAMEN". Kadang-kadang filamen tersebut dibuat dari sebuah kawat yang berdiameter sangat kecil dan kemudian ditunjang oleh kawat-kawat yang lebih tebal.

c. Penggunaan Listrik untuk Menghasilkan Bunyi

Mesin-mesin yang penting dan berguna yang dapat menghasilkan bunyi, hampir banyak diutamakan untuk kebutuhan dalam kehidupan modern dan hiburan di masa kini. Tentunya anda telah lebih mengenalnya yaitu pesawat penerima (radio) dan telepon. Keseimuanya ini adalah suatu proses perubahan dari listrik ke dalam bentuk bunyi. Pesawat penerima ini tergantung dari gelombang listrik yang merambat melalui media udara dan sebuah stasiun pemancar (lihat gambar di bawah ini)!



Pesawat telepon tidaklah begitu rumit seperti arus listrik yang dialirkan melalui sepanjang kawat dari satu alat ke alat yang lain. Cara yang berlawanan dari pembicaraan akhir dari sebuah telepon mengubah suara ke dalam bentuk listrik. Ini yang biasa kita kenal dengan nama mikrofon. Alat ini juga digunakan dalam stasiun-stasiun pemancar untuk mengubah pembicaraan atau musik ke dalam bentuk gelombang listrik yang kemudian dapat disiarkan.

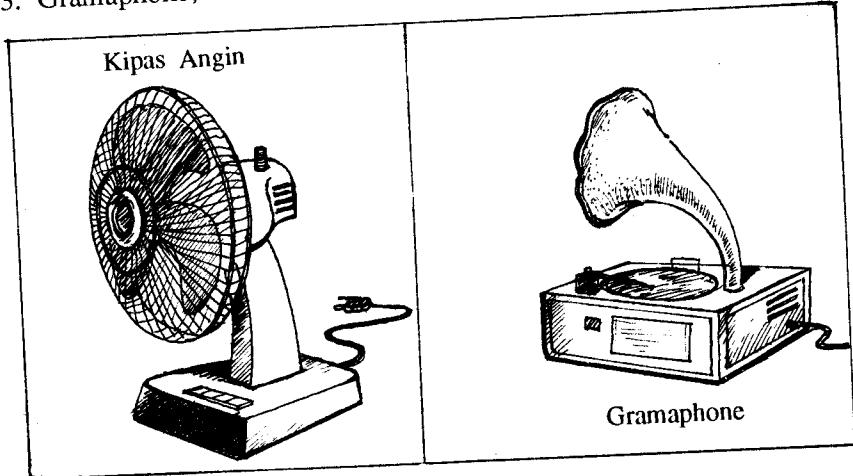
Pada dewasa ini kita bahkan dapat menikmati siaran Televisi yang disiarkan dari luar negeri melalui satelit komunikasi Telstar. Kepada satelit SKSD yang "mengitari" bumi ini, kemudian dipancarkan sinyal dari pemancar televisi. Sinyal yang diterima oleh satelit Telstar itu diperkuat kemudian dipancarkan ke pesawat penerima yang jauh sekali. Semua ini dilaksanakan dengan menggunakan energi listrik.

d. Penggunaan Listrik untuk Menghasilkan Gesekan

Energi listrik kadang-kadang untuk menggerakkan mesin atau memutarkan mesin-mesin yang terdapat di dalam bengkel-bengkel industri dan mereka ini semua tergantung kepada motor-motor listrik. Sebagai contoh mesin bubut, mesin-mesin las, mesin frais, mesin bor, mesin gergaji dan sebagainya (lihat gambar).

Dalam penggunaan yang lain, banyak rumah tangga yang menggunakan motor listrik, sebagai contoh:

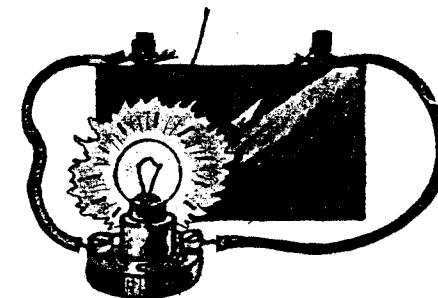
1. Kipas angin listrik, di mana motor listrik menggerakkan baling-baling atau fan blade.
2. Jam listrik, di mana motor listrik menggerakkan jarum-jarum jam.
3. Gramophone, di mana motor listrik membuat putaran.



2. Pengetahuan tentang Konsumen

Pada umumnya ada 2 cara yang telah siap setiap saat digunakan untuk memperoleh listrik yaitu:

- a. Dari baterai yang dapat dibeli dan dibawa kemana kita memerlukannya atau setidak-tidaknya dapat melengkapi semua peralatan yang kita pakai. Ada beberapa keuntungan dan kerugian dari jenis sumber energi yang dapat dibawa ini, yaitu ringan, praktis sedangkan kerugiannya ini hanya terbatas dalam bentuk, ukuran dan tenaga juga harus dilakukan penggantian dan pengisian. (lihat gambar)!

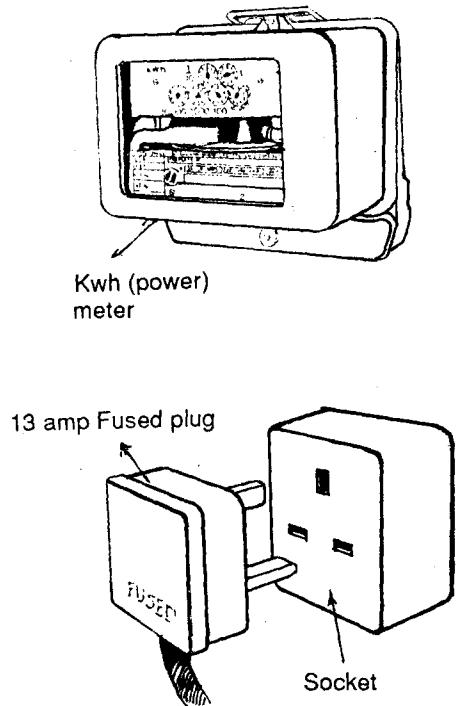


- b. Persediaan energi listrik yang utama, untuk dapat dibawa ke rumah-rumah, toko-toko, sekolah-sekolah, pabrik-pabrik dan sebagainya melalui kawat/kabel. Ini akan banyak menyediakan sejumlah energi listrik yang diperlukan.

Sumber listrik utama diberikan oleh lembaga listrik negara. Organisasi ini bertanggung jawab untuk menghasilkan listrik di pusat-pusat tenaga listrik (PTL), yang merupakan pabrik listrik yang besar, contohnya pusat listrik tenaga air, tenaga uap, dan lain-lain, yang kemudian energi listrik ini dialirkan melalui kabel-kabel/penghantar kepada semua konsumen. Mereka juga mengumpulkan uang bagi listrik yang telah dikonsumsi kepada para pemakai jasa listrik. Tentunya ada suatu organisasi lain yang lebih kecil yang melakukan hal-hal yang sama.

Rumah-rumah, sekolah-sekolah, toko-toko, bengkel-bengkel, industri-industri, dan lain-lain menggunakan listrik yang berasal dan dihubungkan dari sumber nasional (PLT) dengan melalui sakelar utama yang terdapat dan terpasang di sebuah gardu.

Di dekat sakelar utama ini terdapat sebuah sekering utama dan KWH - meter yang akan merekam atau mencatat. Berapa banyak listrik yang dikonsumsi secara otomatis. Dari sebuah papan pembagi kabel-kabel tadi membawa energi listrik keruangan-keruangan kemudian disimpan pada kotak-kotak dinding yang terpasang pada dinding dengan aman.



3. Medan Listrik

Kita tidak dapat menjawab apa itu listrik secara lengkap. Ber tahun-tahun banyak ilmuwan yang telah mengemukakan ide-idenya tentang listrik ini. Ini dibuktikan dengan diadakannya berbagai macam percobaan dan pemikiran yang luar biasa. Sedangkan kita telah mengetahui cara-cara membuat listrik yang kita inginkan. Semua ide-ide tentang listrik didasarkan atas teori yang berhubungan dengan atom. Atom merupakan sebuah materi dari teori atom. Tidak ada seorang pun yang dapat melihat sebuah atom, karena atom itu sangat kecil sekali bentuknya. Sifat dan susunan atom itu sangat kecil sekali bentuknya. Sifat dan susunan atom itu hanya dapat kita ketahui dari gambar-gambar atom saja.

Setiap jenis bahan memiliki macam atom. Setiap atom memiliki inti atom yang sangat kecil yang disebut dengan nukleus dan di sekeliling

nukleus ini berputar sejumlah elektron-elektron. (lihat gambar 2). Ini merupakan partikel-partikel yang sangat kecil dan berada jauh dari nukleus. Jika nukleus di ibaratkan sebesar bola tenis, elektron yang terdekat berada 1 mil dari nukleus .

Setiap jenis materi (sebuah elemen) mempunyai sejumlah elektron khusus. Hidrogen memiliki 1 elektron, karbon memiliki 6 elektron sedangkan oksigen memiliki 8 elektron. Sebuah atom menyerupai sistem tata surya (lihat gambar 5). Matahari sebagai nukleus sedangkan planet sebagai elektronnya. Sekarang nukleus sendiri merupakan sebuah bagian yang lebih kecil. Bagian yang terpenting dari bagian ini sejauh listrik yang dibahas yang disebut dengan proton. Selalu ada proton dan elektron yang mengelilingi nukleus. Hidrogen memiliki 1 proton dalam intinya, karbon memiliki 6 proton. Sedangkan oksigen memiliki 8 proton dalam intinya .

Logam yang sangat penting yang digunakan dalam mesin-mesin listrik adalah tembaga-tembaga yang memiliki 29 proton dan 29 elektron.

Sejauh listrik kita bicarakan elektron merupakan hal yang penting. Dan dalam kenyataannya kita dapat mengatakan bahwa listrik merupakan elektron yang bergerak. Sekarang proton dan elektron memiliki suatu ciri khas. Mereka saling tarik menarik antara yang satu dengan yang lainnya, tetapi mereka tidak akan pernah bertemu. Hal lain, proton tidak menarik proton lain tetapi mereka saling tolak menolak antara yang satu dengan yang lainnya. Demikian pula halnya dengan elektron.

Dengan kata lain kita dapat mengatakan bahwa:

- Sebuah proton memiliki 1 muatan positif.
- Sebuah elektron memiliki 1 muatan negatif (kata positif dan negatif tidak sama penggunaannya dengan + dan - dalam mata pelajaran matematika). Mereka hanya digunakan untuk memperlihatkan bahwa muatan tersebut berlawanan, dan saling meniadakan.

Jadi : proton (+) tarik menarik (-) elektron
muatan-muatan yang berbeda akan saling tarik menarik
dan : proton (+) tolak menolak (+) proton
elektron (-) tolak menolak (-) elektron
muatan-muatan yang sama akan saling tolak menolak.

Sekarang di dalam atom-atom di mana elektron berada, terjadi putaran di dalam sekitar nukleus. Tetapi mereka kadang-kadang mendekati atom dan balik kembali. Ini disebut elektron bebas dan mereka berpindah dari satu atom ke atom yang lain.

Ini merupakan sebuah gerakan acak dan tidak berguna untuk kita. Beberapa logam terutama tembaga terdapat beberapa elektron bebas dan mereka mudah sekali untuk berpindah. Logam-logam ini disebut konduktor dan sering digunakan untuk menghantarkan listrik. Dalam materi lain ada gerakan acak yang sangat kecil dan elektron sangat sulit untuk bergerak. Bahan atau materi ini kita sebut insulator dan digunakan untuk menghambat listrik yang mengalir.

Sekarang jika kita memperoleh elektron yang bergerak dalam satu arah dari perpindahan dalam sebuah arus listrik.

Untuk mengerjakan ini kita harus memiliki sebuah bahan yang memiliki banyak elektron seperti kabel tembaga. Ini akan memberi mereka jalan di mana mereka dapat mengalir. Kita juga harus memiliki beberapa kekuatan yang dapat mendorong mereka untuk bergerak dalam satu arah. Ini merupakan dasar dari sebuah medan listrik.

Anda akan mendapatkan ide-ide yang menarik dari apa yang kita perlukan jika kita berpikir tentang aliran air. Untuk mengalirkan air kita memerlukan sebuah pipa dan perbedaan tekanan untuk membuat air tersebut mengalir.

Suatu kran dibuka, air akan mengalir dari tekanan yang lebih tinggi ke tekanan yang lebih rendah.

Dalam sebuah medan listrik kabel diumpamakan sebagai sebuah pipa. Elektron bersifat seperti air. Jika salah satu ujung kabel dibuat positif dari yang lain, maka elektron akan tertarik pada ujung tersebut dan mereka akan cenderung untuk bertindak dalam satu arah ke arah tanda positif dari sebuah medan listrik.

Untuk membuat ujung itu menjadi positif dari yang lain, kita menggunakan sel listrik atau kumpulan listrik yang kita sebut baterai. Sifat kimia dalam sel ini membuat satu dari terminal lebih positif dari yang lainnya, terminal itu kita sebut terminal positif dari sebuah sel dan ditandai (+) kadang diberi warna merah. Terminal lainnya adalah (-).

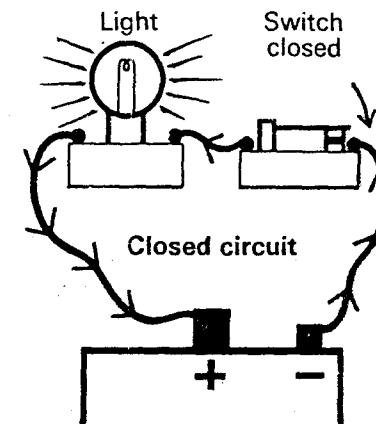
Jika kita menghubungkan sebuah kawat logam melalui 2 terminal, maka elektron-elektron itu akan berpindah ke terminal (+)

Hal itu akan berlangsung karena adanya proses kimia yang cukup kuat. Ada sebuah kran listrik, sebuah sakelar, ada saluran yang bocor pada medan itu akan mengakibatkan arus listrik berhenti.

Jika kita membuat sebuah lampu pijar pada salah satu bagian medan tersebut, elektron-elektron itu akan bergerak melalui filamen dan lampu pijar itu akan menyala. Proses ini disebut medan tertutup (lihat gambar 1)

Jika sakelar dibuka atau kawat logam itu tidak dihubungkan dengan beberapa titik maka saluran akan terhenti dan lampu akan padam. Proses ini disebut medan terbuka. (lihat gambar 2)

Jika kawat logam itu gundul dan saling bersentuhan, maka elektron-elektron itu akan memutuskan arus dalam waktu singkat dan tidak melewati lampu pijar ataupun sakelar, ini adalah medan yang singkat dan membahayakan. (lihat gambar 3)

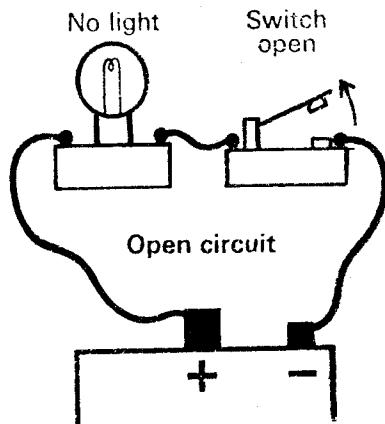


Gambar 1

Light = menyala

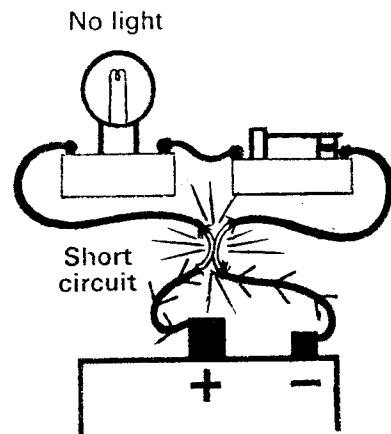
Switch closed = sakelar tertutup

Closed circuit = rangkaian tertutup



Gambar 2

No light = Tidak menyala
 Switch open = sakelar terbuka
 Open circuit = rangkaian terbuka

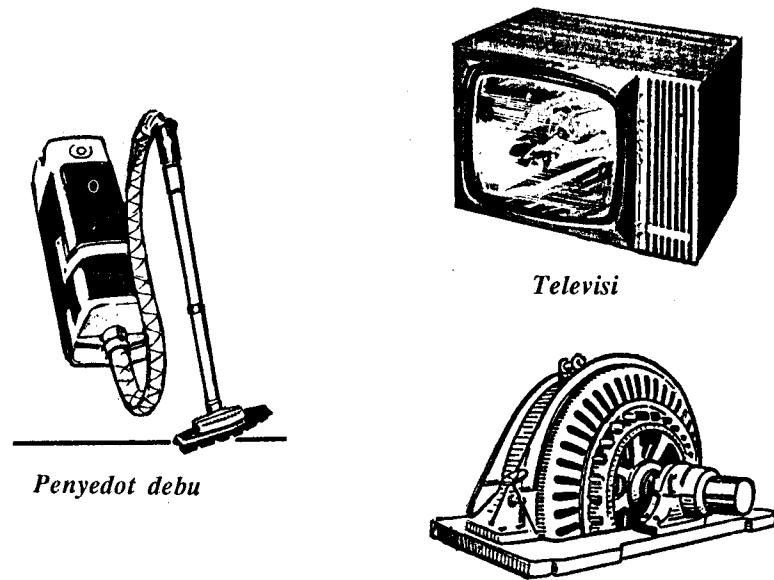


Gambar 3

No light = tidak menyala
 Short circuit = rangkaian hubungan singkat.

4. Tenaga Listrik

Dalam kehidupan yang telah maju (modern) kehadiran tenaga listrik dirasakan sangat penting, karena listrik sangat berguna sebagai sumber tenaga. Kita memerlukan listrik untuk melakukan segala macam kegiatan. Hampir semua mesin yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari baik di tiap-tiap rumah tangga maupun industri kebanyakan menggunakan tenaga listrik. Pemakaian energi ini dapat kita lihat secara langsung baik di lingkungan rumah tangga, di sekolah, rumah sakit dan industri-industri.



5. Keamanan dan Keselamatan dalam Menggunakan Listrik

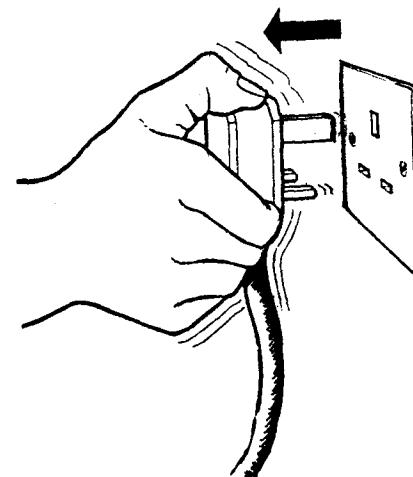
Sewaktu menggunakan listrik ini, baik di laboratorium ataupun di rumah, kita harus mengetahui beberapa peraturan keselamatan kerja yang sangat sederhana. Di mana peraturan ini dapat membantu untuk mencegah terjadinya kecelakaan bagi mereka yang sedang bekerja.

- a. Jika kita melihat/menemukan adanya kebocoran pada kabel listrik itu terlepas dan terletak di atas tanah maupun di mana saja, usahakan

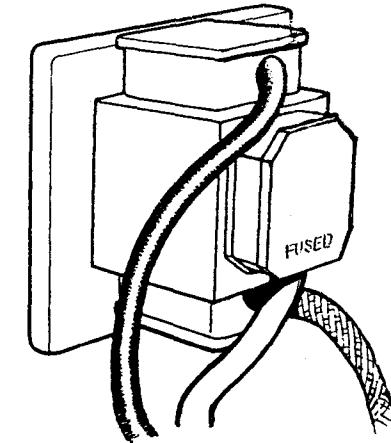
jangan disentuh kawat tersebut. Mintalah pertolongan kepada seorang yang mengerti dalam menangani listrik (lihat gambar keselamatan di bawah ini)!



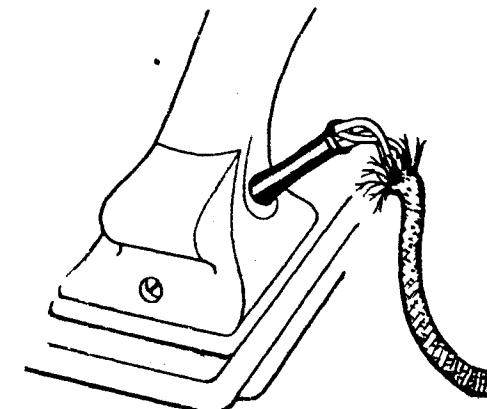
- b. Jangan bekerja dengan kawat/alat atau mesin listrik tanpa dilengkapi dengan alat pengaman/pemutus arus dari sumber/pusat listrik (lihat gambar)!



- c. Jangan membebani telampau banyak pada kotak-kotak dinding (stop contact) dengan menggunakan beberapa alat bantu dalam waktu yang bersamaan. (Sebagai contoh tusuk kontak atau sakelar) (lihat gambar)!



- d. Jangan menggunakan perlengkapan (kabel listrik) yang sudah rusak atau usang atau kadaluwarsa. Jika kabel listrik itu sudah usang atau sakelar kotak kontak dinding dan sebagai berikut yang sudah rusak disarankan sebaiknya diganti secepatnya untuk mencegah terjadinya bahaya kebakaran (lihat gambar)!



- e. Jangan sampai terjadi air bercampur/mengalir ke dalam alat-alat listrik. Usahakan tangan kita kering sewaktu anda menyentuh alat-alat perlengkapan listrik yang sedang dialiri listrik (lihat gambar)!



6. Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik, tergantung pada banyak sedikitnya elektron bebas yang pindah melewati suatu penampang kawat dalam satu satuan waktu.

Definisi Amper adalah satuan kuat arus listrik yang dapat memisahkan 1,118 milligram perak dari nitrat perak murni dalam satu detik.

Rumus-rumus untuk menghitung banyaknya muatan listrik, kuat arus dan waktu.

$$Q = I \times t$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$t = \frac{Q}{I}$$

1 (satu) Coulomb = $6,28 \times 10^{18}$ elektron

1 (satu) KA (Kilo-Amper) = $1000\text{A} = 10^3\text{A}$

1 (satu) mA (milli-Amper) = $0,001\text{A} = 10^{-3}\text{A}$

1 (satu) A (mikro-Amper) = $0,000001\text{A} = 10^{-6}\text{A}$

Dalam mana

Q = Banyaknya muatan listrik dalam satuan Coulomb

I = Kuat arus dalam satuan Ampere

t = Waktu dalam satuan detik

7. Contoh-contoh Soal mengenai Kuat Arus Listrik:

1. Sebuah baterai memberikan arus $0,5\text{ A}$ kepada sebuah lampu selama 2 menit. Berapakah banyaknya muatan listrik yang dipindahkan?

Jawab: Diketahui : $I = 0,5\text{ A}$

$t = 2$ menit

Ditanyakan : Q (muatan listrik)

Penyelesaian : $t = 2$ menit = $2 \times 60 = 120$ detik

$$Q = I \times t$$

$$= 0,5 \times 120 = 60 \text{ Coulomb.}$$

2. Dalam sebuah alat listrik mengalir arus sebesar 20 mA selama 7 menit. Berapakah banyaknya muatan listrik yang dipindahkan selama itu?

Jawab: Diketahui : $I = 20\text{ mA} = 20 \cdot 10^{-3}\text{ A}$

$t = 7$ menit

Ditanyakan : Q (muatan listrik)

Penyelesaian : $t = 7$ menit = $7 \times 60 = 420$ detik

$$Q = I \times t$$

$$= 20 \cdot 10^{-3} \times 420$$

$$= \frac{20}{10^3} \times 420 = 0,02 \times 420$$

$$= 8,4 \text{ Coulomb.}$$

3. Melalui sebuah lampu berpindah muatan listrik sebesar 600 Coulomb selama 5 menit. Diminta menghitung berapa besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam lampu?

Jawab : Diketahui : $Q = 600 \text{ Coulomb}$

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNGAN No. 32

SURABAYA

TAHUN ANGGARAN 1996 / 1997

Ditanyakan : $I = ?$ (kuat arus)
Penyelesaian : $Q = I \times t$
 $t = 5 \text{ menit} = 5 \times 60 = 300 \text{ detik}$
 $I = \frac{Q}{t} = \frac{600}{300} = 2 \text{ A}$

4. Selama kita belajar, mulai jam 8 sampai 10 malam. Kita menggunakan lampu yang kuat arusnya sebesar 0,4 A. Diminta menghitung berapa besarnya muatan listrik yang pindah melalui lampu itu selama kita belajar?

Jawab : Diketahui : t lama belajar 8^{00} s.d 10^{00}
 $I = 0,4 \text{ A}$

Ditanyakan : Besarnya muatan listrik?
Penyelesaian : lama belajar dari 8^{00} s.d 10^{00}
ini berarti $t = 2$ jam
 $t = 2 \text{ jam} = 2 \times 3600$
 $= 7200 \text{ detik}$
 $Q = I \times t$
 $= 0,4 \times 7200 = 2880 \text{ Coulomb}$

5. Arus konstan dari 5 Amper melalui sebuah konduktor. Besarnya muatan listrik yang melalui konduktor sebesar Q Coulomb dalam waktu 1 menit, hitung muatan Q tersebut!

Jawab : Diketahui : $I = 5\text{A}$
 $t = 1 \text{ menit}$

Ditanyakan : $Q = ?$
Penyelesaian : $t = 1 \text{ menit} = 60 \text{ detik}$
 $Q = I \times t = 5 \times 60 = 300 \text{ Coulomb.}$

6. Sebuah accu diisi dengan arus 3 Amper selama 20 jam, diminta menghitung banyaknya muatan selama waktu itu!

Jawab : Diketahui : $I = 3\text{A}$
 $t = 20 \text{ jam}$

Ditanyakan : $Q = ?$

Penyelesaian : $t = 20 \text{ jam}, 1 \text{ jam} = 3600 \text{ detik}$
 $= 20 \times 3600 \text{ detik}$
 $= 72.000 \text{ detik}$
 $Q = I \times t$
 $= 3 \times 72.000$
 $= 216.000 \text{ Coulomb}$

7. Muatan listrik sebanyak Q Coulomb mengalir secara beraturan dalam waktu t detik dalam kawat berbentuk silinder yang panjangnya 1 meter dengan penampangnya $A \text{ mm}^2$, diminta menghitung besarnya kuat arus yang mengalir!

Jawab : Diketahui : Muatan listrik = Q Coulomb
Waktu = t detik
Panjang = l meter
Penampang = $A \text{ mm}^2$

Ditanyakan : $I = ?$
Penyelesaian : $Q = I \times t$
 $I = \frac{Q}{t}$
Jadi $I = \frac{Q}{t}$ (dalam satuan Coulomb/detik)
atau Amper.

Rapat Arus

Definisi : Rapat arus ialah besarnya arus listrik tiap-tiap mm^2 luas penampang kawat.

Rumus-rumus di bawah ini untuk menghitung besarnya rapat arus, kuat arus dan penampang kawat.

$$S = \frac{I}{q}$$

$$I = Sq$$

$$q = \frac{I}{S}$$

Dalam mana:

S = Rapat arus dalam satuan A/mm^2

I = Kuat arus dalam satuan amper

q = Luas penampang kawat dalam satuan mm^2

Contoh-contoh Soal Rapat Arus:

1. Sebuah kawat dengan penampang 1 mm^2 yang dilalui kuat arus sebesar $0,5 \text{ A}$ mempunyai rapat arus yang sama dengan rapat arus di dalam kawat yang penampangnya 3 mm^2 dengan kuat arus sebesar $1,5 \text{ A}$. Diminta menghitung besarnya rapat arus yang pertama dan kedua!

Jawab : Diketahui : $q_1 = 1 \text{ mm}^2$; $I_1 = 0,5 \text{ A}$
 $q_2 = 3 \text{ mm}^2$; $I_2 = 1,5 \text{ A}$

Ditanyakan : S_1 dan S_2

$$\text{Penyelesaian : } S_1 = \frac{I_1}{q_1} = \frac{0,5}{1} = 0,5 \text{ A/mm}^2$$

$$S_2 = \frac{I_2}{q_2} = \frac{1,5}{3} = 0,5 \text{ A/mm}^2$$

2. Harus berapa besarkah penampang minimum dari suatu kawat saluran yang rapat arusnya tidak boleh kurang dari $0,8 \text{ A/mm}^2$ dan kuat arus yang mengalir di dalam kawat itu sebesar $0,72 \text{ A}$? dan hitung besarnya diameter tersebut!

Jawab : Diketahui : $S = 0,8 \text{ A/mm}^2$
 $I = 0,72 \text{ A}$

Ditanyakan : q (penampang kawat)
 d (diameter kawat)

$$\text{Penyelesaian : } S = \frac{I}{q}$$

$$q = \frac{I}{S} = \frac{0,72}{0,8} = 0,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Karena : } q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$q = 0,9 \text{ mm}^2$$

$$0,9 = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$3,14 d^2 = 0,9 \times 4$$

$$3,14 d^2 = 3,6$$

$$d^2 = \frac{3,6}{3,14} = 1,146$$

$$d = \sqrt{1,146}$$

$$d = 1,07 \text{ mm}$$

Bab 2 Tahanan Listrik

1. Tahanan dan Daya Hantar

Definisi: 1 (satu) ohm ialah tahanan satu kolom air raksa yang panjangnya 1,063 m dengan penampang 1 mm² pada suhu 0°C.

Suatu penghantar yang mempunyai nilai tahanan yang kecil atau mempunyai daya hantar yang besar ini berarti mudah dilalui arus. Besar daya kemampuan pengantar arus ini disebut *daya hantar arus*. Sedangkan penyekat atau isolasi adalah suatu bahan yang mempunyai tahanan yang besar sekali atau mempunyai daya hantar yang kecil ini berarti sukar dilalui arus listrik. Rumus di bawah ini untuk menghitung besarnya tahanan listrik terhadap daya hantar arus.

$$R = \frac{1}{G}$$

dan

$$G = \frac{1}{R}$$

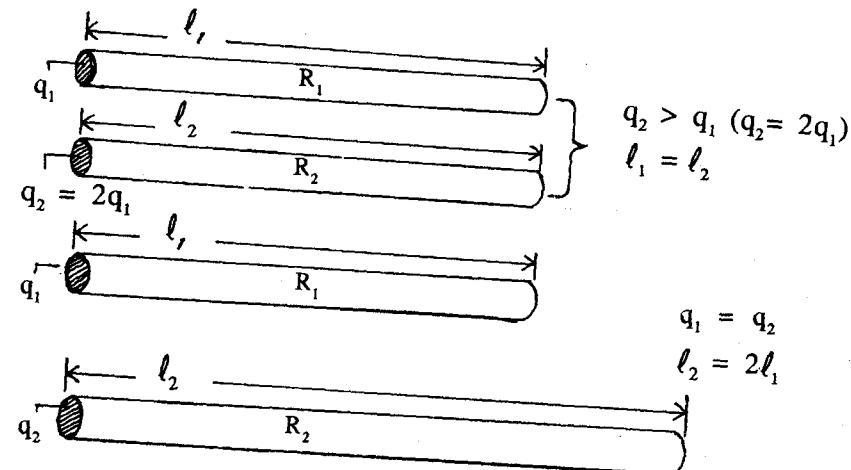
Dalam mana:

R = Tahanan kawat listrik dalam satuan Ω (ohm)

G = Daya hantar arus dalam satuan v (mho) atau Siemens

Menghitung besarnya tahanan (R)

Tahanan penghantar itu berbanding terbalik dengan luas penampangnya.



Keterangan gambar:

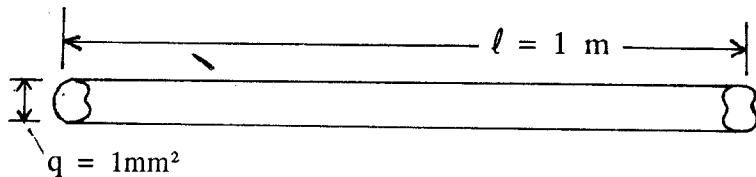
q_1 , R_1 dan l_1 adalah penampang, Tahanan dan panjang kawat penghantar I.

q_2 , R_2 dan l_2 adalah penampang, Tahanan dan panjang kawat penghantar II.

Kesimpulan:

- Jika penampang penghantar 2x lebih besar, maka tahanannya 2x lebih kecil.
- Jika panjang penghantar itu 2x lebih panjang, maka tahanan itu 2x lebih besar.

Tahanan jenis suatu bahan ialah tahanan bahan itu yang panjangnya 1 meter dengan luas penampang 1 mm².



Tahanan jenis diberi simbol: ρ (rho)

Daya hantar jenis adalah kebalikan dari tahanan jenisnya dan diberi simbol dengan g .

Rumus-rumus di bawah ini adalah rumus untuk menghitung tahanan jenis terhadap daya hantar jenisnya.

$$\rho = \frac{1}{g}$$

Besarnya penampang suatu kawat dapat dicari dengan 2 cara:

$$q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

dan

$$q = \pi r^2$$

Sedangkan besarnya tahanan dari kawat penghantar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho \times l}{q}$$

Selanjutnya penampang, Tahanan jenis dan panjang kawat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$q = \frac{\rho \times l}{R}$$

$$\rho = \frac{Rq}{l}$$

dan

$$l = \frac{Rq}{\rho}$$

Dalam mana:

R = Tahanan kawat dalam satuan ohm (Ω)

l = Panjang kawat dalam satuan meter (m)

q = Penampang kawat dalam satuan mm^2

ρ = Tahanan jenis dalam satuan $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$
 g = Daya hantar jenis dalam satuan $\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$

2. Contoh-contoh soal Tahanan dan Daya Hantar:

1. Sebuah kumparan dililit dengan kawat tembaga yang panjangnya 10 m dengan penampang $0,5 \text{ mm}^2$. Berapa besarnya tahanan dari kumparan itu?

Jawab : Diketahui : $l = 10 \text{ m}$, kawat tembaga

$$\rho = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$q = 0,5 \text{ mm}^2$$

Ditanyakan : R_{kumparan}

Penyelesaian : $R = \frac{\rho \times l}{q}$ (rumus)

$$R = \frac{0,0175 \times 10}{0,5} = 0,35 \Omega$$

2. Segulung kawat perak mempunyai tahanan 3Ω . Penampang kawat itu sebesar $0,75 \text{ mm}^2$. Berapakah panjang kawat itu?

Jika tahanan jenis perak (ρ) = $0,163 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Jawab: Diketahui : $R = 3 \Omega$

$$: q = 0,75 \text{ mm}^2$$

$$: \rho_{\text{perak}} = 0,163 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : kawat = ?

Penyelesaian : $R = \frac{\rho \times l}{q}$

$$3 = \frac{0,163 \times l}{0,75}$$

$$0,163 \times l = 3 \times 0,75$$

$$l = \frac{3 \times 0,75}{0,163} = 13,8 \text{ m}$$

3. Segulung kawat tembaga yang garis tengahnya 4,50 mm mempunyai panjang 100 m. Diminta menghitung besarnya tahanan dari gulungan kawat itu!

Jawab: Diketahui : $d = 4,50 \text{ mm}$

$$l = 100 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{cu}} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : $R = ?$

$$\text{Penyelesaian : } q = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (4,5)^2$$

$$= 15,89 \approx 16 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho_{\text{cu}} \times l}{q} = \frac{0,0175 \times 100}{16}$$

$$= 0,109 = 0,11 \Omega$$

4. Segulung kawat tembaga yang panjangnya 1 Km mempunyai penampang 4 mm^2 . Berapa besarnya tahanan kawat itu?

Jawab: Diketahui : $l = 1 \text{ Km} = 1000 \text{ meter}$

$$q = 4 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{\text{cu}} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : $R = ?$

$$\text{Penyelesaian : } R = \frac{\rho_{\text{cu}} \times l}{q} = \frac{0,0175 \times 100}{4}$$

$$R = 4,375 \Omega$$

5. Sebuah penangkal petir dibuat dari batang tembaga dengan ukuran panjang 45 m, tebal 3 mm, dan lebar 20 mm. Berapa besarnya nilai tahanan dari penangkal petir tersebut?

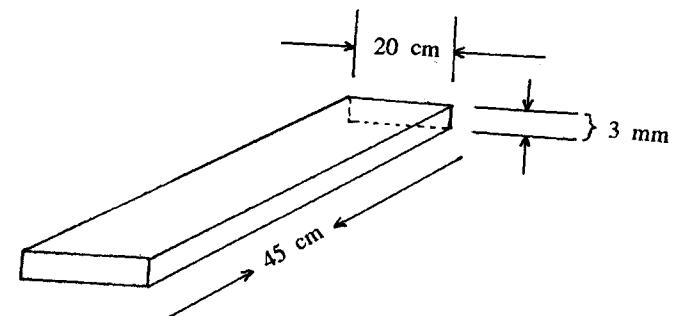
Jawab: Diketahui : $l = 45 \text{ m}$

$$\text{tebal} = 3 \text{ mm}$$

$$\text{lebar} = 20 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{cu}} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : $R = ?$
Penyelesaian : (lihat gambar)!



$$q = 20 \times 3 = 60 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho_{\text{cu}} \times l}{q}$$

$$= \frac{0,0175 \times 45}{60}$$

$$= \frac{0,7875}{60} = 0,013125$$

Jadi $R = 0,013125 \Omega$

6. Untuk membuat sebuah penahanan (alat untuk menimbulkan tahanan dalam rangkaian listrik). Kita pakai kawat nikelin dengan penampang $0,5 \text{ mm}^2$. Tahanannya harus 2Ω . Berapa panjang kawat yang diperlukan?

Jawab : Diketahui : $q = 0,5 \text{ mm}^2$

$$R = 2 \Omega$$

Ditanyakan : $\rho_{\text{Nikelin}} = 0,42 \text{ (lihat daftar)}$
 $l_{\text{kawat}} = ?$

$$\text{Penyelesaian : } R = \frac{\rho_{\text{cu}} \times l}{q} = \frac{0,42}{0,5}$$

Karena

$$R = 2 \Omega$$

$$R = \frac{\rho \times l}{q}$$

$$2 = \frac{0,42}{0,5} = 2 \times 0,5 = 0,42 \times$$

$$= \frac{2 \times 0,5}{0,42} = \frac{1}{0,42} = 2,38$$

$$\text{Jadi } l = 2,38 \text{ m}$$

7. Segulung kawat tembaga panjangnya 1000 m dengan penampang 6 mm^2 . Daya hantar jenisnya $55 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$. Berapa besarnya nilai tahanan kawat itu?

Jawab: Diketahui : $l = 1000 \text{ m}$

$$q = 6 \text{ mm}^2$$

$$g = 55 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$$

Ditanyakan : $R = ?$

$$\text{Penyelesaian: } R = \frac{\rho \times l}{q} \text{ karena } \rho = \frac{1}{g}$$

$$R = \frac{\rho \times l}{q} = \frac{l}{gq}$$

$$R = \frac{l}{gq} = \frac{1000}{55 \times 6} = \frac{1000}{330}$$
$$= 3,03 \Omega$$

8. Berapa besar nilai tahanan segulungan kawat NGA (NYA) dari $2,5 \text{ mm}^2$ jika panjang kawatnya 100 m dengan tahanan jenisnya $0,0167 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Jawab: Diketahui : $q = 2,5 \text{ mm}^2$

$$l = 100 \text{ m}$$

$$\rho = 0,0167 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : $R = ?$

$$\text{Penyelesaian: } R = \frac{\rho \times l}{q} = \frac{0,0167 \times 100}{2,5}$$

$$R = 0,67 \Omega$$

9. Untuk suatu alat ukur diperlukan tahanan sebesar 10.000Ω untuk dipakai kawat konstanta dengan tahanan jenis (ρ) $0,48 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ garis tengah $0,1 \text{ mm}$. Diminta menghitung panjangnya kawat itu!

Jawab : Diketahui : $R = 10.000 \Omega$

$$\rho = 0,48 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$d = 0,1 \text{ mm}$$

Ditanyakan : $= ?$

Penyelesaian : $d = 0,1 \text{ mm}$

$$q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$q = \frac{1}{4} \pi (0,1)^2 = 0,00785 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho l}{q} \quad R \times q = \rho \times l$$

$$R \times q = \rho \times l$$

$$l = \frac{R \times q}{\rho} = \frac{10.000 \times 0,00785}{0,48}$$

$$= 163,5 \text{ m}$$

10. Pada suatu sistem pengukuran untuk mengetahui tahanan jenisnya suatu bahan diketahui dari percobaan bahwa tahanannya $0,038 \Omega$. Ukuran bahannya dengan panjang 975 mm, garis tengah $= 2,1 \text{ mm}$. Berapa besarnya nilai tahanan jenis? dan terbuat dari bahan apakah benda percobaan itu?

Jawab: Diketahui : $R = 0,038 \Omega$

$$l = 975 \text{ mm}$$

$$d = 2,1 \text{ mm}$$

Ditanyakan : a. $\rho = ?$

b. Bahan apakah itu?

Penyelesaian: $\ell = 975 \text{ mm} = 0,975 \text{ m}$

$$d = 2,1 \text{ mm} \quad q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (2,1)^2$$

$$q = 3,46 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho \times \ell}{q} \quad R \times q = \rho \times \ell$$

$$\rho = \frac{R \times q}{\ell} = \frac{0,038 \times 3,46}{0,975}$$

a. $\rho = 0,134 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

b. Bahan yang digunakan perco-
baan adalah: besi (lihat daftar)

11. Segulung kawat aluminium panjangnya 50 m dengan garis tengah 2 mm mempunyai tahanan yang besarnya sama dengan tahanan dari segulungan kawat tembaga dengan garis tengah 1 mm. Perbandingan tahanan jenis aluminium dan tembaga sama dengan 2 : 1. Diminta menghitung panjang kawat tembaga itu, jika $\rho_{al} = 0,03 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Jawab: Diketahui : $\ell_{al} = 50 \text{ m} \rightarrow d_{al} = 2 \text{ mm}$

$$d_{cu} = 1 \text{ mm}$$

$$\rho_{al} : \rho_{cu} = 2 : 1$$

Ditanyakan : ℓ_{cu}

Penyelesaian : $d_{cu} = 2 \text{ mm} \rightarrow q_{cu} = \frac{1}{4} \pi d_{cu}^2$

$$q_{al} = \frac{1}{4} \pi d_{al}^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi 2^2 = \pi \text{ mm}^2$$

$$d_{cu} = 1 \text{ mm} \rightarrow g_{cu} = \frac{1}{4} \pi \text{ mm}^2$$

$$q_{cu} = \frac{1}{4} \pi 1^2 = \frac{1}{4} \pi \text{ mm}^2$$

$$\rho_{al} : \rho_{cu} = 2 : 1$$

$$0,03 : \rho_{cu} = 2 : 1$$

$$2 \rho_{cu} = 0,03 \times 1$$

$$\rho_{cu} = \frac{0,03}{2} = 0,015 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Karena : $R_{al} = R_{cu}$

$$R_{al} = \frac{\rho_{al} \cdot \ell_{al}}{q_{cu}}$$

$$R_{cu} = \frac{\rho_{cu} \cdot \ell_{cu}}{q_{cu}}$$

$$R_{al} = R_{cu} \text{ (diketahui)}$$

$$\frac{\rho_{al} \times \ell_{al}}{q_{al}} = \frac{\rho_{cu} \times \ell_{cu}}{q_{cu}}$$

$$\rho_{al} \times \ell_{al} \times q_{cu} = q_{al} \times \rho_{cu} \times \ell_{cu}$$

$$0,03 \times 50 \times \frac{1}{4} \pi = \pi \times 0,015 \times l_{cu}$$

$$\begin{aligned} l_{cu} &= \frac{0,03 \times 50 \times \frac{1}{4} \pi}{\pi \times 0,015} \\ &= \frac{0,03 \times 50 \times 0,25}{0,015} \\ &= 25 \end{aligned}$$

Jadi $l_{cu} = 25$ meter

12. Kawat timbel yang panjangnya 65 cm, mempunyai tahanan dari $0,072 \Omega$ dan penampang dari $1,625 \text{ mm}^2$. Diminta menghitung besarnya tahanan jenis dari kawat timbel ?

Jawab : Diketahui : $l = 65 \text{ cm}$

$$R = 0,072 \Omega$$

$$q = 1,625 \text{ mm}^2$$

Ditanyakan : $\rho = ?$

Penyelesaian: $l = 65 \text{ cm} = 0,65 \text{ m}$

$$R = \frac{\rho \times l}{q} \quad R \times q = \rho \times l$$

$$\rho = \frac{R \times q}{l} = \frac{0,072 \times 1,625}{0,65} = 0,18$$

$$= 0,18 \Omega \text{ mm}^{2/\text{m}}$$

13. Nilai tahanan dari elemen pemanas sebesar $11,9 \Omega$ terbuat dari 17 m kawat nikel-chrom ($\rho = 1,05$). Tentukanlah penampangnya!

Jawab: Diketahui : $R = 11,9 \Omega$

$$l = 17 \text{ m}$$

$$\rho = 1,05 \Omega \text{ mm}^{2/\text{m}}$$

Ditanyakan : $q = ?$

$$\text{Penyelesaian: } R = \frac{\rho \times l}{q} \quad R \times q = \rho \times l$$

$$\begin{aligned} q &= \frac{\rho \times l}{R} = \frac{1,05 \times 17}{11,9} \\ &= 1,5 \end{aligned}$$

Jadi $q = 1,5 \text{ mm}^2$

14. Pita konstanta mempunyai panjang 6,3 m, lebar 15 mm dan tebal 0,3 mm. Berapa besarnya tahanan jenis konstanta, apabila pita ini harus mempunyai tahanan sebesar $0,672 \Omega$?

Jawab : Diketahui : $l = 6,3 \text{ m}$

$$\text{lebar} = 15 \text{ mm}$$

$$\text{tebal} = 0,3 \text{ mm}$$

$$R = 0,672 \Omega$$

Ditanyakan :

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian: } q &= \text{lebar} \times \text{tebal} = 15 \times 0,3 \\ &= 4,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$R = \frac{\rho \times l}{q} \quad R \times q = \rho \times l$$

$$\rho = \frac{R \times q}{l} = \frac{0,672 \times 4,5}{6,3} = 0,48$$

Jadi $= 0,48 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

15. Sebuah kumparan mempunyai tahanan sebesar $7,85 \Omega$. Tentukanlah panjangnya yang dililitkan, jika kawat yang dipakai adalah kawat tembaga dengan penampang sebesar $0,35 \text{ mm}^2$.

Jawab : Diketahui : $R = 7,85 \Omega$

$$q = 0,35 \text{ mm}^2$$

$$\rho_{cu} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \text{ (dalam daftar)}$$

Ditanyakan : $R = ?$

Penyelesaian: $R = \frac{\rho \times l}{q}$

$$R \times q = \rho \times l \rightarrow l = \frac{R \times q}{\rho}$$

$$= \frac{7,85 \times 0,35}{0,0175}$$

$$= 157$$

Jadi $= 157$ meter

16. Sebuah kawat mempunyai panjang 50 meter, tahanan jenisnya $10^{-7} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Diminta menghitung besarnya tahanan kawat!

Jawab: Diketahui : $l = 50$ meter

$$\rho = 10^{-7} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$q = 0,5 \text{ mm}^2$$

Ditanyakan : $R = ?$

Penyelesaian: $R = \frac{\rho \times l}{q} = \frac{10^{-7} \times 50}{0,5}$

$$= \frac{50}{10^7 \times \frac{5}{10}} = \frac{50 \times 10}{10^7 \times 5} = \frac{1}{10^5}$$

$$= 10^{-5}$$

Jadi $R = 10^{-5} \Omega$

17. Sebuah tahanan besarnya 2Ω mempunyai diameter 2 mm dengan panjang kawat 20.000π m. Ditanyakan berapa besarnya tahanan jenisnya?

Jawab: Diketahui : $R = 2 \Omega$

$d =$ (diameter atau garis tengahnya) = 2 mm; $l = 20.000$ meter

Ditanyakan : Tahanan ~~besar~~ ~~kecil~~ ~~apakah~~ ~~ya~~?

Penyelesaian: $d = 2 \text{ mm}$ $q = \frac{1}{4} \pi d^2$

$$q = \frac{1}{4} \pi 2^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 4 = \pi$$

$$R = \frac{\rho \times l}{q}$$

$$R \times q =$$

$$\rho = \frac{R \times q}{l} = \frac{2 \times \pi}{20.000 \pi} =$$

$$= 10^{-4}$$

Jadi ; $10^{-4} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

18. Sebuah logam panjangnya 2 m dengan diameter 8 mm mempunyai tahanan jenis $1,756 \times 10^{-8} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. diminta menghitung besarnya nilai tahanan logam tersebut!

Jawab: Diketahui : $l = 2 \text{ m}$

$$d (\text{diameter}) = 8 \text{ mm}$$

$$\rho = 1,756 \times 10^{-8} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : $R = ?$

Penyelesaian: $d = 8 \text{ mm} \rightarrow q = \frac{1}{4} \pi d^2$

$$q = \frac{1}{4} \pi (8)^2$$

$$q = \frac{1}{4} \pi 64 = 50,24 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho \times l}{q}$$

$$= \frac{1,756 \times 10^{-8} \times 2}{50,24}$$

$$= \frac{3,512 \times 10^{-8}}{50,24}$$

$$= 0,0699 \times 10^{-8} \Omega \text{ atau } 6,99 \times 10^{-4}$$

$$\text{Jadi } R = 6,99 \times 10^4 \Omega$$

Suatu kawat dengan panjang ℓ meter, penampang $A \text{ mm}^2$ dengan tahanan jenis $\rho \text{ }\Omega\text{ mm}^2/\text{m}$.

Berapa besarnya nilai tahanan dari kawat tersebut?

Jawab : Diketahui : Pajang kawat = ℓ meter

$$\text{Penampang kawat} = A \text{ mm}^2$$

$$\text{Tahanan jenis } \rho = \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanya : $R = ?$

$$\text{Penyelesaian: } R = \frac{\rho \times \ell}{q} \quad \text{atau}$$

$$R = \frac{\rho \times \ell}{A} \quad \text{dalam satuan } \Omega$$

20. Panjang pipa pengantar dari papan penghubung sampai alat pemakai sejauh 84 m. Diminta menghitung besarnya garis tengah dari kawat tembaga, jika besarnya tahanan dari pengantar ini ialah 0,49 !

Jawab: Diketahui : $\ell = 84$

$$\rho_{\text{cu}} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$R = 0,49 \Omega$$

Ditanya : Menghitung diameter dari pengantar tersebut!

$$\text{Penyelesaian: } R = \frac{\rho \times \ell}{q}$$

$$q = \frac{\rho \times \ell}{R} = \frac{0,0175 \times 84}{0,49}$$

$$q = 3 \text{ mm}^2$$

$$\text{Karena } q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\frac{1}{4} \pi d^2 = 3 \rightarrow 0,25 \times 3,14 d^2 = 3$$

$$d^2 = \frac{3}{0,785} = 3,82$$

$$d = \sqrt{3,82} = 1,95$$

$$\text{Jadi } d \text{ (diameter)} = 1,95 \text{ mm}$$

3. Hukum Ohm

Tegangan 1 (satu) Volt ialah tegangan yang dapat mengalirkan arus satu amper melalui tahanan satu ohm.

Hasil penyelidikan George Simon Ohm bahwa jika tegangan dinaikkan 2x tahanan tetap, maka kuat arusnya juga akan naik 2x. Sedangkan arus di dalam rangkaian, berubah sebanding lurus dengan tegangan yang dipakai.

Jika tegangannya tetap, tetapi tahanannya diperbesar 2x maka arus yang mengalir akan menjadi setengahnya dan jika tahanannya diperkecil menjadi setengahnya, maka arusnya naik menjadi 2x. Arus dalam rangkaian naik apabila tahanannya turun, dan arus turun jika tahanannya naik.

$$E = I \times R$$

$$I = \frac{E}{R}$$

dan

$$R = \frac{E}{I}$$

Dalam mana:

E = Tegangan listrik dalam satuan Volt
 I = Kuat arus dalam satuan amper
 R = Tahanan listrik dalam satuan ohm

Catatan: Simbol tegangan selain ditulis dengan huruf "E" dapat juga diganti dengan "V" atau "U".

4. Contoh-contoh Soal mengenai Hukum Ohm

1. Berapa besarnya nilai tahanan yang ada di dalam suatu bejana listrik untuk memanaskan air, jika kuat arus yang mengalir sebesar 4 A dengan tegangan kerja sebesar 220 Volt?

Jawab: Diketahui : $I = 4 \text{ A}$
 $E = 220 \text{ Volt}$

Ditanyakan : $R = ?$

Penyelesaian : $E = I \times R$

$$R = \frac{E}{I} = \frac{220}{4} = 55 \Omega$$

Jadi $R = 55 \Omega$

2. Melalui suatu kawat tembaga yang mempunyai tahanan 4Ω besarnya kuat arus yang mengalir sebesar 25 A. Diminta menghitung besarnya tegangan yang dibutuhkan?

Jawab: Diketahui : $R = 4 \Omega$
 $I = 25 \text{ A}$

Ditanyakan : $E = ?$

Penyelesaian : $E = I \times R$
 $= 25 \times 4$
 $= 100 \text{ Volt}$

Jadi $E = 100 \text{ Volt}$

3. Suatu lampu pijar selama dipakai mempunyai tahanan sebesar 880 ohm dengan tegangan kerja sebesar 220 Volt.

Berapa besarnya kuat arus yang mengalir?

Jawab: Diketahui : $R = 880 \text{ ohm}$
 $E = 220 \text{ Volt}$

Ditanyakan : I (Kuat arus yang mengalir)

Penyelesaian : $E = I \times R$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{880} = \frac{1}{4} = 0,25$$

Jadi kuat arusnya (I) = 0,25 Amper

4. Sebuah lampu pijar yang mempunyai tahanan 2400 ohm dihubungkan antara penjepit (klem) baterai yang tegangannya sebesar 12 Volt. Berapakah besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam lampu tersebut?

Jawab: Diketahui : $R = 2400 \text{ ohm}$
 $E = 12 \text{ Volt}$

Ditanyakan : $I = ?$

Penyelesaian: $E = I \times R$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{12}{2400} = 0,005 \text{ A}$$

Jadi kuat arusnya (I) = 0,005 atau
 $I = 5 \text{ mA}$

5. Sebuah alat pemanas listrik mengambil kuat arus sebesar 3 A pada tegangan 120 Volt.

Berapa besarnya tahanan?

Jawab: Diketahui : $I = 3 \text{ A}$, $E = 120 \text{ Volt}$

Ditanyakan : $R = ?$

Penyelesaian : $E = I \times R$

$$R = \frac{E}{I} = \frac{120}{3} = 40 \text{ Ohm}$$

6. Sebuah lampu pijar mempunyai tahanan 400 ohm mengambil arus 0,32 A. Pada tegangan berapakah lampu itu dipasang?

Jawab: Diketahui : $R = 400 \text{ ohm}$

$I = 0,32 \text{ A}$

Ditanyakan : $E = ?$

Penyelesaian : $E = I \times R$

$$= 0,32 \times 400$$

$$= 128$$

Jadi $E = 128 \text{ Volt}$

7. Berapa buah lampukah yang bertahanan sebesar 44 ohm dapat menyalas secara normal pada tegangan kerja sebesar 220 Volt, jika kuat arus yang mengalir ke tiap lampu sebesar 0,5 A.

Jawab: Diketahui

$$: R \text{ (Tahanan untuk 1 lampu)} = 44$$

$$E_t = 220 \text{ Volt}$$

$$I \text{ tiap lampu} = 0,5 \text{ A}$$

Ditanyakan

$$: \text{Banyak lampu pijar yang harus dipasang?}$$

Penyelesaian

$$: E \text{ tiap lampu} = I \times R$$

$$= 0,5 \times 44 = 22 \text{ Volt}$$

Banyaknya lampu pijar yang harus dipasang adalah

$$\frac{E_t}{E} = \frac{220}{22} \times 1 \text{ lampu}$$

$$= 10 \text{ buah lampu.}$$

8. Suatu hantaran tembaga panjangnya tertentu disambungkan dengan hantaran alumunium, sehingga panjang seluruhnya 4.000 m. Tegangan yang dibutuhkan untuk mengalirkan arus listri melalui tembaga ternyata sama besar dengan tegangan antar ujung-ujung hantaran alumunium. Selanjutnya ditentukan luas penampang hantaran tembaga 5 mm^2 , luas penampang hantaran alumunium sebesar 10 mm^2 , tahanan jenis tembaga $= 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$, sedangkan tahanan jenis alumunium $= 0,03 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Diminta menghitung:

a. Panjangnya hantaran tembaga.

b. Berapakah tegangan antara ujung-ujung seluruh hantaran, jika kuat arus yang mengalir sebesar 25 A?

Jawab: Diketahui

$$: \ell_{cu} + \ell_{al} = 4000 \text{ m } (\ell_{\text{jumlah}})$$

$$E_{cu} = E_{al} \text{ (diketahui)}$$

$$q_{cu} = 5 \text{ mm}^2 \text{ dan}$$

$$\rho_{cu} = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$q_{al} = 10 \text{ mm}^2 \text{ dan}$$

$$\rho_{al} = 0,03 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

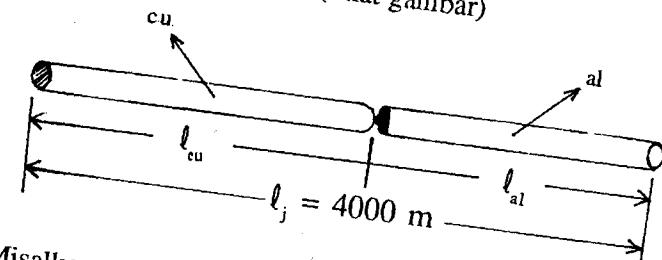
$$\ell_{\text{jumlah}} = 25 \text{ A}$$

Ditanyakan

$$: \ell_{cu} \text{ (panjang kawat tembaga)}$$

$$E_{cu} + E_{al} = ?$$

Penyelesaian : (lihat gambar)



Misalkan:

$$cu = x \text{ meter} \quad al = (4000-x) \text{ m}$$

$$E_{cu} = E_{al}, \text{ menurut Hukum Ohm}$$

$$E = I \times R \quad (I_{cu} = I_{al} = 25 \text{ A})$$

$$E_{cu} = I \times R_{cu}$$

$$E_{al} = I \times R_{al}$$

$$E_{cu} = E_{al}$$

$$IR_{cu} = IR_{al} \quad R = \frac{\rho \times \ell}{q}$$

$$I \frac{\rho_{cu} \times \ell_{cu}}{q_{cu}} = I \frac{\rho_{al} \times \ell_{al}}{q_{al}}$$

$$25 \cdot \frac{0,0175 \times x}{5} = 25 \cdot \frac{0,03(4000-x)}{10}$$

$$\frac{0,0175 \times x}{5} = \frac{0,03(400-x)}{10}$$

$$10(0,0175\chi) = 5 \times 0,03(4000 - \chi)$$

$$0,175\chi + 0,15\chi = 600$$

$$0,325\chi = 600$$

$$\chi = \frac{600}{0,325} = 1846,15 \text{ meter}$$

- a. Jadi panjang kawat tembaga (l_{cu}) = 1846,15 meter panjang kawat alumunium (l_{al}) = 4000 - 1846,15
= 2153,85 meter

b. $E_{cu} + E_{al} = IR_{cu} + IR_{al}$ atau
 $I(R_{cu} + R_{al})$

$$I \frac{\rho_{cu} \times l_{cu}}{q_{cu}} + \frac{\rho_{al} \times l_{al}}{q_{al}}$$

$$25 \left(\frac{0,0175 \times 1846,15}{5} + \frac{0,03 \times 2153,85}{10} \right)$$

$$25(6,46 + 6,46)$$

$$25 \times 12,92 = 323$$

Jadi $E_{cu} + E_{al} = 323$ Volt

9. Magnit listrik yang dihubungkan pada tegangan dari 40 V, yaitu digulung dengan kawat email yang bergaris tengah 0,7 mm. Berapakah panjang kawat yang diperlukan untuk ini, jika maknit listrik ini dilalui kuat arus dari 1,6 A dengan tahanan jenis kawatnya (ρ) = 0,07 $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Jawab : Diketahui : $E = 40 \text{ V}$

$$d = 0,7 \text{ mm}$$

$$I = 1,6 \text{ A}$$

$$\rho = 0,07 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Diminta : Menghitung panjang kawat (ℓ)
Penyelesaian: $d = 0,7 \text{ mm}$ $q = \frac{1}{4} \pi d^2$
 $q = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \pi (0,7)^2$
 $= 0,039 \text{ mm}^2$

$$E = I \times R$$

$$R = \frac{E}{I} = \frac{40}{1,6} = 25 \Omega$$

$$R = \frac{\rho \times \ell}{q} \quad R \times q = \rho \times \ell$$

$$\ell = \frac{R \times q}{\rho} = \frac{25 \times 0,039}{0,07} = 13,9$$

Jadi $\ell = 13,9$ meter

10. Elemen pemanas terbuat dari pita nikrom dengan panjang 10,75 m, lebar 0,75 mm dan tebal 0,55 mm. Berapa besarnya kuat arus yang mengalir jika tahanan jenis nikrom tersebut sebesar $1,03 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ dan elemen ini dihubungkan pada tegangan jaringan 220 Volt.

Jawab: (lihat gambar)

Diketahui : $\ell = 10,75 \text{ m}$
lebar = 0,75 mm
tebal = 0,55 mm

$$\rho = 1,03 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$E = 220 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : I (kuat arus) = ?
Penyelesaian :

$$q = 0,75 \times 0,55 = 0,413 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho \times l}{q} = \frac{1,03 \times 10,75}{0,413} = \frac{11,0725}{0,413}$$

$$= 26,8 \Omega$$

Karena : $E = I \times R$

$$\text{Maka} : R = \frac{E}{I} \quad \text{atau} \quad I = \frac{E}{R}$$

$$I = \frac{E}{R} = \frac{220}{26,8} = 8,20$$

Jadi $I = 8,20 \text{ A}$

5. Pengaruh Suhu Pada Tahanan

Bila benda itu dipanaskan sehingga suhunya naik, ukurannya berubah, begitu juga tahanannya.

Pada umumnya jika logam itu suhunya naik maka tahanannya pun naik. *Koefisien suhu* adalah besarnya kenaikan tahanan tiap derajat kenaikan suhu untuk besarnya 1 (satu) ohm (Ω).

Beserta pertambahan kenaikan tahanan dapat dihitung dengan rumus:

$$R_t = R_r \{1 + \alpha(t_t - t_r)\}$$

atau

$$R_t = R_{t_1} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

hasil pengurangan : $t_2 - t_1 = \Delta t$

atau

$$t_t - t_r = \Delta t$$

$$R_{t_2} = R_{t_1} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

$$R_{t_2} = R_{t_1} \{1 + \alpha \cdot \Delta t\}$$

$$R_{t_2} = R_{t_1} + \alpha \cdot \Delta t \cdot R_{t_1}$$

$$\alpha \cdot \Delta t \cdot R_{t_1} = R_{t_2} - R_{t_1}$$

$$\alpha = \frac{R_{t_2} - R_{t_1}}{\Delta t \cdot R_{t_1}}$$

Dalam mana:

R_t (R_{t_2}) = Tahanan pada suhu tinggi dalam satuan Ω

R_r (R_{t_1}) = Tahanan pada suhu rendah dalam satuan Ω

α = Koefisien suhu dalam satuan $\Omega/\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_t (t_2) = Suhu tinggi dalam satuan $\text{ }^{\circ}\text{C}$

t_r (t_1) = Suhu rendah dalam satuan $\text{ }^{\circ}\text{C}$

Δt = Perbedaan suhu tinggi dengan suhu rendah dalam satuan $\text{ }^{\circ}\text{C}$

Contoh Soal:

1. Sepotong kawat tembaga pada suhu 20°C mempunyai tahanan 10Ω . Berapa besarnya tahanan pada suhu 75°C ?

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

$$R_{t_1} = 10 \Omega$$

$$t_2 = 75^{\circ}\text{C}$$

Ditanyakan : $R_{t_2} = ?$

Penyelesaian : $R_{t_2} = R_{t_1} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$
 $= 0,0039$ (lihat daftar)

$$R_{t_2} = R_{t_1} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

$$R_{t_2} = 10 \{1 + 0,0039(75 - 20)\}$$

$$= 10 \{1 + 0,0039 \times 55\}$$

$$= 10 (1 + 0,2145)$$

$$= 10 \times 1,2145 = 12,145$$

Jadi $R_{t_2} = 12,145 \Omega$

2. Sepotong kawat kuningan mempunyai tahanan 15Ω pada suhu 20°C . Berapakah besarnya tahanan pada suhu 80°C ?

Jawab: Diketahui : $R_{t_1} = 15 \Omega$

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

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

$$\alpha = 0,0015 \text{ (dalam daftar)}$$

$$R = ?$$

Ditanyakan : R_{t_2}

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian: } R_{t_1} &= R_{t_1} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\} \\ &= 15 \{1 + 0,0015(80 - 20)\} \\ &= 15 \{1 + 0,0015 \times 60\} \\ &= 15 \{1 + 0,09\} = 15 \cdot 1,09 \\ &= 16,35 \end{aligned}$$

Jadi $R_{t_2} = 16,35 \text{ ohm}$

3. Sepotong kawat platina pada suhu 20°C mempunyai tahanan $0,5 \Omega$. Tahanannya naik menjadi $0,542 \Omega$ karena menjadi panas. Berapakah suhu sekarang?

Jawab: Diketahui : $t_1 = 20^\circ\text{C}$; $R_{t_1} = 0,5 \Omega$

$$R_{t_2} = 0,542 \Omega$$

Ditanyakan : $t_2 = ?$

$$\text{Penyelesaian : } R_{t_2} = R_{t_1} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

$$0,542 = 0,5 \{1 + 0,0024(t_2 - 20)\}$$

$$0,542 = 0,5 \{1 + 0,0024 t_2 - 0,048\}$$

)

$$0,542 = 0,5 + 0,0012 t_2 - 0,024$$

$$0,542 - 0,5 + 0,024 = 0,0012 t_2$$

$$0,042 + 0,024 = 0,0012 t_2$$

$$0,066 = 0,0012 t_2$$

$$t_2 = \frac{0,066}{0,0012} = 5$$

Jadi $t_2 = 55^\circ\text{C}$

4. Sepotong kawat nikrum mempunyai garis tengah $0,1 \text{ mm}$ dan panjangnya 4 m dengan tahanan jenisnya $0,9$. Diminta menghitung besarnya tahanan pada suhu 800°C jika koefisien suhunya $0,00036$.

Jawab: Diketahui : $d = 0,1 \text{ mm}$

$$l = 4 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,00036$$

$$\rho = 0,9 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$t_2 = 800^\circ\text{C}$$

Ditanyakan : Besarnya nilai tahanan pada suhu 800°C (R_{t_2})

$$\text{Penyelesaian : } R_{t_2} = R_{t_1} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

$$R_{t_1} = R_{t_0} = \frac{\rho \times l}{q} \rightarrow q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$q = \frac{1}{4} \pi d^2 \quad q = \frac{1}{4} \pi (0,1)^2$$

$$q = 0,25 \times 3,14 \times 0,01 = 0,00785 \text{ mm}^2$$

$$R_{t_0} = \frac{\rho \times l}{q} = \frac{0,9 \times 4}{0,00785} = 458,6 \Omega$$

$$R_{t_2} = R_{t_0} \{1 + \alpha(t_2 - t_1)\}$$

$$R_{t_2} = 458,6 \{1 + 0,00036(800 - 0)\}$$

$$R_{t_2} = 458,6 \{1 + 0,00036 \times 800\}$$

$$\begin{aligned}
 R_{t_2} &= 458,6 (1 + 0,288) \\
 &= 458,6 \times 1,288 \\
 &= 590,67 \\
 \text{Jadi } R_{t_2} &= 590,67 \Omega
 \end{aligned}$$

5. Tahanan dari suatu kumparan magnit dari suatu motor pada suhu $15^\circ C$ besarnya 50Ω . Setelah beberapa jam berjalan tahanannya menjadi 55Ω . Diminta menghitung suhu rata-rata dari kumparan jika koefisien suhunya dari kumparan tembaga itu = $0,004$.

Jawab: Diketahui : $t_1 = 15^\circ C$

$$R_{t_1} = 50 \Omega$$

$$R_{t_2} = 55 \Omega$$

$$\alpha = 0,004$$

Diminta : menghitung besarnya suhu rata-rata dari kumparan!

$$\begin{aligned}
 \text{Penyelesaian} : R_{t_2} &= R_{t_1} \{1 + \alpha (t_2 - t_1)\} \\
 55 &= 50 \{1 + 0,004 (t_2 - 15^\circ)\} \\
 55 &= 50 \{1 + 0,004 (t_2 - 0,06)\} \\
 55 &= 50 \{0,94 + 0,004 t_2\} \\
 55 &= 47 + 0,2 t_2 \\
 0,2 t_2 &= 55 + 47 \\
 0,2 t_2 &= 8 \\
 t_2 &= \frac{8}{0,2} = 40
 \end{aligned}$$

Jadi t_2 (suhu rata-rata) = $40^\circ C$

6. Sebuah tahanan pada suhu $0^\circ C$ besarnya adalah 1000Ω , sedangkan nilai tahanan pada suhu $100^\circ C$ adalah 1010Ω . Diminta menghitung koefisien mulai tahanan tersebut!

Jawab: Diketahui : $t_1 = 0^\circ C$

$$\begin{aligned}
 \text{Diminta} &: \text{Menghitung koefisien muainya!} \\
 \text{Penyelesaian} &: R_{t_2} = R_{t_1} \{1 + \alpha (t_2 - t_1)\} \\
 1010 &= 1000 \{1 + \alpha (100 - 0)\} \\
 1010 &= 1000 \{1 + 100 \alpha\} \\
 1010 &= 1000 + 100.000 \alpha \\
 100.000 \alpha &= 1010 - 1000 \\
 100.000 \alpha &= 10 \\
 &= \frac{10}{100.000} = \frac{1}{10.000} \text{ atau } 10^{-4} \\
 \text{Jadi } \alpha &= 10^{-4} /^\circ C
 \end{aligned}$$

Bab 3

Usaha, Daya Mekanik dan Daya Listrik

Bila kita hendak memindahkan suatu benda dari satu tempat ketempat yang lain, atau mengangkatnya ke suatu ketinggian, kita harus melakukan suatu usaha. Dan untuk melaksanakan usaha ini diperlukan *gaya*.

Gaya yang kita gunakan untuk memindahkan benda tersebut selain tergantung kepada berat benda, juga tergantung kepada besarnya gesekan. Dengan demikian dapat kita simpulkan bahwa *usaha itu bersifat lurus dengan gaya dan jarak*. Untuk menghitung besarnya usaha dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$W = K \times S$$

Dalam mana:

W = Usaha dalam satuan Kgm.

K = Gaya dalam satuan Kg.

S = Jarak dalam satuan meter.

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

Dalam mana:

P = Daya dalam satuan Kgm/detik

W = Usaha dalam Kgm

t = Waktu dalam detik

Untuk memindahkan elektron (banyaknya muatan listrik) maka diperlukan usaha listrik.

$$W = E \times Q$$

Karena: $Q = I \times t$

$W = E \times Q$ atau $W = E \times I \times t$

Menurut Hukum Ohm dikatakan bahwa:

$$E = I \times R$$

Sehingga: $W = E \times I \times t$

$$W = I \times R \times I \times t$$

$$W = I^2 R t$$

atau juga: $E = I \times R \rightarrow I = \frac{E}{R}$

$$W = E \times I \times t$$

$$W = E \times \frac{E}{R} \times t = \frac{E^2}{R} t$$

Dengan demikian rumus untuk usaha listrik (W) dapat dituliskan dalam tiga bentuk yaitu:

$$W = E \times I \times t$$

$$W = I^2 R t$$

$$W = \frac{E^2}{R} \times t$$

Dalam mana:

W = Usaha listrik dalam satuan Volt Coulomb atau Joule

E = Tegangan listrik dalam satuan Volt

Q = Banyaknya muatan listrik dalam satuan Coulomb

I = Kuat arus dalam satuan amper

R = Tahanan dalam satuan ohm (Ω)

t = Waktu dalam satuan detik

Rumus untuk daya listrik:

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

Karena: $W = E \times I \times t$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{E \times I \times t}{t} = E \times I$$

Selanjutnya bentuk rumus $P = E \times I$ dapat diubah menjadi:

$$P = E \times I$$

$$P = I \times R \times I = I^2 R$$

atau: $P = E \times I \rightarrow I = \frac{E}{R}$

$$P = E \times \frac{E}{R} = \frac{E^2}{R}$$

Untuk menghitung besarnya daya listrik dapat menggunakan salah satu dari ketiga rumus di bawah ini:

$$P = E \times I$$

$$P = I^2 R$$

$$P = \frac{E^2}{R}$$

Dalam mana:

P = Daya listrik dalam satuan Watt

E = Tegangan listrik dalam satuan Volt

I = Kuat arus dalam satuan amper

R = Tahanan listrik dalam satuan ohm

1. Hubungan antara Usaha Mekanik, Panas dan Listrik

Usaha panas 1 kalori = Usaha mekanik 427 Kgm

Usaha mekanik 1 Kgm = 9,81 joule

$$1 \text{ joule} = \frac{1}{9,81} \text{ Kgm} = 0,10193 \text{ Kgm} = 0,102 \text{ Kgm}$$

$$1 \text{ Kgm} = \frac{1}{427} \text{ K. Kalori} = 0,002342 \text{ K. Kalori}$$

$$1 \text{ joule} = 0,102 \times 0,002342 \text{ K. Kalori} = 0,00024 \text{ K. Kal} = 0,24 \text{ Kalori.}$$

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ watt-detik} = 3600 \text{ joule} = 3600 \times 0,00024 \text{ K. Kal} = 0,864 \text{ K. Kal} = 864 \text{ kalori}$$

$$1 \text{ Wh} = \frac{864}{3600} \text{ Kal/detik} = 0,24 \text{ kalori/detik}$$

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/detik} = 0,10193 \text{ Kgm/detik} = 0,102 \text{ Kgm/detik}$$

$$1 \text{ dk} = 75 \text{ Kgm/detik} = \frac{75}{0,10193} \text{ watt} = 736 \text{ watt}$$

$$1 \text{ Kw} = \frac{1000}{736} \text{ dk} = 1,36 \text{ dk (daya kuda)}$$

Karena 1 joule = 0,24 kalori.

$$1 \text{ Kilowatt} = 1 \text{ Kw} = 1000 \text{ watt}$$

$$1 \text{ Megawatt} = 1 \text{ Mw} = 1000 \text{ Kw} = 10^6 \text{ watt}$$

$$1 \text{ milliwatt} = 1 \text{ mw} = 0,001 \text{ watt}$$

$$1 \text{ Kilowatt-jam} = 1 \text{ Kwh} = 3.600.000 \text{ watt detik}$$

$$1 \text{ Megawatt-jam} = \text{Mwh} = 1000 \text{ Kwh.}$$

Untuk menghitung banyaknya panas yang dibangkitkan oleh arus listrik, dapat dihitung dengan rumus (Hukum Joule).

$$Q = 0,24 I^2 R t$$

$$Q = 0,24 E \times I \times t$$

$$Q = 0,24 \frac{E^2}{R} t$$

Dalam mana:

Q = Banyaknya panas yang dibangkitkan oleh arus listrik dalam satuan kalori.

$0,24$ = Konstanta dari 1 joule = 0,24 kalori

I = Kuat arus dalam satuan amper

R = Tahanan dalam satuan ohm

E = Tegangan listrik dalam satuan Volt

t = Waktu dalam satuan detik

2. Contoh-contoh Soal Daya dan Usaha Listrik

1. Sebuah lampu listrik mempunyai daya sebesar 250 watt dihubungkan pada sumber tegangan sebesar 125 Volt. Diminta menghitung berapa besar tahanan yang dimiliki oleh lampu tersebut?

Jawab: Diketahui : $P = 250$ watt
 $E = 125$ Volt

Ditanyakan : $R = ?$

Penyelesaian :

$$P = \frac{E^2}{R} \rightarrow R = \frac{E^2}{P} = \frac{(125)^2}{250}$$

$$R = \frac{(125)^2}{250} = \frac{125 \times 125}{250} = 62,5 \text{ ohm}$$

2. Sebuah setrika listrik dinyatakan dengan 720 watt. Pada tegangan 120 Volt. Bila alat ini dihubungkan dengan tegangan tersebut di atas, hitung berapa besar tahanan dari setrika itu?

Jawab: Diketahui : $P = 720$ watt
 $E = 120$ Volt

Ditanyakan : $R = ?$

Penyelesaian : $P = \frac{E^2}{R}$

$$R = \frac{E^2}{P} = \frac{(120)^2}{720} = \frac{120 \times 120}{720} = 20 \Omega$$

3. Batas minimum langganan listrik 300 watt. Tiap hari pemakaiannya rata-rata 10 jam. Berapa besar usaha listrik tiap bulan, bila tiap bulan dihitung 30 hari?

Jawab: Diketahui : $P = 300$ watt
 $t = 10$ jam

Ditanyakan : Usaha listrik (W) selama 30 hari

Penyelesaian : $W = P \times t$

$$P = 300 \text{ watt} = \frac{300}{1000} = 0,3 \text{ Kw}$$

$$W = P \times t \\ = 0,3 \times 10 = 3 \text{ Kwh (Kw jam)}$$

Banyaknya usaha listrik selama 30 hari adalah :

$$W = P \times t \times 30 \\ = 0,3 \times 10 \times 30 \\ = 90 \text{ Kwh}$$

4. Untuk suatu penerangan diperlukan arus sebesar 2A pada tegangan 120 Volt. Diminta menghitung usaha listrik selama 6 jam?

Jawab: Diketahui : $I = 2A$
 $E = 120$ Volt
 $t = 6$ jam

Ditanyakan : $W = ?$

Penyelesaian : $W = P \times t$

$$P = E \times I = 120 \times 2 = 240 \text{ watt} \\ W = 240 \times 6 = 1440 \text{ watt-jam} \\ = 1,44 \text{ Kwh}$$

5. Sebuah lampu pijar A dengan daya 100 watt dan lampu B 25 watt untuk tegangan 110 Volt. Bandingkanlah kedua tahanan dari kedua lampu tersebut?

Jawab: Diketahui : $P_A = 100$ watt ; $E_A = 110$ Volt
 $P_B = 25$ watt ; $E_B = 110$ Volt

Ditanyakan : $R_A : R_B = ?$

Penyelesaian : $P_A = 100$ watt } $P_A = \frac{E_A^2}{R_A}$
 $E_A = 110$ Volt }

$$R_A = \frac{E_A^2}{P_A} = \frac{(110)^2}{100} = \frac{110 \times 110}{100} = 121 \text{ ohm}$$

$$P_B = 25 \text{ watt } \left. \begin{array}{l} \\ E_B = 110 \text{ Volt} \end{array} \right\} P_B = \frac{E_B^2}{R_B}$$

$$R_B = \frac{E_B^2}{P_B} = \frac{(110)^2}{25} = \frac{110 \times 110}{25} = 484 \text{ ohm}$$

Jadi $R_A = R_B = 121 : 484$ ($R_A < R_B$)

6. Sebuah lampu pijar tertulis 100 watt/100 Volt. Jika lampu itu dipasang pada tegangan 80 Volt. Diminta menghitung besarnya daya sekarang yang digunakan lampu tersebut?

Jawab: Diketahui : $P_1 = 100$ watt

$$E_1 = 100 \text{ Volt}$$

$$E_2 = 80 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : $P_2 = ?$

Penyelesaian : $P_1 : P_2 = E_1^2 : E_2^2$

$$100 : P_2 = (100)^2 : 80^2$$

$$P_2 = \frac{80^2 \times 100}{(100)^2} = 64 \text{ watt}$$

7. Sebuah alat pemanas dengan daya 100 watt, dengan tegangan 220 Volt, sedangkan tegangan listrik yang tersedia hanya 110 Volt. Jika hendak dipasang maka alat itu harus dengan daya berapa?

Jawab: Diketahui : $P_1 = 100$ watt
 $E_1 = 220$ Volt
 $E_2 = 110$ Volt

Ditanyakan : $P_2 = ?$

Penyelesaian : $P_1 : P_2 = E_1^2 : E_2^2$

$$100 : P_2 = (220)^2 : (110)^2$$

$$P_2 = \frac{100 \times (110)^2}{220^2} = \frac{100 \times 110 \times 110}{220 \times 220} = \frac{100}{4}$$

$$P_2 = 25 \text{ watt}$$

8. Motor listrik 1 dk dihubungkan pada tegangan 120 V. Berapa besarnya kuat arus yang mengalir pada motor?

Jawab: Diketahui : $P = 1 \text{ dk} = 736$ watt
 $E = 120$ Volt

Ditanyakan : Kuat arus (I) yang mengalir?

Penyelesaian : $P = E \times I$

$$I = \frac{P}{E} = \frac{736}{120} = 6,13 \text{ A}$$

9. Pada sebuah alat listrik tertulis 220 V, 500 watt. Jika alat itu dipasang pada tegangan 110V. Diminta menghitung daya listrik sekarang setelah dihubungkan pada tegangan 110 V?

Jawab: Diketahui : $E_1 = 220$ V
 $P_1 = 500$ watt

$$E_2 = 110 \text{ V}$$

Ditanyakan : $P_2 = ?$

Penyelesaian : $P_1 : P_2 = E_1^2 : E_2^2$

$$500 : P_2 = (220)^2 : (110)^2$$

$$P_2 = \frac{(110)^2 \times 500}{(220)^2}$$

= B
= K
= T
= V

Rumus

F

Ur
satu d

Dalam
P =
E =
I =
R =

$$P_2 = \frac{110 \times 110 \times 500}{220 \times 220} = \frac{500}{4} = 125$$

Jadi $P_2 = 125$ watt

10. Sebuah bola lampu 30 watt akan menyala penuh pada tegangan sebesar 6 Volt arus searah. Diminta menghitung berapa besarnya kuat arus?

Jawab: Diketahui : $P = 30$ watt
 $E = 6$ Volt

Ditanyakan : I (kuat arus)

Penyelesaian :

$$P = E \times I \rightarrow I = \frac{P}{E} = \frac{30}{6} = 5 \text{ A}$$

11. Dalam sebuah rumah tinggal terdapat alat otomat dengan tulisan 200 VA/110 volt. Apa arti tulisan ini, coba jelaskan!

Jawab: Diketahui : Daya (W) = 200 VA
 $E = 110$ Volt

Ditanyakan : Apa arti tulisan ini?

Penyelesaian : Artinya kemampuan alat tersebut 200 VA pada tegangan 110 Volt. Jadi kuat arus maksimum yang dapat mengalir dalam otomat tersebut adalah $\frac{200}{110} = 1,82 \text{ A}$

12. Berapa besar daya motor yang diperlukan untuk menaikkan balok seberat 100 Kg setinggi 50 meter dalam waktu selama 20 detik?

Jawab: Daya mekanik yang diperlukan

$$P = \frac{U}{t} = \frac{100 \times 50}{20} = 250 \text{ Kg m/detik}$$

1 Kgm/det = 9,81 watt

sehingga daya motor listrik:

$$P = 250 \times 9,81 \text{ watt} = 2452,5 \text{ w}$$
$$= 2,4525 \text{ Kw}$$

13. Berapa besarnya daya yang diperlukan untuk memindahkan muatan sebesar 96.000 Coulomb, selama 1 menit melalui beda tegangan sebesar 50 Volt ?

Jawab: Diketahui : $Q = 96.000$ Coulomb
 $t = 1$ menit = 60 detik
 $E = 50$ Volt

Ditanyakan : Daya yang diperlukan!

Penyelesaian: $W = Q \times E$
 $= 96.000 \times 50 = 4.800.000$ Joule

$$P = \frac{W}{t} = \frac{4.800.000}{60} = 80.000 \text{ watt}$$

atau $P = 80$ Kw

14. Sebuah setrika listrik dari 450 watt dalam 1/4 jam. Tentukanlah banyaknya panas yang dihasilkan selama waktu itu!

Jawab: Diketahui : $P = 450$ watt
 $t = \frac{1}{4}$ jam = 900 detik

Ditanyakan : $Q = ?$

Penyelesaian : $Q = 0,24 \times E \times I \times t$
 $= 0,24 \times P \times t$
 $= 0,24 \times 450 \times 900$
 $= 97.200$ kalori

atau : $9,72 \times 10^4$ kalori

15. Sebuah lampu pijar memakai kawat wolfram dengan tahanan sebesar 5 ohm dapat dilalui kuat arus sebesar 2A. Diminta menghitung berapa banyaknya panas yang dihasilkan selama waktu 3 detik!

Jawab: Diketahui : $R = 5$ ohm
 $I = 2A$

PERPUSTAKAAN DAERAH JAWA TIMUR
JL. MENUR PUMPUNG No. 32
SURABAYA
TAN 1996 / 1987

$$t = 3 \text{ detik}$$

Ditanyakan : $Q = ?$

Penyelesaian : $Q = 0,24 I^2 Rt$

$$= 0,24 \cdot 2^2 \cdot 5 \cdot 3$$

$$= 0,24 \times 4 \times 5 \times 3$$

$$= 0,24 \times 60 = 14,4 \text{ kalori}$$

16. Sebuah alat pemanas listrik mempunyai tahanan sebesar 20 ohm. Kita memerlukan panas $3,6 \times 10^3$ kalori selama waktu 30 detik. Berapa besarnya tegangan yang harus disediakan?

Jawab: Diketahui : $R = 20 \text{ ohm}$

$$Q = 3,6 \times 10^3 \text{ kalori}$$

$$t = 30 \text{ detik}$$

Ditanyakan : Besarnya tegangan (E) ?

Penyelesaian :

$$Q = 0,24 \frac{E^2}{R}$$

$$3,6 \times 10^3 = 0,24 \frac{E^2}{20} \cdot 30$$

$$3,6 \times 10^3 = \frac{0,24 \times E^2 \times 30}{20}$$

$$20 \times 3,6 \times 10^3 = 0,24 \times E^2 \times 30$$

$$E^2 = \frac{20 \times 3,6 \times 10^3}{0,24 \times 30}$$

$$= \frac{20 \times 360 \times 10^3}{24 \times 30} = 10 \times 10^3$$

$$E^2 = 10^4$$

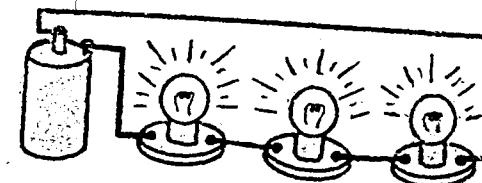
$$E = 10^4 = 100$$

Jadi $E = 100 \text{ Volt}$

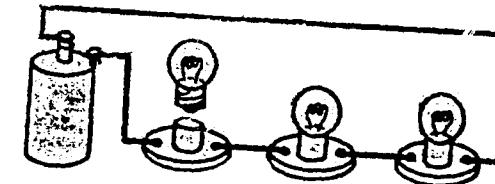
Tiga Buah Tahanan Dihubungkan Secara Seri

Resistor adalah suatu alat yang memberikan hambatan listrik ke dalam rangkaian. Lampu merupakan suatu resistor. Sepotong kawat halus panjang juga mempunyai hambatan. Jika sepotong kawat halus panjang digulung pada gelendong maka kita dapatkan suatu resistor yang menempati ruangan yang lebih kecil.

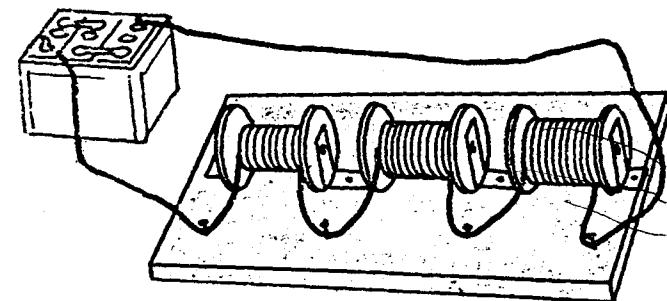
Apakah hubungan seri-seri itu? Jika beberapa lampu dihubungkan secara berderet satu sama lain, hingga arus mengalir melalui yang pertama, kemudian ketahanan yang II dan terakhir melalui tahanan yang ketiga, maka hubungan ini dinamakan tiga lampu dihubungkan seri.



Rangkaian tertutup dengan 3 buah lampu yang dihubungkan seri

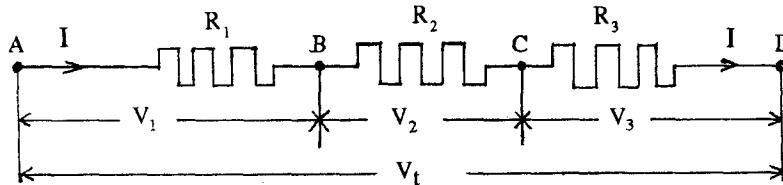


2. Sebuah lampu dilepas dari tempatnya sehingga rangkaian terputus



3. Lampu diganti dengan kumparan dari kawat halus

3. Hubungan Deret/Seri Tahanan



Tahanan R_1 , R_2 dan R_3 yaitu antara titik jepit A dan D adalah dihubungkan secara berturut-turut. Jumlah tahanan R_v (R_v) dari kawat AD dapat diperoleh dengan jalan menjumlahkan masing-masing tahanan itu.

$$R_v (R_t) = R_1 + R_2 + R_3 + R_n$$

$$\text{atau : } \sum R (R_v) = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Pada hubungan deret ini kuat arus yang mengalir di sepanjang kawat adalah sama besar: sehingga dapat dihitung besarnya tegangan cabang maupun jumlah tegangan.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Tegangan antara A - B adalah } V_1 = IR_1 \\ \text{Tegangan antara B - C adalah } V_2 = IR_2 \\ \text{Tegangan antara C - D adalah } V_3 = IR_3 \end{array} \right\} \text{(Tegangan cabang)}$$

sehingga jumlah tegangan adalah sebagai berikut:

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots = IR_1 + IR_2 + IR_3 + \dots$$

$$\text{maka : } V_t = IR_v \text{ atau } V_t = IR_t \rightarrow R_v = R_t$$

Dalam mana:

R adalah tahanan kawat dalam satuan Ω Tanda " Σ " yang dibaca "Sigma".

Kesimpulan: Dalam rangkaian deret besarnya kuat arus yang mengalir ke setiap rangkaian sama besar, sedangkan untuk harga tegangan cabangnya tidak sama tergantung harga-nilai tahanannya yang terdapat pada cabang itu.

4. Contoh-contoh Soal Rangkaian Deret

1. Tiga buah tahanan dengan tahanan yang masing-masing $\frac{3}{8} \Omega$, $2\frac{1}{5} \Omega$ dan $2\frac{1}{4} \Omega$

dihubungkan secara deret pada beda tegangan 16 Volt. Hitunglah kuat arus yang mengalir dalam rangkaian itu?

Jawab: Diketahui : $R_1 = \frac{3}{8} \Omega$

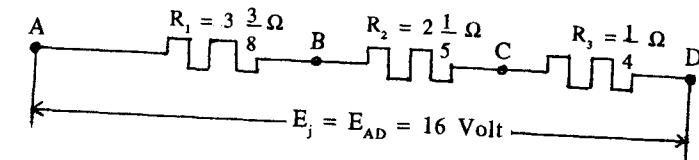
$$R_2 = 2\frac{1}{5} \Omega$$

$$R_4 = 2\frac{1}{4} \Omega$$

$$E_j = 16 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : Hitung besarnya kuat arus yang mengalir!

Penyelesaian: (lihat gambar)



$$R_{AD} = R_j = R_1 + R_2 + R_3 \text{ (Hukum pada rangkaian seri/deret)}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{3}{8} + 2\frac{1}{5} + 2\frac{1}{4} = \frac{27}{8} + \frac{11}{5} + \frac{9}{4} \\ &= \frac{135}{40} + \frac{88}{40} + \frac{90}{40} = \frac{313}{40} = 7,825 \Omega \end{aligned}$$

$$E = I \times R \rightarrow I = \frac{E}{R}$$

$$I = \frac{16}{7,825} = 2,04$$

$$\text{Jadi } I = 2,04 \text{ A.}$$

2. Sepuluh lampu dengan tahanan masing-masing $44\ \Omega$, dihubungkan deret pada tegangan 132 Volt. Berapakah besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam rangkaian?

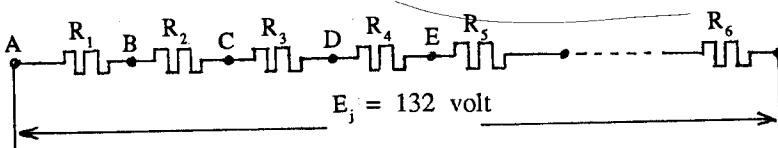
Jawab: Diketahui : Tahanan untuk sepuluh lampu $44\ \Omega$

$$10 \times 44 = 440\ \Omega$$

$$E_j = 132\ \text{Volt}$$

Ditanyakan : Kuat arus yang mengalir (I) !

Penyelesaian : lihat gambar!



$$R_j = 10 \times 44 = 440\ \Omega$$

$$E_j = I_j \times R_j$$

$$I_j = \frac{E_j}{R_j} = \frac{132}{440} = 0,3\ \text{A}$$

3. Dua buah lampu dihubungkan secara deret pada tegangan 120 V. Arus yang mengalir ke dalam rangkaian deret sebesar 1A. Tahanan lampu pertama $75\ \Omega$. Berapakah besar tahanan lampu kedua?

Jawab: Diketahui : 2 buah lampu dihubungkan secara deret.

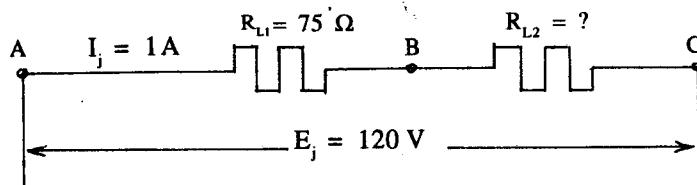
$$E_j = 120\ \text{Volt}$$

$$R_{L1} = 75\ \Omega$$

$$I = 1\ \text{A}$$

Ditanyakan : $R_{L2} = ?$

Penyelesaian: lihat gambar!



$$E_j = I_j \times R_j$$

$$120 = I \times R_j \quad R_j = \frac{120}{1} = 120\ \Omega$$

Karena rangkaian deret $R_j = R_{AB} + R_{BC}$

$$R_j = R_{L1} + R_{L2}$$

$$120 = 75 + R_{L2}$$

$$R_{L2} = 120 - 75 = 45\ \Omega$$

4. Empat tahanan berturut-turut dari $3\ \Omega$, $6\ \Omega$, $5\ \Omega$ dan $4\ \Omega$ dihubungkan secara deret pada tegangan dari 162 Volt. Hitunglah tenaga arus dan besarnya tegangan pada tiap-tiap tahanan!

Jawab: Diketahui : 4 buah tahanan dihubungkan secara deret

$$R_1 = 3\ \Omega$$

$$R_2 = 6\ \Omega$$

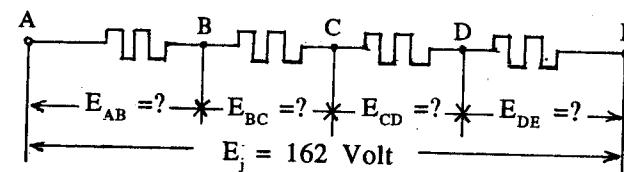
$$R_3 = 5\ \Omega$$

$$R_4 = 4\ \Omega$$

$$E_j = 162\ \text{Volt}$$

Diminta : a. Menghitung besarnya tenaga arus
b. Besarnya tegangan pada tiap-tiap tahanan

Penyelesaian : lihat gambar!



$$\begin{aligned} R_j &= R_{A-E} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \\ &= 3 + 6 + 5 + 4 \\ &= 18\ \Omega \end{aligned}$$

$$E_j = I_j \times R_j$$

$$a. I_j = \frac{E_j}{R_j} = \frac{162}{18} = 9\ \text{A}$$

b. Besarnya tegangan pada tiap-tiap tahanan

$$E_{A-B} = I_j \times R_1 = 9 \times 3 = 27 \text{ Volt}$$

$$E_{B-C} = I_j \times R_2 = 9 \times 6 = 54 \text{ Volt}$$

$$E_{C-D} = I_j \times R_3 = 9 \times 5 = 45 \text{ Volt}$$

$$E_{D-E} = I_j \times R_4 = 9 \times 4 = 36 \text{ Volt}$$

5. Pertanyaan seperti pada soal no. 42, jika diketahui : $R_1 = 12,8 \Omega$; $R_2 = 5,5 \Omega$; $R_3 = 9,2 \Omega$

$$E_j = 220 \text{ Volt}$$

Jawab: Diketahui : $R_1 = 12,8 \Omega$

$$R_2 = 5,5 \Omega$$

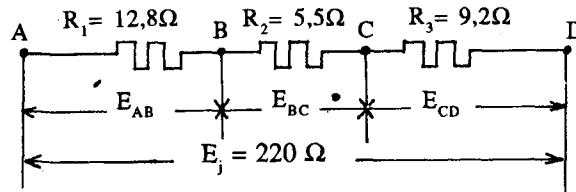
$$R_3 = 9,2 \Omega$$

$$E_j = 220 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : a. $I_j = ?$

b. Tegangan pada tiap-tiap cabang

Penyelesaian : lihat gambar!



$$\begin{aligned} R_j &= R_{A-D} = R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 12,8 + 5,5 + 9,2 \\ &= 27,5 \Omega \end{aligned}$$

$$E_j = I_j \times R_j$$

$$E_j = \frac{E_j}{R_j} = \frac{220}{27,5} = 8 \text{ A}$$

$$E_{A-B} = I_j \times R_1 = 8 \times 12,8 = 102,4 \text{ Volt}$$

$$E_{B-C} = I_j \times R_2 = 8 \times 5,5 = 44 \text{ Volt}$$

$$E_{C-D} = I_j \times R_3 = 8 \times 9,2 = 73,6 \text{ Volt}$$

6. Pertanyaan seperti pada soal no. 5, jika diketahui $R_1 = 1\frac{1}{3} \Omega$
 $R_2 = \frac{1}{4} \Omega$; $R = 2\frac{5}{12} \Omega$

$$E_{JUMLAH} = 72 \text{ Volt}$$

Jawab: Diketahui : $R_1 = 1\frac{1}{3} \Omega$

$$R_2 = \frac{1}{4} \Omega$$

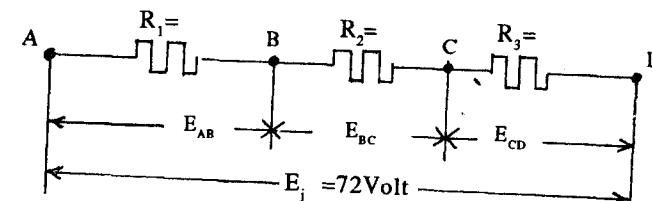
$$R_3 = 2\frac{5}{12} \Omega$$

$$E_j = 72 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : I_j

Tegangan pada tiap-tiap cabang

Penyelesaian : lihat gambar!



$$\begin{aligned} R_j &= R_1 + R_2 + R_3 \\ &= 1\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + 2\frac{5}{12} = \frac{4}{3} + \frac{1}{4} + \frac{29}{12} = \frac{16}{12} + \frac{3}{12} + \frac{29}{12} \\ &= \frac{48}{12} = 4 \Omega \end{aligned}$$

$$E_j = I_j \times R_j$$

$$E_j = \frac{E_j}{R_j} = \frac{72}{4} = 18 \text{ A}$$

$$E_{A-B} = I_j \times R_1$$

$$= 18 \times 1\frac{1}{3} = 18 \times \frac{4}{3} = 24 \text{ Volt}$$

$$E_{B-C} = I_j \times R_2$$

$$= 18 \times \frac{1}{4} = 4,5 \text{ Volt}$$

$$E_{C-D} = I_j \times R_3$$

$$= 18 \times 2\frac{5}{12} = 18 \times \frac{29}{12} = 43,5 \text{ Volt}$$

Jadi $E_{A-B} = 24 \text{ Volt}$

$$E_{B-C} = 4,5 \text{ Volt}$$

$$E_{C-D} = 43,5 \text{ Volt}$$

7. Empat buah tahanan yang dihubungkan secara deret, tahanan ketiga dan keempat masing-masing 5Ω dan 21Ω . Di antara ujung-ujung dari kedua tahanan terdapat beda tegangan sebesar 130 V , sedangkan jumlah tegangan seluruh rangkaian sebesar 180 Volt . Tahanan kedua ialah $4 \times$ lebih besar daripada tahanan yang pertama. Tentukanlah kerugian-kerugian tegangan pada masing-masing tahanan dan nilai tahanan pertama dan kedua!

Jawab: Diketahui : $R_3 = 5 \Omega$

$$R_4 = 21 \Omega$$

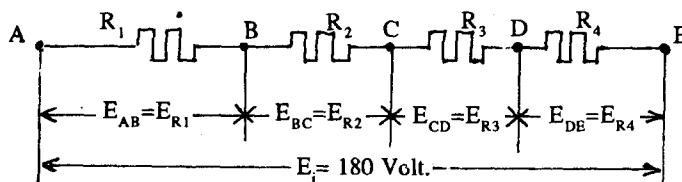
$$E_{R_3} + E_{R_4} = 130 \text{ Volt}$$

$$E_{\text{jumlah}} = 180 \text{ volt}$$

$$R_2 = 4 \times R_1$$

Ditanyakan : Tegangan pada tiap-tiap tahanan!

Penyelesaian : lihat gambar!



$$E_{R_1} + E_{R_2} = E_{\text{jumlah}} - (E_{R_3} + E_{R_4})$$

$$= 180 \text{ V} - 130 \text{ V} = 50 \text{ V}$$

$$R_{3,4} (R_3 + R_4) = 5 + 21 = 26$$

$$I_{C-E} = \frac{E_3 + E_4 (E_{C-E})}{R_3 + R_4} = \frac{130}{26} = 5 \text{ A}$$

Karena rangkaian ini merupakan deret maka kuat arus yang mengalir keseluruhan rangkaian adalah sama besar 5 A .

$$E_{R_1} + E_{R_2} = 50 \text{ V} \quad I_{A-E} = 5 \text{ A}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{(E_{R_1} + E_{R_2})}{I_{A-E}} = \frac{50}{5} = 10 \Omega$$

$$R_2 = 4 \times R_1$$

Pada persamaan $R_1 + R_2 = \frac{(E_{R_1} + E_{R_2})}{I_{A-E}}$ ganti dengan $4 \times R_1$ nilai R_2 dapat di-

$$R_1 + R_2 = \frac{(E_{R_1} + E_{R_2})}{I_{A-E}}$$

$$R_1 + 4R_1 = \frac{(E_{R_1} + E_{R_2})}{I_{A-E}} \rightarrow \frac{E_{R_1} + E_{R_2}}{I_{A-E}} = \frac{50}{10} = 10 \Omega$$

$$5R_1 = 10 \Omega$$

$$R_1 = \frac{10}{5} = 2 \Omega$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } R_2 &= 4 \times R_1 \\ &= 4 \times 2 = 8 \Omega \end{aligned}$$

$$E_{AB} (E_{R_1}) = I_{A-E} \times R_1 = 5 \times 2 = 10 \text{ Volt}$$

$$E_{BC} (E_{R_2}) = I_{A-E} \times R_2 = 5 \times 8 = 40 \text{ Volt}$$

$$E_{CD} (E_{R_3}) = I_{A-E} \times R_3 = 5 \times 5 = 25 \text{ Volt}$$

$$E_{DE} (E_{R_4}) = I_{A-E} \times R_4 = 5 \times 21 = 105 \text{ Volt}$$

8. Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah rangkaian tertutup yang terdiri dari sebuah sumber tegangan, kawat saluran dan sebuah beban lampu "L" dengan nilai tahanan sebesar $R_L = 13,3 \Omega$. Dari sumber tegangan ini mengalir kuat arus sebesar 1,5 A melalui penghantar/saluran yang terbuat dari tembaga dengan panjang 15 m dan penampang $0,75 \text{ mm}^2$. Sedangkan tahanan jenisnya sebesar $0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Diminta menghitung besarnya: Tahanan jumlah dalam rangkaian dan besarnya tegangan pada sumber.

Jawab: Diketahui : $I = 1,5 \text{ A}$

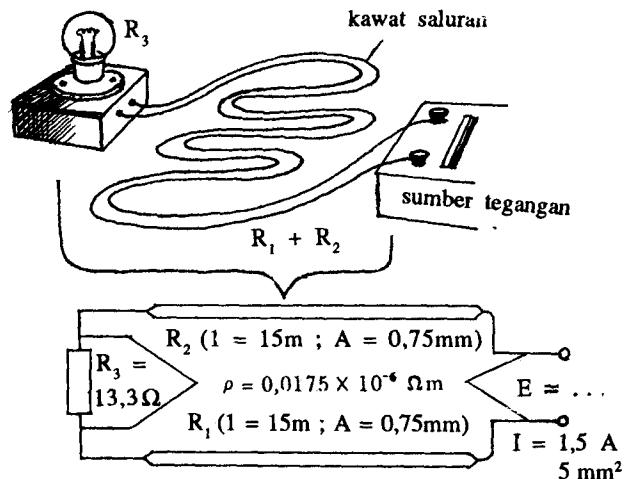
$$q = 0,75 \text{ mm}^2$$

$$\rho = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

$$= 15 \text{ m (untuk tiap kawat)}$$

Ditanyakan : a. R_{jumlah} dalam rangkaian
b. tegangan pada sumber

Penyelesaian : lihat gambar!



Kawat saluran itu mempunyai kepanjangan, banan dan penampang yang sama maka harga tahanannya pun juga sama, sehingga:

$$R_k = \frac{\rho \times l}{q} = \frac{0,0175 \times 15}{0,75}$$

$$= \frac{0,2625}{0,75} = 0,35 \Omega$$

Karena kawat saluran itu terdiri dari 2 kawat, maka : 2 kawat mempunyai nilai $2 \times R_k$ atau $2 \times R_k = 2 \times 0,35 = 0,7$

a. Tahanan jumlah dalam rangkaian (R_j)

$$= 2 R_k + R_L = 0,7 + 13,3 = 14 \Omega$$

b. Tegangan pada sumber

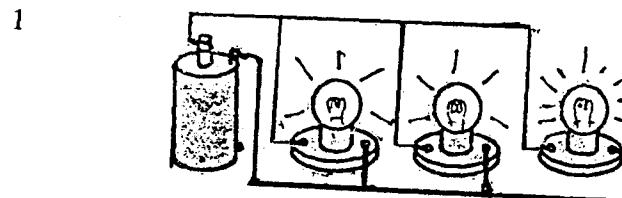
$$E = I \times R_j \\ = 1,5 \times 14 = 21 \text{ Volt}$$

Tiga Buah Lampu/Tahanan yang Dihubungkan Paralel

Apakah hubungan paralel itu? Jika beberapa lampu/tahanan dihubungkan pada dua jepitan yang sama, maka lampu-lampu tersebut dinamakan hubungan paralel.

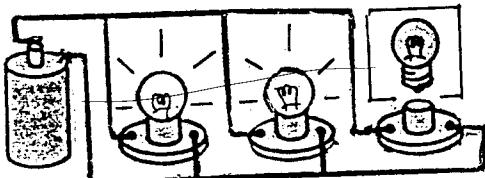
Jika plus dan minus dari beberapa sel kering yang dihubungkan sesuai dengan gambar maka sel-sel ini akan dikatakan hubungan paralel.

(Lihat gambar)



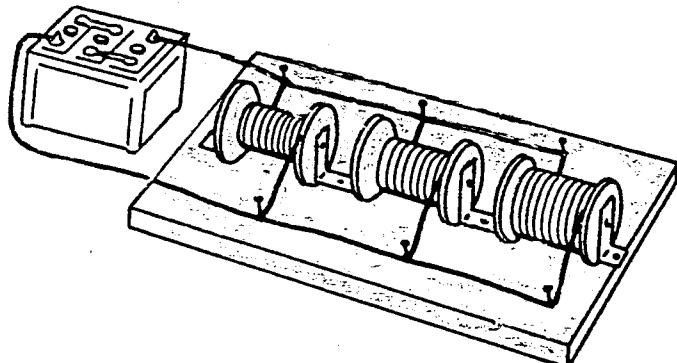
Tiga buah lampu dihubungkan paralel.

2



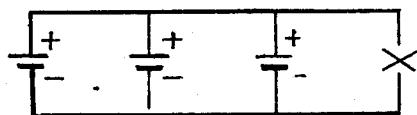
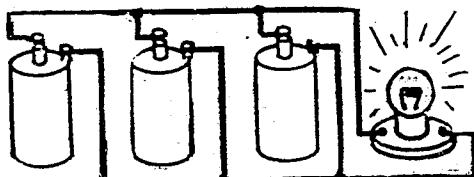
Sebuah lampu dilepaskan dari tempatnya, sehingga lampu yang lain tetap menyala

3



Lampu diganti dengan kumparan dari kawat halus.

4

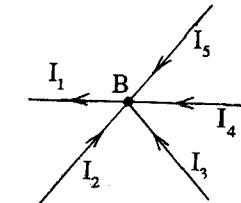
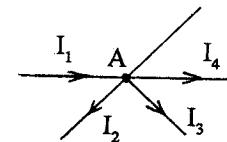


5. Hukum Kirchhoff I

Definisi: Jumlah aljabar semua arus dalam titik percabangan itu sama dengan nol.

Rumua:

$$\Sigma I = 0$$

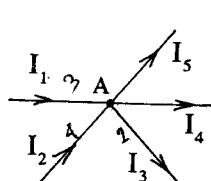


Contoh Soal:

* Gambar di bawah ini mewujudkan kuat arus masuk ke titik percabangan A lewat dua buah kawat pengantar AB dan AC. Dari titik A arus mengalir ketiga (3) buah lampu yang masing-masing L_3 ; L_4 ; dan L_5

Diminta menghitung I_5 jika $I_1 = 3 \text{ A}$; $I_2 = 4 \text{ A}$ dan $I_3 = 2 \text{ A}$

Jawab: Menurut hukum Kirchhoff I $\Sigma I = 0$



$$(I_1 + I_2) - (I_3 - I_4 - I_5) = 0$$

$$3 + 4 - 2 - 3 = 5 - I_5 = 0$$

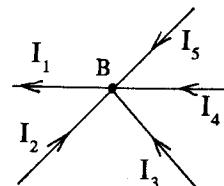
$$3 + 4 = 2 + 3 + I_5 \quad 7 = 2 + 3 + I_5$$

$$7 = 5 - I_5 \quad 7 = 5 - I_5$$

$$I_5 = 7 - 5 = 2 \text{ A} \quad 7 - 2 = 5 - 3$$

$$I_5 = 2 \text{ A}$$

Catatan: Kuat arus yang masuk ke titik A kita sebut positif dan yang meninggalkan disebut negatif.



Kuat arus:

$$I_1 = 6 \text{ A}; I_3 = 2 \text{ A}; I_4 = 3 \text{ A}$$

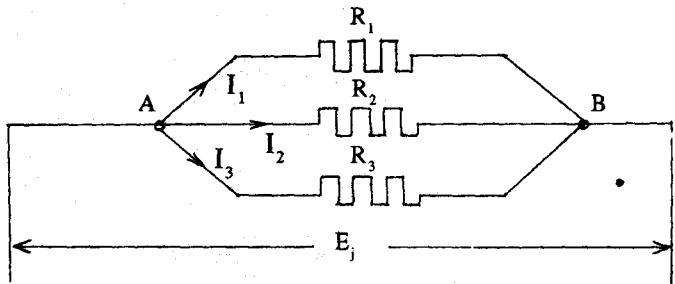
$$\text{dan } I_5 = 4 \text{ A}$$

Berapakah kuat arus $I_2 = ?$

Jawab: $I_2 + I_4 + I_5 - I_1 = 0$
 $I_2 + 2 + 3 + 5 - 6 = 0$
 $I_2 + 10 - 6 = 0$
 $I_2 = -10 + 6 = -4$
Jadi $I_2 = -4 \text{ A}$

6. Hubungan Sejajar/Paralel dari Beberapa Tahanan

Jika ada beberapa alat pemakai (alat listrik) dihubungkan pada satu sumber tegangan yang sama, hubungan ini disebut hubungan sejajar atau hubungan paralel.



Dengan memperhatikan gambar di atas, menurut hukum Kirchoff I berlaku:

$$I_j - I_1 - I_2 - I_3 = 0 \text{ atau}$$

$$I_j = I_1 + I_2 + I_3$$

Sehingga menurut Hukum Ohm juga berlaku $E = I \times R$

Dalam hubungan sejajar, bahwa tegangan yang terdapat di tiap cabang adalah sama besar dengan tegangan sumbernya.

$$E_1 = E_2 = E_3 = E_j$$

$$E_1 = I_1 R_1$$

$$E_2 = I_2 R_2$$

$$E_3 = I_3 R_3$$

$$I_1 = \frac{E_1}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E_2}{R_2} \quad \text{dan} \quad I_3 = \frac{E_3}{R_3}$$

$$I_j = \frac{E_j}{R_j} + \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}$$

$$\text{Sehingga: } I_j = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{E_j}{R_j} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \dots \frac{E_n}{R_n}$$

$$\text{Karena: } E_j = E_1 = E_2 = E_3$$

Maka bentuk persamaan di atas dapat diubah dengan jalan ruas kanan dan ruas kiri dibagi dengan E_j .

$$\frac{E_j}{R_j} = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_j} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_n}$$

$$\text{atau: } \frac{1}{R_j} = \sum \left(\frac{1}{R} \right)$$

Rumus untuk menghitung tahanan pengganti adalah sebagai berikut:

$$\boxed{\frac{1}{R_j} = \sum \left(\frac{1}{R} \right)}$$

dari persamaan:

$$I_1 = \frac{E}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E}{R_2} \quad \text{dan} \quad I_3 = \frac{E}{R_3}$$

$$\text{Terjadi} \rightarrow : I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$$

$$\text{Karena: } \frac{1}{R} = G$$

$$I_1 : I_2 : I_3 = G_1 : G_2 : G_3$$

Dalam mana:

R = Tahanan dalam satuan ohm (Ω)

E = Tegangan listrik dalam satuan Volt

I = Kuat arus listrik dalam satuan Amper

G = Daya hantar dalam satuan ohm (Ω) atau Siemens

7. Contoh Soal Hubungan Sejajar/Paralel dari Beberapa Tahanan

1. Dalam suatu rangkaian listrik terdiri dari tiga buah tahanan yang dihubungkan sejajar masing-masing $R_1 = 4 \Omega$; $R_2 = 1,5 \Omega$ dan $R_3 = 2,4 \Omega$. Tentukan besarnya tahanan penggantinya!

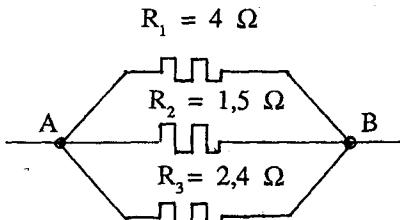
Jawab: Diketahui : $R_1 = 4 \Omega$

$$R_2 = 1,5 \Omega$$

$$R_3 = 2,4 \Omega$$

Ditanyakan : Tahanan penggantinya (R_p)

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian : } \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ &= \frac{1}{4} + \frac{1}{1,5} + \frac{1}{2,4} \\ &= \frac{3}{12} + \frac{8}{12} + \frac{5}{12} \\ &= \frac{16}{12} \\ R_p &= \frac{12}{16} = \frac{3}{4} = 0,75 \Omega \end{aligned}$$



Jadi R_p (Tahanan penggantinya) = $0,75 \Omega$

2. 10 buah lampu dihubungkan sejajar, tahanan tiap-tiap lampu 100 ohm. Berapakah besarnya tahanan jumlah (penggantinya) ?

Jawab: Diketahui : 10 buah lampu

R tiap lampu sebesar 100 ohm

Ditanyakan : R_j (pengganti)

Penyelesaian :

$$\frac{1}{R_j} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{10}{100}$$

$$R_j = \frac{100}{10} = 10 \text{ ohm}$$

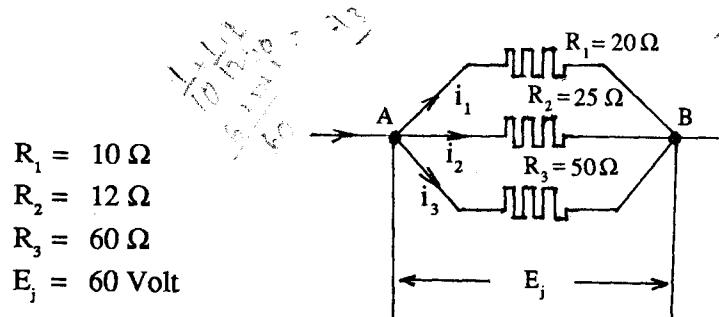
3. Tiga buah pemakai listrik yang harga tahanannya masing-masing 10Ω , 12Ω dan 60Ω , dihubungkan sejajar pada tegangan 60 Volt. Diminta menghitung besarnya:

a. Kuat arus yang mengalir ke dalam alat pemakai

b. Kuat arus yang dipakai

c. Tahanan yang dipakai

Jawab: Diketahui : (lihat gambar)



$$R_1 = 10 \Omega$$

$$R_2 = 12 \Omega$$

$$R_3 = 60 \Omega$$

$$E_j = 60 \text{ Volt}$$

- Ditanyakan :**
- Kuat arus yang mengalir ke dalam tiap alat pemakai (i_1 , i_2 dan i_3)
 - $I_j = ?$
 - R_p (R_p)

Penyelesaian :

$$a) i_1 = \frac{E_j}{R_1} = \frac{60}{10} = 6 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{E_j}{R_2} = \frac{60}{12} = 5 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{E_j}{R_3} = \frac{60}{60} = 1 \text{ A}$$

$$b) I_j = \frac{E_j}{R_p} = \frac{60}{5} = 12 \text{ A}$$

$$c) \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$= \frac{1}{10} + \frac{1}{12} + \frac{1}{60}$$

$$= \frac{6}{60} + \frac{5}{60} + \frac{1}{60}$$

$$= \frac{12}{60}$$

$$R_p = \frac{60}{12} = 5 \text{ ohm}$$

4. Tiga buah tahanan (resistor) masing-masing $R_1 = 20 \Omega$; $R_2 = 25 \Omega$ dan $R_3 = 50 \Omega$ dihubungkan sejajar. Kuat arus yang mengalir di dalam tahanan kedua sebesar 4 amper.

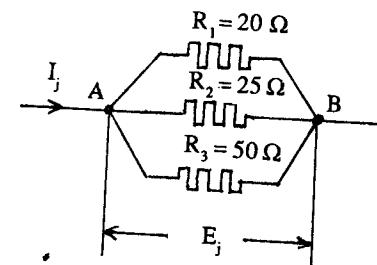
Berapakah:

- Kuat arus yang berada di dalam tahanan yang lain.
- Kuat arus jumlah
- Tahanan pengganti

Jawab: Diketahui : $R_1 = 20 \Omega$ lihat gambar!
 $R_2 = 25 \Omega$
 $R_3 = 50 \Omega$
 $I_2 = 4 \text{ A}$

Ditanyakan : E_j (E_{AB}) = $I_2 \times R_2 = 4 \times 25 = 100 \text{ V}$

- i_1 (kuat arus yang mengalir ke tahanan 1)
- i_3 (kuat arus yang mengalir ke tahanan 3)
- Kuat arus jumlah (I_j)
- R_p (R_p)



$$a) i_1 = \frac{E_j}{R_1} = \frac{100}{20} = 5 \text{ A}$$

$$i_2 = 4 \text{ A} \text{ (diketahui)}$$

$$i_3 = \frac{E_j}{R_3} = \frac{100}{50} = 2 \text{ A}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{20} + \frac{1}{25} + \frac{1}{50}$$

$$= \frac{5}{100} + \frac{4}{100} + \frac{2}{100} = \frac{11}{100}$$

$$b) I_j = \frac{E_j}{R_p} = \frac{100}{\frac{100}{11}} = \frac{100}{1} \times \frac{11}{100} = 11 \text{ A}$$

$$c) R_p = \frac{100}{11} \text{ ohm}$$

5. Dua buah lampu, masing-masing lampu mempunyai tahanan sebesar 100Ω dan 200Ω . Lampu tersebut dihubungkan sejajar pada tegangan 120 Volt. Tentukan besarnya kuat arus yang mengalir ke tiap-tiap lampu dan tahanan penggantinya!

Jawab: Diketahui : $R_{L_1} = 100 \Omega$

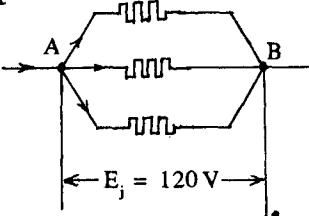
$$R_{L_2} = 200 \Omega$$

$$E_j = 120 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : a. $i_1 = ?$

b. $i_2 = ?$

c. $R_p = ?$



$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian : } \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_{L_1}} + \frac{1}{R_{L_2}} = \frac{1}{100} + \frac{1}{200} \\ &= \frac{2}{200} + \frac{1}{200} = \frac{3}{200} \end{aligned}$$

$$a) R_p = \frac{200}{3} = 66,7$$

$$b) i_1 = \frac{E_j}{R_{L_1}} = \frac{120}{100} = 1,2 \text{ A}$$

$$c) i_2 = \frac{E_j}{R_{L_2}} = \frac{120}{200} = 0,6 \text{ A}$$

6. Sebuah rumah tinggal diperlengkapi dengan 6 buah lampu. Tiap lampu mempunyai tahanan 200Ω , 150Ω , 100Ω , 75Ω , 60Ω dan 40Ω . Lampu-lampu tersebut dihubungkan sejajar pada tegangan 120 Volt. Berapa besarnya kuat arus jumlah yang mengalir ke sebuah rangkaian?

Jawab:

Diketahui :

$$E_j = 120 \text{ V}$$

$$R_1 = 200 \Omega$$

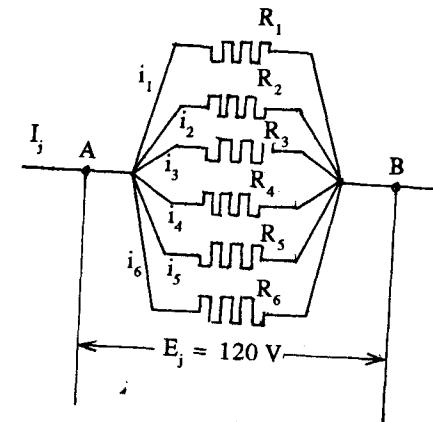
$$R_2 = 150 \Omega$$

$$R_3 = 100 \Omega$$

$$R_4 = 75 \Omega$$

$$R_5 = 60 \Omega$$

$$R_6 = 40 \Omega$$



Ditanyakan : a. Kuat arus jumlah = ?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \\ &= \frac{1}{200} + \frac{1}{150} + \frac{1}{100} + \frac{1}{75} + \frac{1}{60} + \frac{1}{40} \\ &= \frac{15}{300} + \frac{2}{300} + \frac{3}{300} + \frac{4}{300} + \frac{5}{300} + \frac{7,5}{300} \\ &= \frac{23}{300} \end{aligned}$$

$$R_p = \frac{300}{23} \Omega$$

$$\begin{aligned} I_j &= \frac{E_j}{R_p} = \frac{120}{\frac{300}{23}} = \frac{120}{1} \times \frac{23}{300} = \frac{46}{5} \\ &= 9,2 \end{aligned}$$

Jadi $I_j = 9,2 \text{ A}$

7. Empat buah tahanan masing-masing bernilai $R_1 = 13,5 \Omega$, $R_2 = 9 \Omega$ dan $R_3 = 6\frac{3}{4} \Omega$ dihubungkan secara sejajar/paralel pada tegangan 90 Volt. Diminta menghitung tahanan jumlah, kuat arus jumlah dan arus dalam tiap-tiap cabang!

Jawab: Diketahui :

$$R_1 = 13,5 \Omega$$

$$R_2 = 9 \Omega$$

$$R_3 = 6\frac{3}{4} \Omega$$

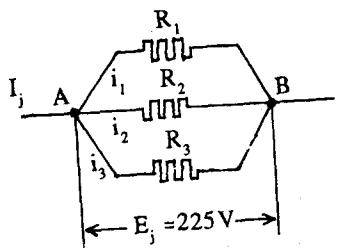
dihubungkan sejajar

$$E_j = 225 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : a. R_p (R_j)

b. I_j

c. Kuat arus cabang



Penyelesaian

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ &= \frac{1}{13,5} + \frac{1}{9} + \frac{1}{6\frac{3}{4}} \\ &= \frac{1}{27} + \frac{1}{9} + \frac{1}{27} \\ &= \frac{2}{27} + \frac{1}{9} + \frac{4}{27} = \frac{2}{27} + \frac{3}{27} + \frac{4}{27} \\ &= \frac{9}{27} \end{aligned}$$

a. $R_p = \frac{27}{9} = 3 \Omega$

b. $I_j = \frac{E_j}{R_p} = \frac{225}{3} = 75 \text{ A}$

c. $i_1 = \frac{E_j}{R_1} = \frac{225}{13,5} = 16,66 \text{ A}$

$i_2 = \frac{E_j}{R_2} = \frac{225}{9} = 25 \text{ A}$

$i_3 = \frac{E_j}{R_3} = \frac{225}{6\frac{3}{4}} = 33,33 \text{ A}$

8. Seperti pada soal no. 54 $R_1 = 7,5 \Omega$; $R_2 = 37,5 \Omega$; $R_3 = 25 \Omega$ dan $R_4 = 1\frac{2}{3} \Omega$ dihubungkan kepada tegangan sebesar $E = 75 \text{ Volt}$. Ditanyakan berapa besar tahanan jumlah, kuat arus jumlah dan arus dalam tiap-tiap cabang !

Jawab: Diketahui : $R_1 = 7,5 \Omega$

$$R_2 = 37,5 \Omega$$

$$R_3 = 25 \Omega$$

$$R_4 = 1\frac{2}{3}$$

dihubungkan sejajar

$$E = 75 \text{ Volt}$$

Ditanyakan : a. R_p

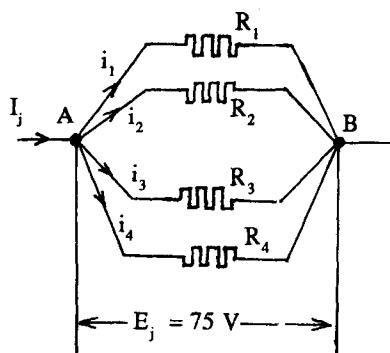
b. I_j

c. i_1, i_2, i_3 dan i_4

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \\ &= \frac{1}{7,5} + \frac{1}{37,5} + \frac{1}{25} + \frac{1}{1\frac{2}{3}} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{15} + \frac{1}{75} + \frac{1}{25} + \frac{1}{5}$$



$$\begin{aligned}
 &= \frac{2}{15} + \frac{2}{75} + \frac{1}{25} + \frac{3}{5} \\
 &= \frac{10}{75} + \frac{2}{75} + \frac{3}{75} + \frac{45}{75} \\
 &= \frac{60}{75}
 \end{aligned}$$

a. $R_p = \frac{75}{60} = 1,25$

b. $I_j = \frac{E_j}{R_p} = \frac{75}{1,25} = 60 \text{ A}$

c. $i_1 = \frac{E_j}{R_1} = \frac{75}{7,5} = 10 \text{ A}$

$$i_2 = \frac{E_j}{R_2} = \frac{75}{7,5} = 2 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{E_j}{R_3} = \frac{75}{25} = 3 \text{ A}$$

$$i_4 = \frac{E_j}{R_4} = \frac{75}{\frac{1}{2}} = \frac{75}{\frac{5}{3}} = \frac{75}{1} \times \frac{3}{5} = 45 \text{ A}$$

9. Suatu rangkaian listrik terdiri dari 2 buah tahanan yang dihubungkan secara sejajar, yang masing-masing dengan harga $R_1 = 3 \Omega$ dan $R_2 = 7 \Omega$. Diminta menghitung besarnya kuat arus di tiap-tiap cabang jika kuat arus yang mengalir ke seluruh rangkaian sebesar 10 A !

Jawab: Diketahui : $R_1 = 3 \Omega$

$$R_2 = 7 \Omega$$

$$I_j = 10 \text{ A}$$

dihubungkan sejajar

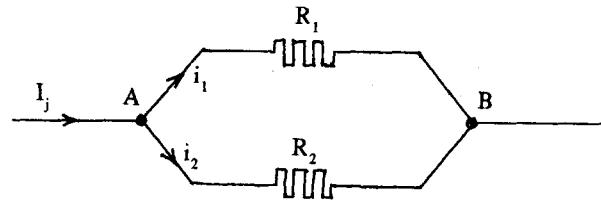
Ditanyakan : a) i_1 dan i_2

Penyelesaian : a) $i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times I_j$

$$i_1 = \frac{7}{3+7} \times 10 = \frac{7}{10} \times 10 = 7 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I_j$$

$$= \frac{3}{3+7} \times 10 = \frac{3}{10} \times 10 = 3 \text{ A}$$



10. Kuat arus sebesar 75A bercabang menjadi dua melalui tahanan-tahanan yang satu besarnya 73,5A dan yang lain sebesar 1,5 A melalui tahanan 14,7 Ω . Tentukan besarnya tahanan yang lain!

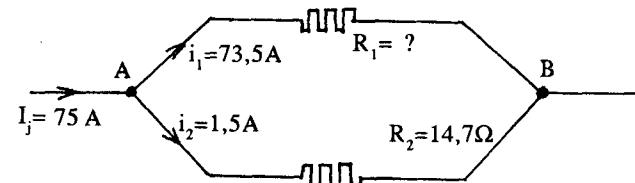
Jawab: Diketahui : $I_j = 75 \text{ A}$

$$i_1 = 73,5 \text{ A}$$

$$i_2 = 1,5 \text{ A} \text{ dan } R_2 = 14,7 \Omega$$

Ditanyakan : menghitung besarnya $R_1 = ?$

Penyelesaian : (lihat gambar)!



$$E_{AB} = i_2 \times R_2 = 1,5 \times 14,7 = 22,05 \text{ Volt}$$

$$R_1 = \frac{E_{AB}}{i_1} = \frac{22,05}{73,5} = 0,3 \Omega$$

11. Antara titik jepitan A dan B terdapat 3 buah tahanan, masing-masing $R_1 = 60 \Omega$; $R_2 = 20 \Omega$ dan R_3 . Tahanan penggantinya dari rangkaian ini sebesar 5Ω . Hitunglah nilai tahanan R_3 !

Jawab: Diketahui : $R_1 = 60 \Omega$

$$R_2 = 20 \Omega$$

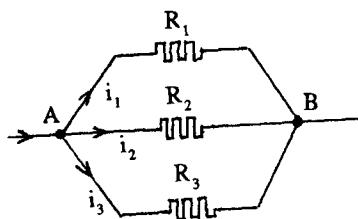
$$R_p = 5 \Omega$$

Ditanyakan : $R_3 = ?$

Penyelesaian : $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$
 $\frac{1}{5} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} + \frac{1}{R_3}$

$$\begin{aligned}\frac{1}{R_3} &= \frac{1}{5} - \frac{1}{60} - \frac{1}{20} \\ &= \frac{12}{60} - \frac{1}{60} - \frac{3}{60} \\ &= \frac{8}{60}\end{aligned}$$

$$R_3 = \frac{60}{8} = 7,5 \Omega$$



12. Tentukan bagaimana arus kuat sebesar 50 A terbagi menjadi 3 yang masing-masing melalui tiga buah tahanan yang dihubungkan sejajar yaitu $R_1 = 15 \Omega$; $R_2 = 6 \Omega$ dan $R_3 = 10 \Omega$

Jawab: Diketahui : $I_j = 50 \text{ A}$

$$R_1 = 15 \Omega$$

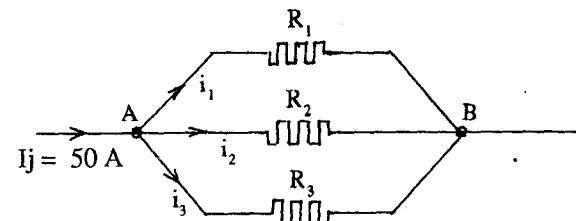
$$R_2 = 6 \Omega$$

$$R_3 = 10 \Omega$$

Ditanyakan : Dihubungkan sejajar!

$$i_1, i_2 \text{ dan } i_3$$

Penyelesaian : (lihat gambar) !



$$\begin{aligned}\frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{15} + \frac{1}{6} + \frac{1}{10} \\ &= \frac{2}{30} + \frac{5}{30} + \frac{3}{30} \\ &= \frac{10}{30}\end{aligned}$$

$$R_p = \frac{30}{10} = 3 \Omega$$

$$E_{A-B} = I_j \times R_p = 50 \times 3 = 150 \text{ Volt}$$

$$i_1 = \frac{E_{A-B}}{R_1} = \frac{150}{15} = 10 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{E_{A-B}}{R_2} = \frac{150}{6} = 25 \text{ A}$$

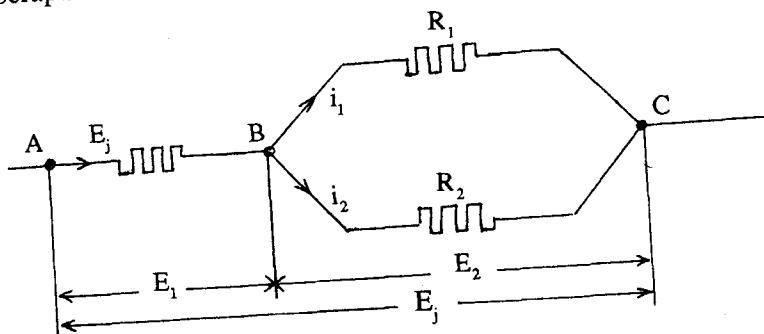
$$i_3 = \frac{E_{A-B}}{R_3} = \frac{150}{10} = 15 \text{ A}$$

Jadi kuat arus sebesar 50 A itu terbagi menjadi tiga (3) cabang, masing-masing sebesar $i_1 = 10 \text{ A}$, $i_2 = 25 \text{ A}$ dan $i_3 = 15 \text{ A}$

8. Hubungan Majemuk (Campuran)

Hubungan majemuk adalah hubungan di mana terdapat beberapa tahanan yang dihubungkan secara deret/seri dan beberapa tahanan dihubungkan secara sejajar. Untuk menghitung jumlah tahanan pengganti dari hubungan majemuk ini, terlebih dahulu dilakukan menghitung besarnya tahanan pengganti dari tiap cabang hubungan sejajar. Akhirnya

tahanan-tahanan pengganti ini akan merupakan hubungan deret dari beberapa tahanan.



Pada rangkaian B - C terdapat 2 buah tahanan yang masing-masing $R_2 - R_3$ dihubungkan dalam keadaan paralel. Maka berlakulah:

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \frac{1}{R_{j_{BC}}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\text{atau : } \frac{1}{R_{j_{BC}}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{j_{BC}}} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3}$$

$$R_{j_{BC}} = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2}$$

$$\text{Sehingga: } R_{A-C} = R_{AB} + R_{BC}$$

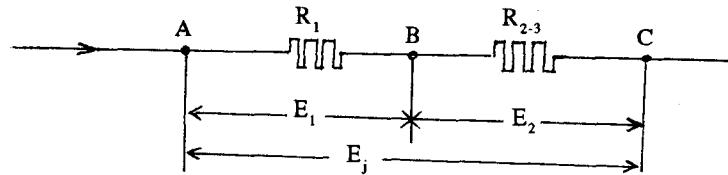
$$R_j = R_1 + R_{23}$$

$$R_j = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

$$I_j = I_1 + I_2$$

$$E_j = E_1 + E_2$$

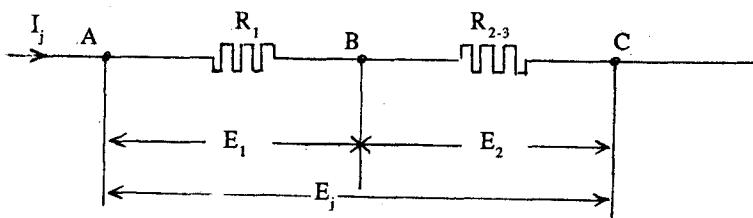
Akhirnya: Gambar rangkaian di atas dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut:



Rumus untuk menghitung tahanan jumlah pada rangkaian majemuk di atas berlaku:

$$R_j = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$$

Lain halnya jika rangkaian majemuk itu terdiri dari beberapa tahanan seperti tampak pada gambar, cara penyelesaiannya kita kerjakan secara bertahap (lihat gambar dan cara di bawah ini)!

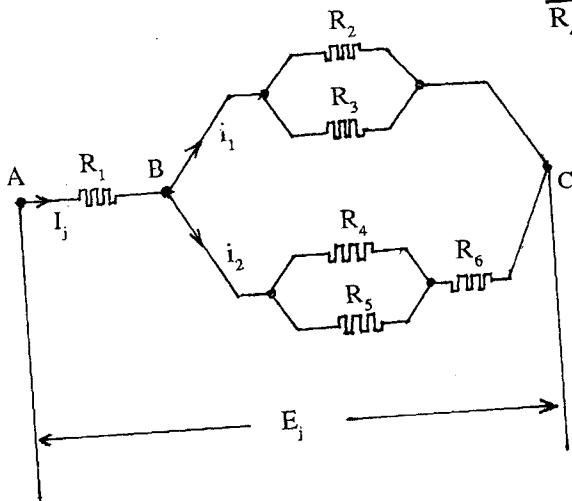


Diketahui : (lihat gambar)!

Ditanyakan : R_{jumlah} atau R_{A-C}

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

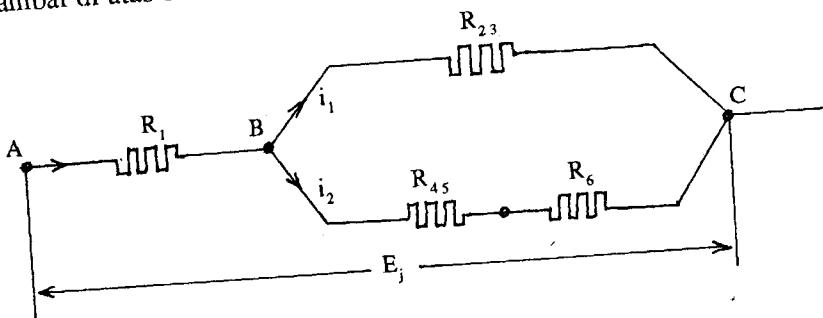
$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2}$$



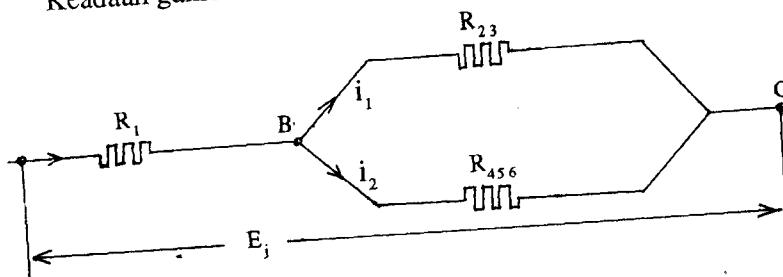
$$\frac{1}{R_{45}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}$$

$$R_{45} = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5}$$

Setelah R_{23} dan R_{45} diperoleh dari perhitungan di atas, maka gambar di atas berubah menjadi:



Keadaan gambar di atas berubah menjadi:

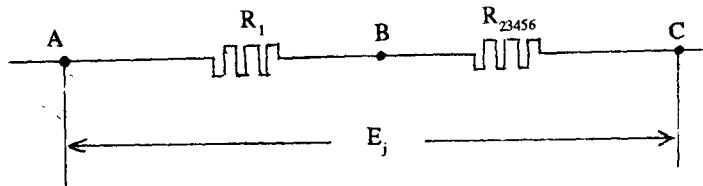


Dari rangkaian ini R_{23} dan R_{45} kita hitung tahanan penggantinya yaitu:

$$\frac{1}{R_{23456}} = \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_{456}}$$

$$R_{23456} = \frac{R_{23} \times R_{456}}{R_{23} + R_{456}}$$

Hasil perhitungan ini mengubah situasi gambar di atas menjadi:



Sehingga:

$R_{A-C}(R_j)$ dari seluruh rangkaian ditetapkan dengan situasi gambar akhir.

$$R_{A-C}(R_j) = R_1 + R_{23456}$$

9. Contoh Soal Hubungan Majemuk

- Hubungan campuran dalam gambar di bawah ini dihubungkan pada sumber tegangan sebesar 108 V. Tentukanlah tahanan pengganti untuk R_1 dan R_2 , tahanan pengganti untuk R_3 , R_4 , dan R_5 , setelah itu hitung jumlah tahanan pengganti dari seluruh rangkaian. Hitunglah tenaga arus jumlah dan kerugian-kerugian tegangan E_1 dan E_2 . Berapa besarnya tenaga arus di dalam masing-masing cabang tahanan.

Jawab: Diketahui : (lihat gambar)!

Ditanyakan : a. $R_{p(1-2)}$

b. $R_{p(3-4-5)}$

c. $I_j = ?$

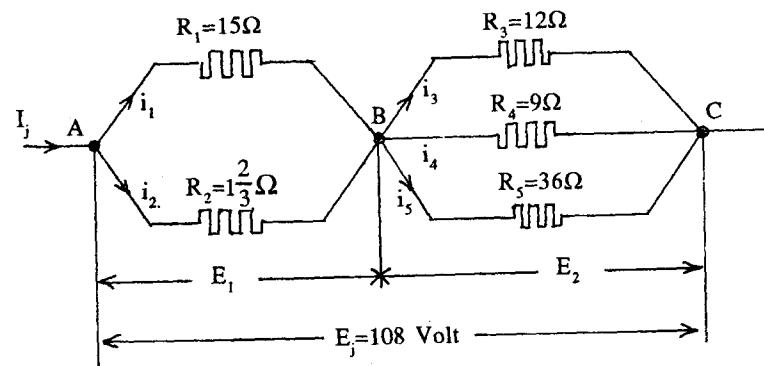
d. $E_1 = ?$

e. $E_2 = ?$

f. $i_1; i_2; i_3; i_4$ dan i_5

g. $R_{p(1-2-3-4-5)}$

Penyelesaian :



$$a. \frac{1}{R_{p(1-2)}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{15} + \frac{1}{\frac{2}{3}} = \frac{1}{15} + \frac{3}{2} = \frac{1}{15} + \frac{9}{15} = \frac{10}{15}$$

$$R_{p(1-2)} = \frac{15}{10} = 1,5 \text{ ohm}$$

$$b. \frac{1}{R_{p(3-4-5)}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{12} + \frac{1}{9} + \frac{1}{36} = \frac{3}{36} + \frac{4}{36} + \frac{1}{36} = \frac{8}{36}$$

$$R_{p(3-4-5)} = \frac{36}{8} = 4,5 \Omega$$

$R_{p(1-2-3-4-5)}$ (Tahanan pengganti seluruh rangkaian)

$$= R_{p(1-2)} + R_{p(3-4-5)} = 1,5 + 4,5 = 6 \text{ ohm}$$

$$c. I_j = \frac{E_j}{R_j} = \frac{108}{6} = 18 \text{ A}$$

$$d. E_1 = I_j \times R_{p(1-2)} = 18 \times 1,5 = 27 \text{ Volt}$$

$$e. E_2 = I_j \times R_{p(3-4-5)} = 18 \times 4,5 = 81 \text{ Volt}$$

$$f. i_1 = \frac{E_1}{R_1} = \frac{27}{15} = 1,8 \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{E_1}{R_2} = \frac{27}{\frac{2}{3}} = \frac{27}{1} \times \frac{5}{3} = 16,2 \text{ A}$$

$$i_3 = \frac{E_2}{R_3} = \frac{81}{12} = 6,75 \text{ A}$$

$$i_4 = \frac{E_2}{R_4} = \frac{81}{9} = 9 \text{ A}$$

$$i_5 = \frac{E_2}{R_5} = \frac{81}{36} = 2,25 \text{ A}$$

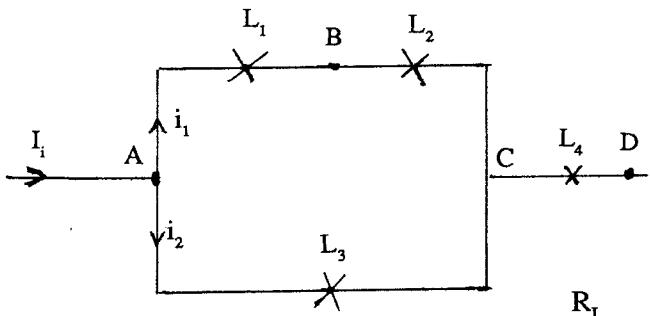
2. Dalam suatu rangkaian listrik terdiri dari 4 buah lampu yang dihubungkan secara campuran dengan nilai tahanan masing-masing

$$R_{L_1} = 20 \Omega; R_{L_2} = 30 \Omega; R_{L_3} = 50 \Omega; R_{L_4} = 75 \Omega$$

(lihat gambar). Pada rangkaian ini dimasukkan tegangan sebesar 100 Volt. Diminta menghitung besarnya tahanan jumlah (pengganti) kuat arus jumlah, kuat arus dan tegangan pada tiap-tiap cabang?

Jawab: Diketahui : $R_{L_1} = 20 \Omega$

$$R_{L_2} = 30 \Omega$$



$$R_{L_3} = 50 \Omega$$

$$R_{L_4} = 75 \Omega$$

$$E_j = 100 \text{ Volt}$$

- Diminta :
- Menghitung besarnya Tahanan jumlah/pengganti
 - Kuat arus jumlah
 - Kuat arus pada tiap-tiap cabang.
 - Rugi tegangan pada tiap-tiap cabang.

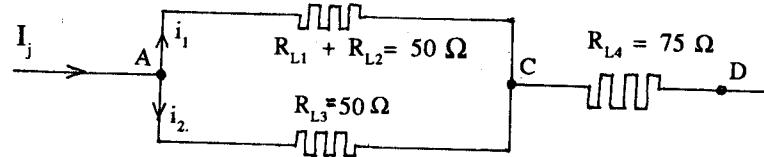
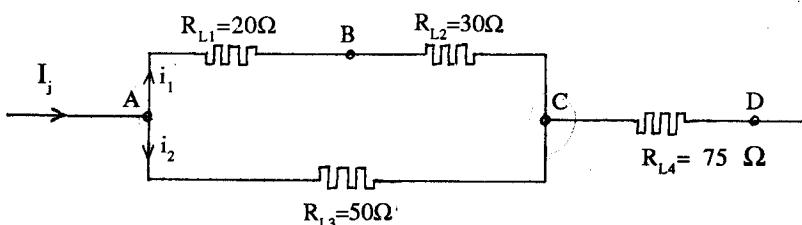
Penyelesaian: Lampu₁ dengan $R_{L_1} = 20 \Omega$

Lampu₂ dengan $R_{L_2} = 30 \Omega$

Lampu₃ dengan $R_{L_3} = 50 \Omega$

Lampu₄ dengan $R_{L_4} = 75 \Omega$

Untuk memudahkan proses penyelesaiannya terlebih dahulu gambar di atas disederhanakan menjadi sebagai berikut:

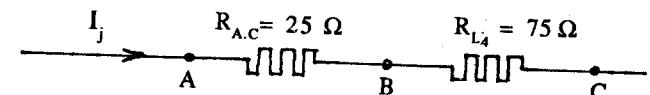


$$\begin{aligned}\frac{1}{R_{A-C}} &= \frac{1}{R_{ABC}} + \frac{1}{R_{L_3}} = \frac{1}{R_{L_1} + R_{L_2}} + \frac{1}{R_{L_3}} \\ &= \frac{1}{50} + \frac{1}{50} = \frac{2}{50}\end{aligned}$$

$$R_{A-C} = \frac{50}{2} = 25 \Omega$$

$$a. R_{A-D} = R_{A-C} + R_{C-D} = 25 + 75 = 100 \Omega$$

$$b. I_j = \frac{E_j}{R_j} = \frac{100}{100} = 1 \text{ A}$$



$$E_{A-C} = I_j R_{A-C} = 1 \times 25 = 25 \text{ Volt}$$

$$c. i_1 = \frac{E_{A-C}}{R_{ABC}} = \frac{25}{50} = \frac{1}{2} \text{ A}$$

$$i_2 = \frac{E_{AC}}{R_{L_3}} = \frac{25}{50} = \frac{1}{2} \text{ A}$$

$$d. E_{C-D} = I_j \times R_{L_4} = 1 \times 75 = 75 \text{ Volt}$$

10. Rugi tegangan dalam Kawat Pengantar

Kerugian tegangan dalam kawat pengantar adalah tegangan yang hilang atau tegangan yang tak dapat dimanfaatkan. Dan kerugian ini disebabkan adanya kuat arus yang mengalir melalui pengantar. Jika tegangan yang terdapat pada transformator diberi simbol E_1 (U_1) dan tegangan pada alat pemakai diberi simbol E_2 (U_2), di mana $U_1 > U_2$ atau $E_1 > E_2$ (baca E_1 lebih besar daripada E_2).

Sehingga rugi tegangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$E_r (U_r) = E_1 - E_2 \quad \text{dalam satuan Volt}$$

$$\text{atau: } = U_1 - U_2$$

Di samping rugi tegangan itu dapat dinyatakan dalam Volt juga dapat dinyatakan dalam persen (%).

$$\epsilon = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \times 100 \%$$

Dalam mana:

$E_1 (U_1)$ = Tegangan transformator dalam satuan Volt.

$E_2 (U_2)$ = Tegangan pada alat pemakai dalam satuan Volt.

= Rugi tegangan dalam %

Untuk menghitung besarnya rugi tegangan dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$U_r = \frac{1 \times 2 \times \rho \times l}{q}$$

Dalam mana:

U_r = Tegangan rugi dalam satuan Volt.

I = Kuat arus dalam satuan Amper.

2 = Konstanta banyaknya kawat.

ρ = Tahanan jenis dalam satuan $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

l = Panjang kawat dalam satuan m.

q = Penampang kawat dalam satuan mm^2 .

$$\text{Karena } \rho = \frac{1}{g}$$

Maka rumus di atas dapat diubah menjadi sebagai berikut:

$$U_r = \frac{2 \times I \times l}{g \times q}$$

Dalam mana:

g = Daya hantar jenis dalam satuan $\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$

Penetapan: Untuk mencegah terjadinya kerusakan/beban lebih pada transformator, maka pihak perusahaan listrik negara telah menetapkan besarnya rugi tegangan dalam %, yaitu:

Rugi tegangan untuk instalasi penerangan 2%. Rugi tegangan untuk instalasi gaya 5%. Selanjutnya agar harga kerugian tegangan dalam kawat saluran yang diperkenankan tidak dilampaui, maka penampang kawat pengantarnya harus diperhitungkan terlebih dahulu. Untuk keperluan ini diturunkan rumus:

$$U_r = \frac{2 \times I \times \rho \times l}{q} \quad \text{bila } U_r \text{ dinyatakan dalam volt.}$$

$$\text{Karena } \rho = \frac{1}{g}$$

$$q = \frac{2 \times I \times l}{g \times U_r} \quad \text{bila } U_r \text{ dinyatakan dalam Volt.}$$

Sebaliknya jika U_r dinyatakan dalam % maka rumus di atas dapat diganti menjadi:

$$U_r = \% \times U$$

$$\text{atau } U_r = \frac{1}{100} \times U$$

$$q = \frac{2 \times I \times \rho \times l}{U_r}$$

$$q = \frac{2 \times I \times \rho \times l}{\frac{\epsilon}{100} \times U}$$

$$\text{atau : } q = \frac{100}{\epsilon} \times \frac{2 \times I \times \rho \times l}{U}$$

$$\text{atau : } q = \frac{200 \times I \times \rho \times l}{\epsilon U}$$

jika ρ diganti dengan $\frac{1}{g}$, maka

$$q = \frac{200 \times I \times l}{g \epsilon U}$$

Dalam mana:

q = Penampang kawat dalam satuan mm^2

200 = Konstanta

I = Kuat arus dalam satuan Amper

l = Panjang kawat dalam satuan meter

g = Daya hantar jenis dalam satuan $\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$

ϵ = Rugi tegangan dalam satuan %

U = Tegangan pada sumber dalam satuan Volt

l = Panjang satu saluran kawat, atau jarak pemakai dari sumber arus.

11. Contoh Soal Rugi Tegangan dalam Kawat Penghantar

- Pada tegangan berapakah segulung kawat tembaga dari 100 meter harus dipasang supaya dilalui kuat arus 10A. Luas penampangnya $2,5 \text{ mm}^2$ dengan tahanan jenis $= 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Jawab: Diketahui : $l = 100 \text{ meter}$

$I = 10 \text{ A}$

$q = 2,5 \text{ mm}^2$

$= 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Ditanyakan : Besarnya kerugian tegangan di dalam kawat.

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian : } U_r &= \frac{2 \times I \times \rho \times l}{q} \\ &= \frac{2 \times 10 \times 0,0175 \times 100}{2,5} \\ &= 14 \text{ Volt} \end{aligned}$$

- Dalam suatu rangkaian ada suatu tahanan dari kawat nikrum. Kuat arusnya sebesar 1,5 A. Panjang kawatnya 30 m dan garis tengahnya 0,75 mm. Berapakah besarnya rugi tegangan dalam kawat, jika tahanan jenisnya $= 0,471 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Jawab: Diketahui : $I = 1,5 \text{ A}$

$l = 30 \text{ m}$

$d = 0,75 \text{ mm}$

$= 0,471 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Ditanyakan : Besarnya rugi tegangan di dalam kawat yang terjadi!

Penyelesaian :

$d = 0,75 \text{ mm}$

$$q = \frac{1}{4} \pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times (0,75)^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,5625$$

$$= 0,44 \text{ mm}^2$$

$$U_r = \frac{2 \times I \times \rho \times l}{q}$$

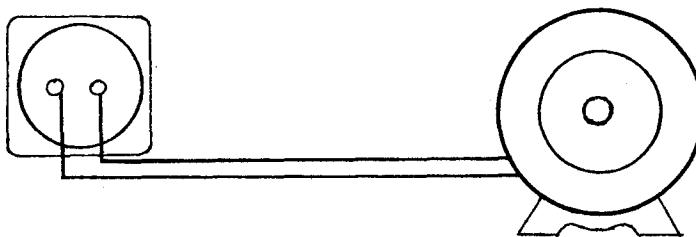
$$= \frac{2 \times 1,5 \times 0,471 \times 30}{0,44} = 42,39$$

Jadi $U_r = 42,39$ Volt

3. Sebuah pompa listrik memakai arus sebesar 5 A pada tegangan 110 Volt. Jarak antara pompa dan sumber listrik sama dengan 100 meter. Penampang kawat penghantarnya adalah $2,5 \text{ mm}^2$. Tahanan jenisnya sebesar $0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Berapa besar tinggi tegangan sumber listriknya?

Jawab: Diketahui : $I = 5\text{A}$
 $E_2 = U_2 = 110 \text{ Volt}$
 $= 100 \text{ meter}$
 $q = 2,5 \text{ mm}^2$
 $= 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Ditanyakan : $E_1 (U_1) = ?$
Penyelesaian : lihat gambar !



$$U_r = \frac{2 \times 1 \times \rho \times l}{q}$$

$$= \frac{2 \times 5 \times 0,0175 \times 100}{2,5}$$

$$= 7 \text{ Volt}$$

Besarnya tegangan pada sumber:

$$U_1 = U_2 + U_r = 110 + 7$$

$$= 117 \text{ Volt}$$

4. Sebuah motor listrik memakai arus sebesar 29,4A .Jarak antara motor dan sakelar 40 m. Tegangan pada sakelar 220 Volt. Kawat penghubung ialah kawat tembaga dengan daya hantar jenis $57 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$. Rugi tegangan yang diizinkan 5%. Berapa penampang kawat minimum yang dapat dipakai?

Jawab: Diketahui : $I = 29,4\text{A}$
 $l = 40 \text{ m}$
 $E_1 (U_1) = 220 \text{ Volt}$
 $\rho = 57 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$
 $U_r = E_r = 5\%$

Ditanyakan : penampang kawat minimum!

Penyelesaian : $q = \frac{200 \times 1 \times l}{\rho \times \epsilon \times U}$

$$= \frac{200 \times 29,4 \times 40}{57 \times 5 \times 220} = \frac{235200}{62700}$$

$$= 3,75 \text{ mm}^2$$

5. Sebuah rumah tinggal memerlukan arus sebesar 5 Amper. Tegangan pada tiang listrik sebesar 110 Volt. Jarak antara rumah dan tiang 75 m. Kawat saluran yang digunakan adalah kawat besi. Kerugian tegangan yang diizinkan 2%. Berapakah garis tengah kawat besi yang digunakan ? Jika $\rho_{\text{besi}} = 0,12 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Jawab: Diketahui : $I = 5 \text{ A}$
 $U_1 = E_1 = 110 \text{ Volt}$
 $l = 75 \text{ m}$
 $\epsilon = 2\%$
 $\rho = \text{besi} = 0,12 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Ditanyakan : besarnya garis tengah ?

$$\text{Penyelesaian : } q = \frac{200 \times 1 \times \rho \times l}{\epsilon \times U_1}$$

$$q = \frac{200 \times 5 \times 0,12 \times 75}{2 \times 110}$$

$$= \frac{9000}{220} = 40,9 \text{ mm}^2$$

$$\text{Karena : } q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$= \frac{1}{4} \pi d^2 = 40,9$$

$$d^2 = \frac{40,9}{\frac{1}{4} \pi} = \frac{40,9}{0,785} = 52,1$$

$$d = \sqrt{52,1} = 7,2$$

$$\text{Jadi } d = 7,2 \text{ mm}$$

6. Tentukanlah kerugian-tegangan di dalam penghantar-pemasukan dari 95 mm^2 dengan panjang $332,5 \text{ m}$, jika ke dalam penghantar mengalir kuat arus sebesar 150 A dan tahanan jenisnya penghantar sama dengan $0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$?

Jawab: Diketahui : $q = 95 \text{ mm}^2$

$$l = 332,5 \text{ m}$$

$$I = 150 \text{ A}$$

$$\rho = 0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : Besarnya kerugian tegangan yang timbul?

$$\text{Penyelesaian : } U_r = \frac{2 \times 1 \times \rho \times l}{q}$$

$$= \frac{2 \times 150 \times 332,5 \times 0,018}{95}$$

$$= \frac{300 \times 332,5 \times 0,018}{95}$$

$$= \frac{1795,5}{95}$$

$$= 18,9$$

$$\text{Jadi } U_r = 18,9 \text{ Volt}$$

7. Di dalam kawat tembaga dari $187,5 \text{ m}$, dilalui arus sebesar 8 A , timbul kerugian tegangan dari $10,8 \text{ Volt}$. Tentukanlah garis tengah kawat ini jika tahanan jenisnya $0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Jawab: Diketahui : $l = 187,5 \text{ m}$

$$I = 8 \text{ A}$$

$$U_r = E_r = 10,8 \text{ Volt}$$

$$\rho = 0,018 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : Besarnya garis tengah?

$$\text{Penyelesaian : } q = \frac{2 \times 1 \times \rho \times l}{U_r}$$

$$q = \frac{2 \times 8 \times 0,018 \times 187,5}{10,8}$$

$$q = 5 \text{ mm}^2$$

$$q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$\frac{1}{4} \pi d^2 = 5$$

$$d^2 = \frac{5}{\frac{1}{4} \pi} = \frac{5}{0,785} = 6,36$$

$$d = \sqrt{6,36} = 2,52 \text{ mm}$$

8. Kumparan magnit dibuat dari kawat tembaga, yang mempunyai garis tengah $0,8 \text{ mm}$. Pada saat mengalirinya kuat arus dari 4 A timbul

kerugian tegangan sebesar 50,4 Volt di dalam kumparan ini. Hitunglah panjang kawat yang digulung?

Jawab: Diketahui : $d = 0,8 \text{ mm}$

$$I = 4 \text{ A}$$

$$U_r = E_r = 50,4 \text{ Volt}$$

$$\rho = 0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

Ditanyakan : Panjang kawat yang digulung?

$$\text{Penyelesaian : } q = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$q = \frac{1}{4} \pi (0,8)^2 = 0,785 \times 0,64$$

$$= 0,5024 \approx 0,5 \text{ mm}^2$$

$$U_r = \frac{2 \times I \times \rho \times l}{q}$$

$$l = \frac{U_r \times q}{2 \times 1 \times \rho}$$

$$= \frac{50,4 \times 0,5}{2 \times 4 \times 0,0175}$$

$$= \frac{25,2}{0,14} = 180$$

Jadi = 180 meter

Contoh-contoh Soal

1. Pada ujung hantaran yang panjangnya 60 m, diberikan daya 10 Kw pada tegangan 200 V. Diminta menghitung berapa besarnya penampang hantaran tersebut, jika kerugian tegangannya tidak boleh melebihi dari 5% ? dengan tahanan jenisnya $(\rho) \frac{1}{60} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

Jawab: Diketahui : $P = 10 \text{ Kw} = 10.000 \text{ watt}$

$$V = 200 \text{ V}$$

$$U_r = 5\%$$

$$\rho = \frac{1}{60} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}; l = 60 \text{ m}$$

Ditanyakan : q (luas Penampang)

Penyelesaian :

$$P = V \times I \rightarrow I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{10.000}{200} = 50 \text{ A}$$

$$U_r = 5\% \rightarrow U_r = \frac{5}{100} \times 200 = 10 \text{ Volt}$$

$$U_r = \frac{2 \times 1 \times \rho \times l}{q}$$

$$q = \frac{2 \times 1 \times \rho \times l}{U_r}$$

$$q = \frac{2 \times 50 \times \frac{1}{60} \times 60}{10} = \frac{100}{10}$$

$$= 10 \text{ mm}^2$$

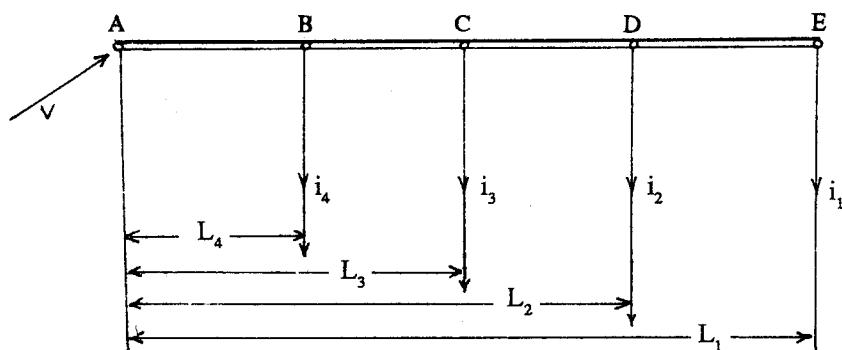
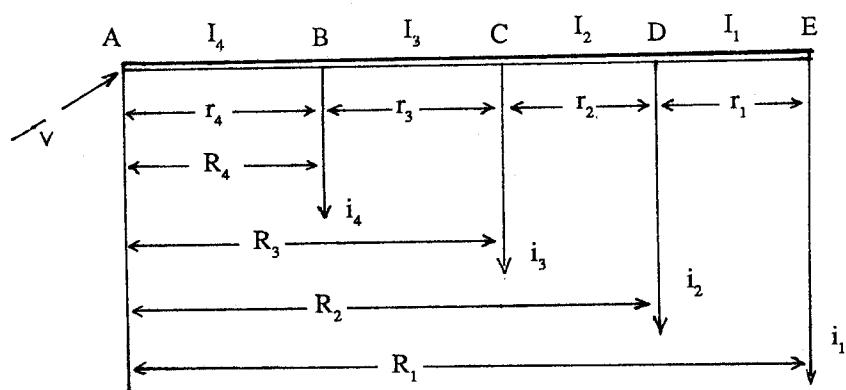
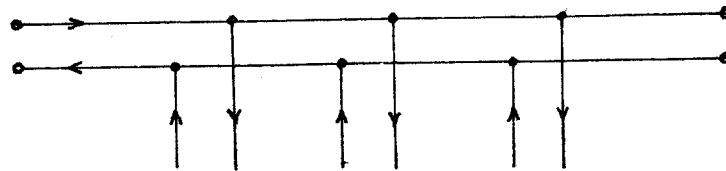
12. Cara Menghitung Penampang Hantaran Listrik

Cara untuk menghitung penampang hantaran yang masing-masing dari sistem hantaran (jala-jala) agar supaya benar, tepat dan sempurna, sebenarnya harus ditinjau dari dua segi yakni secara ekonomi dan secara teknik.

Pada teori yang ringkas ini kita tidak membahas secara ekonomi, tetapi kita bahas yang ditinjau dari segi teknik yang didasarkan atas ditentukannya penampang minimal sebagaimana yang telah dibahas pada bab terdahulu. Sistem pengisian pada kawat penghantar dapat kita bedakan dalam tiga cara yaitu:

1. Diisi pada satu sisi (diisi tunggal).
2. Diisi pada dua sisi (diisi berganda).
3. Hantaran tertutup atau hantaran cincin.

Hantaran yang diisi pada satu sisi :



Keterangan Gambar:

A adalah titik pengisi dengan tegangan V volt. B, C, D dan E adalah titik percabangan dengan tegangan V_B ; V_C ; V_D dan V_E .

V adalah rugi tegangan dalam seluruh hantaran utama.

i_1 ; i_2 ; i_3 ; i_4 adalah arus cabang.

I_1 ; I_2 ; I_3 ; I_4 adalah kuat arus dari bermacam-macam bagian dari hantaran utama.

R_1 ; R_2 ; R_3 dan R_4 adalah tahanan dari bermacam-macam bagian dari hantaran utama.

r_1 ; r_2 ; r_3 ; r_4 adalah tahanan dari bagian hantaran utama yang dihitung dari titik percabangan sampai titik pengisian.

L_1 ; L_2 ; L_3 ; dan L_4 adalah jarak dalam satuan m dari titik percabangan sampai ke titik pengisi.

V_r adalah perbedaan tegangan antara tegangan pada titik pengisian dengan titik penghabisan dari hantaran.

Kerugian tegangan dari titik A sampai E sama dengan :

$$\begin{aligned}
 V_r &= V_A - V_E \\
 &\approx I_1 r_1 = I_2 r_2 + I_3 r_3 + I_4 r_4 \\
 &= i_1 r_1 + (i_1 + i_2) r_2 + (i_1 + i_2 + i_3) r_3 + (i_1 + i_2 + i_3 + i_4) r_4 \\
 &= i_1 r_1 + i_1 r_2 + i_2 r_2 + i_1 r_3 + i_2 r_3 + i_3 r_3 + i_1 r_4 + i_2 r_4 + i_3 r_4 \\
 &\quad + i_4 r_4 \\
 &(i_1 r_1 + i_1 r_2 + i_1 r_3 - i_1 r_4) + (i_2 r_2 + i_2 r_3 + i_2 r_4) + (i_3 r_3 + i_3 r_4) \\
 &\quad + i_4 r_4 \\
 &= i_1 (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) + i_2 (r_2 + r_3 + r_4) + i_3 (r_3 + r_4) + i_4 r_4 \\
 &= i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3 + i_4 R_4
 \end{aligned}$$

Menurut rumus ohm untuk menghitung besarnya tahanan dari suatu kawat, bahwa:

$$R = \frac{\rho \times l}{q}$$

Karena saluran itu terdiri dari 2 buah kawat, maka rumus di atas harus dikalikan dengan konstanta 2. Besarnya tahanan untuk 2 kawat sama dengan:

$$R = \frac{2 \rho x l}{q}$$

Bentuk rumus umum dari V (rugi tegangan) ini dapat ditulis sebagai berikut:

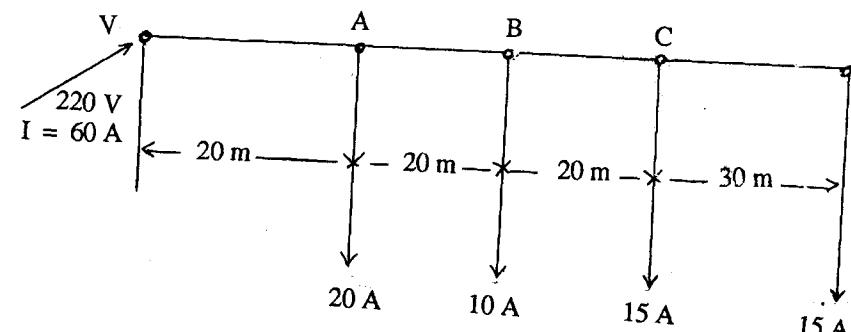
$$V_r = \frac{2\rho}{q} \times \sum iL$$

Jika faktor diganti dengan 0,0175 atau $\frac{1}{60} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$. Maka rumus di atas berubah menjadi :

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{2}{q} \cdot \frac{1}{60} \times \sum iL \\ &= \frac{2 \times 1}{q \times 60} \sum iL \\ &= \frac{1}{30q} \sum iL \end{aligned}$$

$$V_r = \frac{1}{30q} \times \sum iL$$

Contoh Soal : (lihat Gambar) !



Diketahui

: (lihat gambar)! sebuah penghantar dengan sistem pengisian pada satu sisi (titik V) yang bertegangan 220 V, kuat arus 60 A. Penghantar tersebut terbuat dari tembaga dengan rugi tegangan sebesar 2%.

Dengan memperhatikan gambar I dan II di atas dapat ditulis rumus R (tahanan) hantaran utama sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{2 \rho L_1}{q_1} ; \quad R_2 = \frac{2 \rho L_2}{q_2} ; \quad R_3 = \frac{2 \rho L_3}{q_3} \\ \text{dan } R_4 &= \frac{2 \rho L_4}{q_4} \end{aligned}$$

Sehingga rumus V diubah menjadi:

$$\begin{aligned} V_r &= V_A - V_E = i_1 R_1 + i_2 R_2 + i_3 R_3 + i_4 R_4 \\ &= i_1 \frac{2\rho L_1}{q_1} + i_2 \frac{2\rho L_2}{q_2} + i_3 \frac{2\rho L_3}{q_3} + i_4 \frac{2\rho L_4}{q_4} \end{aligned}$$

Penampang pada seluruh hantaran utama adalah sama besar yaitu:

$q_1 = q_2 = q_3 = q_4$ jadi

$$\begin{aligned} V_r &= V_A - V_E = i_1 \frac{2\rho L_1}{q} + \\ &\quad i_2 \frac{2\rho L_2}{q} + i_3 \frac{2\rho L_3}{q} + i_4 \frac{2\rho L_4}{q} \\ &= \frac{2\rho}{q} (i_1 L_1 + i_2 L_2 + i_3 L_3 + i_4 L_4) \end{aligned}$$

Hasil perkalian antara kuat arus dengan jarak atau $i \times L$ dinamakan "Momen arus i ".

Bentuk Momen arus ini ditunjukkan dalam rumus sebagai berikut:

$$i_1 L_1 + i_2 L_2 + i_3 L_3 + i_4 L_4$$

Pada umumnya saluran atau penghantar listrik ini terbuat dari bahan tembaga dengan tahanan jenis $(\rho) = \frac{1}{60} \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ atau $0,0175 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$.

Diminta : Menghitung besarnya penampang penghantar itu?

$$\text{Pernyataan} : V_r = \frac{1}{30q} \times \sum iL$$

$$V_r = 2\% \rightarrow V_r = \frac{2}{100} \times 220 = 4,4 \text{ Volt}$$

$$V_r = \frac{1}{30q} \times \sum iL$$

$$4,4 = \frac{1}{30q} \times \sum iL$$

$$q = \frac{1}{30.4,4} \times \sum (15 \times 90 + 15 \times 60 +$$

$$10 \times 40 + 20 \times 20)$$

$$= \frac{1}{132} \times (1350 + 900 + 400 + 400)$$

$$= \frac{1}{132} \times 3050 = 23,1 \text{ mm}^2$$

Dalam perdagangan $q = 23,1$ dibulatkan menjadi 25 mm^2 .

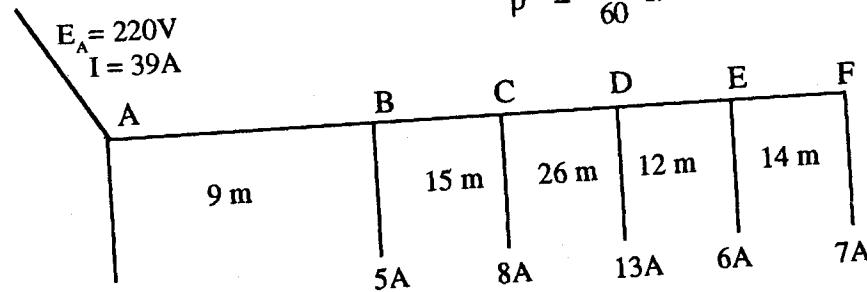
Contoh Soal 2 :

Diketahui : lihat Gambar!

$$E_A = 220 \text{ Volt}$$

$$V_r = 1\frac{1}{2}\%$$

$$\rho = \frac{1}{60} \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$



Ditanyakan : $q_{AF} = ?$

Penyelesaian :

$$V_r = 1\frac{1}{2}\% \quad V_r = \frac{1,5}{100} \times 220 = 3,3 \text{ volt}$$

$$V_r = \frac{1}{30q} (7 \times 76 + 6 \times 62 + 13 \times 50 + 8 \times 24 + 5 \times 9)$$

$$= \frac{1}{30q} (532 + 372 + 650 + 192 + 45)$$

$$V_r = \frac{1}{30q} \times 1791$$

$$3,3 = \frac{1}{30q} \times 1791$$

$$q = \frac{1}{30,3} \times 1791$$

$$q = \frac{1}{99} \times 1791$$

$$= 18,01 \text{ mm}^2$$

Dalam daftar perdagangan untuk besar penampang $18,01 \text{ mm}^2$ dibulatkan menjadi 25 mm^2 .

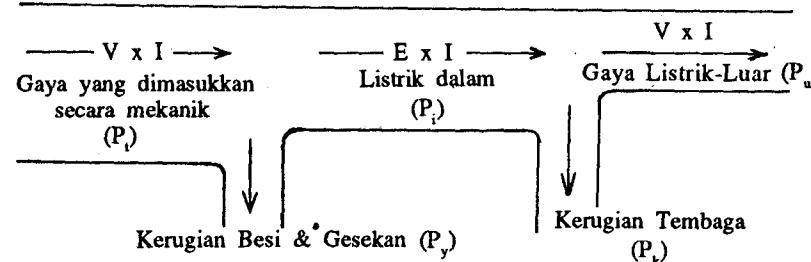
Bab 4

Daya Guna atau Efisiensi (Rendemen)

Setiap kali kita mengubah suatu bentuk usaha menjadi yang lain, maka akan timbul adanya kerugian. Jenis perubahan bentuk usaha dapat diuraikan sebagai berikut:

Mengubah tenaga kinetik yang diberikan oleh mesin diesel, mesin uap, turbin air dan sebagainya, diubah dalam generator (dinamo) kemudian menjadi energi listrik. (Periksa gambar diagram kerugian untuk dinamo (generator)).

Generator adalah suatu mesin listrik yang sanggup mengubah energi kinetik/mekanik menjadi energi listrik.



$$\text{Daya listrik dalam } (P_i) = P_k + P_u$$

$$\text{sedangkan } P_i = P_t - P_y$$

Bentuk P_i di atas dapat diubah menjadi:

$$P_i = P_k + P_u$$

$$P_t - P_y = P_k + P_u$$

$$P_t = P_k + P_u + P_y$$

$$P_u = P_t - P_y - P_k$$

Besarnya rendemen listrik :

$$\eta_e = \frac{P_u}{P_i} \times 100\%$$

Besarnya rendemen Kotor (bruto)

$$\eta_b = \frac{P_i}{P_t} \times 100\%$$

Besarnya rendemen jumlah (η)

$$\eta_t = \frac{P_u}{P_t} \times 100\%$$

1. Perhitungan Rendemen untuk Motor Listrik

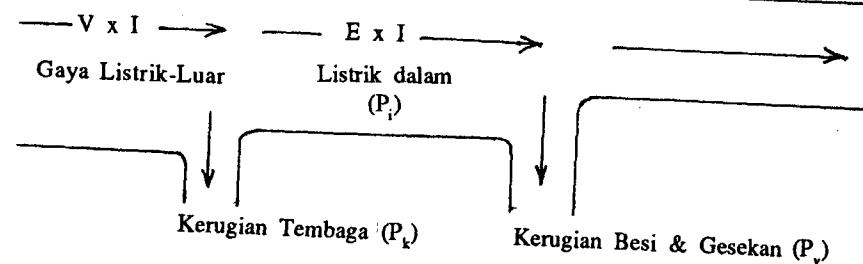
Motor listrik adalah suatu mesin listrik yang sanggup mengubah tenaga listrik menjadi tenaga kinetik. Jika pada motor itu dimasukkan daya listrik sebesar :

$$P_u = VI \text{ watt}$$

Sebagian dari daya ini berubah menjadi bentuk panas. Selebihnya berubah menjadi daya mekanik.

$$P_i = E_t \times I \text{ watt}$$

(Untuk jelasnya lihat gambar diagram daya untuk motor di bawah ini).



Daya guna atau daya mekanik luar diberi simbol dengan "P_n".

$$P_n = P_i - P_y$$

sedang $P_i = P_u - P_k$

$$P_n = P_i - P_y$$

$$P_n = P_u - P_k - P_y$$

Sehingga besarnya daya guna (rendemen) yang terdapat di dalam motor adalah sebagai berikut:

Besarnya rendemen listrik:

$$\eta_e = \frac{P_i}{P_u} \times 100\%$$

Besaranya rendemen kotor (bruto)

$$\eta_e = \frac{P_n}{P_i} \times 100\%$$

Besarnya rendemen jumlah (η_t)

$$\eta_t = \frac{P_n}{P_u} \times 100\%$$

2. Kerugian dan Rendemen

Kerugian yang terjadi di dalam dinamo/generator ada 3 macam kerugian yaitu:

1. Kerugian gesekan.
2. Kerugian besi .
3. Kerugian tembaga.

Kerugian gesekan pada umumnya terjadi sebagai akibat dari gesekan antara poros dengan bantalan peluru. Selain dari itu kerugian yang berbentuk panas disebabkan oleh gesekan rotor/angker/jangkar dengan udara dan gesekan sikat pada kolektor.

Kerugian besi terjadi karena adanya:

- a. Arus pusaran dalam rotor/angker/jangkar dan dalam sepatu kutub. Untuk mengatasinya agar kerugian besi tidak berlebihan maka angker/

jangkar/rotor dan sering kali juga sepatu kutub itu pakai lapisan yang tipis.

- b. Daya usaha yang dibutuhkan untuk membalikkan magnet elemen ter jangkar itu secara periodik.

Kerugian tembaga terjadi:

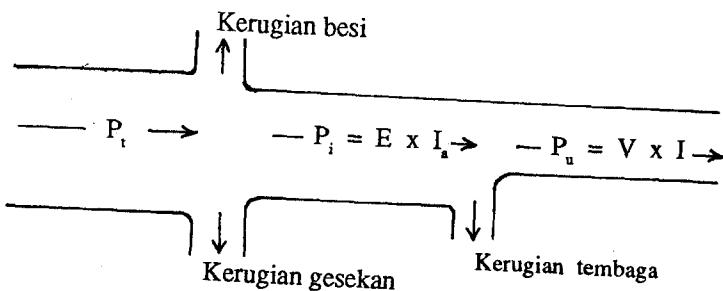
- a. Panas dalam lilitan jangkar/angker/rotor.
- b. Panas dalam lilitan Shunt, deret dan dalam pengatur.

"Daya listrik dalam" (P_i) sama dengan daya mekanik yang dimasukkan (P_u) dikurangi dengan kerugian gesekan (P_y) dan kerugian besi tiap detik atau

$$P_i = P_t - (P_y + P_b)$$

Perbandingan antara $\frac{P_i}{P_t}$ disebut :

rendemen bruto/kotor. (Untuk jelasnya perhatikan diagram di bawah ini!)



Rendemen listrik adalah perbandingan dari :

$$\frac{\text{Daya listrik luar}}{\text{Daya listrik dalam}}$$

"Rendemen jumlah" adalah perbandingan dari:

$$\frac{\text{Daya listrik luar}}{\text{Daya tambahan}}$$

Sehingga ketiga rumus Rendemen dapat kita tuliskan:

$$\eta_{\text{jumlah}} = \eta_t = \frac{V \times I}{P_t}$$

$$\eta_e = \frac{V \times I}{E \times I_a}$$

$$\eta_b = \frac{E \times I_a}{P_t}$$

3. Contoh Soal

1. Melalui poros sebuah motor diesel dapat memberikan daya sebesar 2 dk, sedangkan daya yang dihasilkan oleh dinamo sebesar 1 Kw. Diminta menghitung besarnya Rendemen dari dinamo!

Jawab: Diketahui : $P_{\text{output}} = 1 \text{ Kw}$
 $P_{\text{input}} = 2 \text{ dk}$

Ditanyakan : $\eta = ?$

Penyelesaian :

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% = \frac{1 \text{ Kw}}{2 \text{ dk}} \times 100\%$$

$$1 \text{ dk} = 736 \text{ watt}$$

$$1 \text{ Kw} = 1000 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} \times 100\% = \frac{1000}{2 \times 736} \times 1000\%$$

$$= \frac{1000}{1472} \times 100\%$$

$$= 68\%$$

2. Sebuah tungku listrik memakai usaha listrik sebesar 1 Kwh, sedangkan panas yang dihasilkan hanya 500 Kkal. Hitung besarnya rendemen dari tungku tersebut!

Jawab: Diketahui : $P_{\text{input}} = 1 \text{ Kwh}$

$$P_{\text{output}} = 500 \text{ Kkal}$$

Ditanyakan : η dari tungku = ?

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

$$P_{\text{in,put}} = 1 \text{ Kwh} = 864 \text{ Kkal}$$

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

$$= \frac{500}{864} \times 100\%$$

$$= 59\%$$

3. Sebuah akkumulator diisi dengan arus pengisian sebesar 5A selama waktu 12 jam, sedangkan akkumulator tersebut hanya dapat memberi tenaga kepada TV dengan kuat arus yang tetap sebesar 3A selama 13 jam. Hitunglah besarnya daya guna dari akku tersebut!

Jawab: Diketahui : $P_{\text{input}} : 5 \text{ A/t} = 12 \text{ jam}$

$$P_{\text{output}} : 3 \text{ A/t} = 13 \text{ jam}$$

Ditanyakan : η dari akku

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

$$= \frac{3 \times 13}{5 \times 12} \times 100\%$$

$$= \frac{39}{60} \times 100\%$$

$$= 65\%$$

4. Pada papan nama sebuah motor listrik tertulis:

$$H_p = 1$$

$$V = 120$$

$$A = 8$$

Apa arti tulisan tersebut? Berapakah rendemen motor itu?

Jawab:

$H_p = 1$ artinya motor mampu memberikan daya 1 dk (daya kuda)

$V = 120$ artinya motor memerlukan tegangan 120 Volt

$A = 8$ artinya untuk memberikan daya 1 dk diperlukan arus sebesar 8 Amper.

$$1 \text{ dk} = 736 \text{ watt}$$

$$\text{Daya yang diperlukan: } 120 \times 8 = 960 \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_0}{P_i} \times 100\% = \frac{736}{960} \times 100\% = 77\%$$

5. Sebuah motor diesel 5 dk, digunakan untuk menggerakkan dinamo. Dinamo dapat memberikan arus sebesar 25 A pada tegangan 120 V.

Tentukanlah:
 a. Berapa kerugian dalam dinamo?
 b. Rendemen dinamo?

Jawab: Diketahui : $P_i = 5 \text{ dk}$
 $I = 25 \text{ A}$
 $E = 120 \text{ V}$

Ditanyakan : a. Kerugian dalam dinamo?
 b. Rendemen dinamo?

Penyelesaian : $1 \text{ dk} = 736 \text{ watt}$

$$P_i = 5 \text{ dk} = 5 \times 736 = 3680 \text{ watt}$$

Daya yang dihasilkan dinamo (P_o)

$$25 \times 120 = 3000 \text{ watt}$$

$$\begin{aligned} \text{a. Jadi kerugian dalam dinamo} &= P_i - P_o \\ &= 3680 \text{ w} - 3000 \text{ w} \\ &= 680 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Rendemen dinamo} &= \frac{3000}{3680} \times 100\% \\ &= 81\% \end{aligned}$$

2. Sebuah dinamo memberikan daya sebesar 20 Kw dengan rendemen jumlah 80 %. Tegangan jepitnya sebesar 200 Volt dan tahanan dalam 0,2. Diminta menghitung besarnya:

- Besarnya daya dalam tk yang mampu untuk menggerakkan dinamo tersebut!
- Besarnya rendemen listrik.
- Besarnya daya dalam.

Penyelesaian:

- Besarnya daya yang dimasukkan adalah:

$$1 \text{ Kw} = 1,36 \text{ tk}$$

$$\frac{100}{80} \times 20 \times 1,36 = 34 \text{ tk}$$

- Untuk menghitung rendemen listrik, terlebih dahulu kita harus menentukan kerugian tegangan:

$$P_u = V \times L \rightarrow I = \frac{P_u}{V} = \frac{20.000}{200} = 100 \text{ A}$$

$$E = V + I.r$$

$$E = 200 + 100 \times 0,2$$

$$= 200 + 20 = 220 \text{ Volt}$$

$$e = \frac{V}{E} = \frac{200}{220} \times 100\% = 91$$

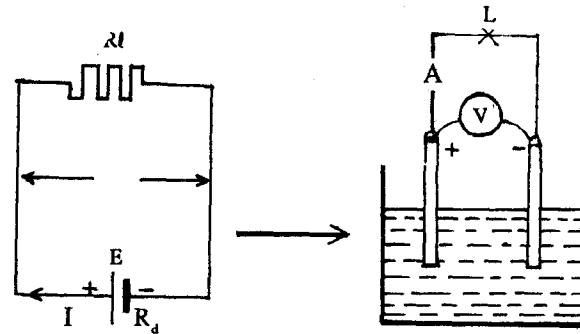
- Besarnya daya dalam adalah:

$$P_i = E \times I$$

$$P_i = 220 \times 100 = 22.000 = 22 \text{ Kw}$$

4. Rugi Tegangan di dalam Sumber Listrik

Yang dimaksud dengan rugi tegangan adalah turunnya tegangan di dalam sumber arus yang disebabkan adanya kuat arus yang mengalir. Gambar di bawah ini menunjukkan bahwa arus mengalir dari kutub positif sumber arus - ke lampu (alat pemakai) kemudian ke kutub negatif (arus berjalan dari kutub negatif ke kutub positif).



Daya gerak listrik yang terdapat di dalam sumber arus adalah suatu tegangan yang mendorong arus mengalir ke dalam rangkaian tertutup. GGL ini diberi simbol "E" dengan satuan Volt. Sedangkan tegangan yang terdapat antara kedua jepit sumber disebut *Tegangan jepit* diberi simbol "U" dengan satuan Volt.

Jika beban (load) itu berbentuk lampu sebagai misal, maka lampu tersebut mempunyai tahanan (R), yang diberi simbol dengan huruf R_L , dengan demikian besarnya tegangan jepit ini sama dengan:

$$U = I \times R_L$$

Ketika arus itu mengalir di dalam sumber arus melalui cairan elektrolit yang merupakan penghantar, dimana kuat arus tadi akan mendapat rintangan dari dalam sumber yang biasa disebut Tahanan dalam dan diberi simbol R_d , sehingga rugi tegangan yang terdapat di dalam sumber tadi dapat dihitung dan dirumuskan dengan rumus sebagai berikut:

$$U_r = I \times R_d$$

Besarnya gaya gerak listrik (GGL) dapat ditentukan dengan rumus:

$$E = I \times R_L + I \times R_d \quad \text{atau}$$

$$E = I(R_L + R_d)$$

atau dapat dituliskan dalam bentuk lain:

$$E = I \times R_L + I \times R_d$$

karena $U = I \times R_L$

$$U_r = I \times R_d$$

Jadi: $E = I \times R_L + I \times R_d$

$$E = U + U_r$$

Dari persamaan di atas, besarnya kuat arus dapat dihitung dengan rumus:

$$E = I(R_L + R_d)$$

$$I = \frac{E}{R_L + R_d}$$

Dalam mana:

E = Tegangan sumber (GGL) dalam satuan Volt

U = Tegangan jepit dari sumber dalam satuan Volt

U_r = Rugi tegangan sumber dalam satuan Volt

R_L = Tahanan beban (load) dalam satuan Ohm (Ω)

R_d = Tahanan dalam dari sumber dengan satuan ohm (Ω)

I = Kuat arus listrik dengan satuan Amper

Catatan: Jika sumber arus tidak diberi beban, artinya tidak ada alat pemakai yang dihubungkan, maka tidak mengeluarkan kuat arus listrik (lihat contoh).

5. Contoh Soal Rugi Tegangan

1. Sebuah sumber arus yang tidak berbeban, diukur tegangannya sebesar 2 Volt. Berapakah ggl sumber arus itu?

$$\text{Jawab: } E = U + I \times R_d$$

Karena sumber arus tidak berbeban, maka tidak ada kuat arus yang mengalir atau $I = 0$

$$\text{Jadi: } E = U + I \times R_d$$

$$E = U + 0 \times R_d$$

$$\text{maka } E = U = 2 \text{ Volt}$$

2. Sebuah sumber arus dihubungkan dengan lampu pijar yang tahanannya 5 ohm. Pada alat pemakai ini terukur tegangan besarnya 1,5 Volt. Jika alat pemakainya (lampunya) dilepas, pada klem sumber arusnya terdapat tegangan sebesar 2 Volt.

Tentukan:

- Besarnya rugi tegangan dalam sumber arus !
- Besarnya tahanan dalam

$$\text{Jawab: Diketahui : } R_L = 5 \Omega$$

$$U \text{ (Tegangan jepit)} = 1,5 \text{ Volt}$$

$$E = 2 \text{ Volt}$$

$$\text{Ditanyakan : a. } I \text{ (kuat arus)}$$

$$\text{b. } R_d$$

$$\text{Penyelesaian : } E = U + U_r \text{ (Rumus dalam teori !)}$$

$$U_r = E - U$$

$$= 2 - 1,5 = 0,5 \text{ Volt}$$

Karena tegangan jepit pada beban (U) = 1,5 Volt

$$U = I \times R_L \text{ (Rumus dalam teori)}$$

$$1,5 = I \times 5$$

$$I = \frac{1,5}{5} = \frac{15}{50} = 0,3 \text{ A}$$

$$U_r = I \times R_{dl} \text{ (Rumus dalam teori !)}$$

$$0,5 = 0,3 \times R_{dl}$$

$$R_{dl} = \frac{U_r}{I}$$

$$= \frac{0,5}{0,3} = \frac{5}{3}$$

$$= 1,66 \quad 1,7 \text{ ohm}$$

Jadi a. Kuat arus yang mengalir (I) = 0,3 A

b. Tahanan dalamnya (R_{dl}) = 1,7 ohm

3. Sebuah rangkaian tertutup yang terdiri dari tiga buah tahanan dihubungkan paralel yang masing-masing mempunyai harga sebesar $R_1 = 6 \Omega$; $R_2 = 12 \Omega$; $R_3 = 4 \Omega$ dan ketiga tahanan ini dihubungkan pada sumber tegangan 12 Volt. Tentukanlah besarnya kuat arus yang mengalir keseluruhan rangkaian!

$$\text{Jawab: Diketahui : } E = 12 \text{ Volt}$$

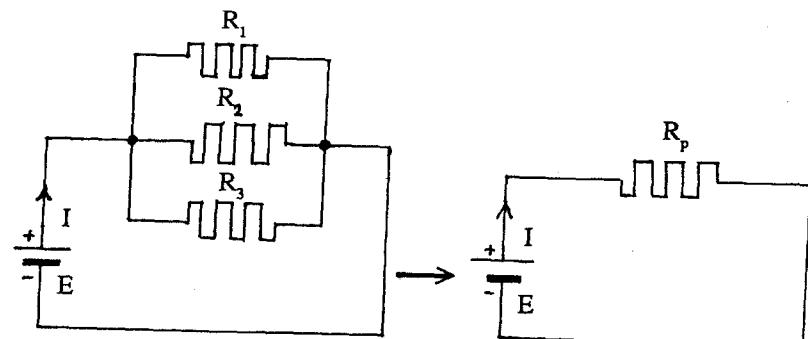
$$R_1 = 6 \Omega$$

$$R_2 = 12 \Omega$$

$$R_3 = 4 \Omega$$

Ditanyakan : Besarnya Kuat arus ?

Penyelesaian : (lihat Gambar) !



$$\begin{aligned}\frac{1}{R_p} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ \frac{1}{R_p} &= \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} \\ &= \frac{2}{12} + \frac{1}{12} + \frac{3}{12} = \frac{6}{12}\end{aligned}$$

$$R_p = \frac{12}{6} = 2 \text{ ohm}$$

$$I = \frac{E}{R_d + R_L} = \frac{12}{0 + 2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ Amper}$$

4. Sebuah sumber arus dihubungkan dengan sebuah alat pemakai yang mempunyai tahanan 9 ohm. Gaya gerak listrik dari sumber arus itu sebesar 2 Volt. Tahanan dalamnya 1 ohm. Hitung besarnya kuat arus yang dikeluarkan oleh sumber arus itu!

Jawab: Diketahui : $R_L = 9 \text{ ohm}$
 $E = \text{ggl} = 2 \text{ Volt}$
 $R_d = 1 \text{ ohm}$

Ditanyakan : Besarnya kuat arus!
Penyelesaian : $E = I(R_d + R_L)$

$$\begin{aligned}I &= \frac{E}{R_d + R_L} \\ &= \frac{2}{1 + 9} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ A}\end{aligned}$$

Jadi I (Kuat arus) = 0,2 Amper

5. Baterai terdiri dari seri 2 sel kering, digunakan untuk menyalaikan lampu di mana tahanannya sebesar 25 ohm. Berapa besarnya kuat arus jika lampu itu dinyalakan kalau tiap baterai yang dipakai masing-masing sebesar 6 Volt?

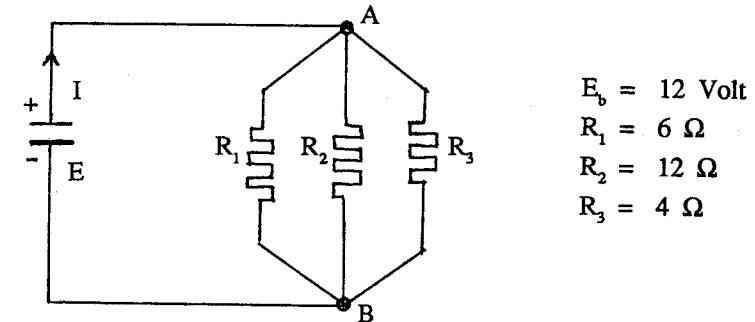
Jawab: Diketahui : $n = 2 \text{ sel}$
 $R_L = 25 \text{ ohm}$
 $e = 6 \text{ Volt}$

Ditanyakan : I (kuat arus) = ?
Penyelesaian : E_b dalam keadaan seri = $2 \times 6 = 12 \text{ V}$
atau $n \times e = 12 \text{ Volt}$

Menurut rumus :

$$\begin{aligned}I &= \frac{E_b}{R_d + R_L} = \frac{12}{0 + 25} = \frac{12}{25} \\ &= 0,48 \text{ Amper}\end{aligned}$$

5. Diketahui: Lihat gambar dan harga besarnya seperti di bawah ini:



$$\begin{aligned}E_b &= 12 \text{ Volt} \\ R_1 &= 6 \Omega \\ R_2 &= 12 \Omega \\ R_3 &= 4 \Omega\end{aligned}$$

Ditanyakan : I (kuat arus) yang mengalir ke dalam rangkaian!
Penyelesaian :

$$I = \frac{E_b}{R_d + R_L}$$

Tiga buah tahanan R_1 , R_2 dan R_3 dalam rangkaian ini masing-masing dihubungkan paralel.

$$\begin{aligned}\text{Jadi : } \frac{1}{R_L} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ \frac{1}{R_L} &= \frac{1}{6} + \frac{1}{12} + \frac{1}{4} \\ &= \frac{2}{12} + \frac{1}{12} + \frac{3}{12}\end{aligned}$$

$$= \frac{6}{12}$$

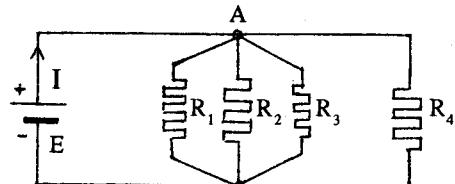
$$\frac{1}{R_L} = \frac{6}{12} \rightarrow R_L = \frac{12}{6} = 2$$

Gambar rangkaian di atas berubah menjadi:



$$\text{Maka : } I = \frac{E_b}{R_d + R_L} = \frac{12}{0 + 2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ A}$$

6. Diketahui : lihat gambar !



Harga $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$ adalah sama besarnya yaitu R sedangkan E_b besarnya E Volt.

Ditanyakan : I (Kuat arus) !

$$\text{Penyelesaian : } I = \frac{E_b}{R_d + R_L}$$

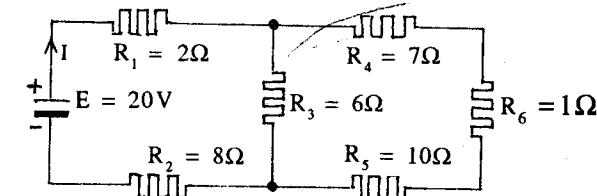
Karena R_1 sampai dengan R_4 dihubungkan paralel, maka

$$\frac{1}{R_L} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

$$\frac{1}{R_L} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_L} &= \frac{1}{R} \rightarrow R_L = \frac{1}{\frac{1}{4}} = \frac{R}{4} = \frac{1}{4} R \\ \text{Jadi : } I &= \frac{E_b}{R_d + R_L} \\ &= \frac{E}{\frac{1}{4} R} \\ &= \frac{4E}{R} \\ I &= \frac{4E}{R} \text{ amper} \end{aligned}$$

7. Diketahui : lihat gambar di bawah ini!

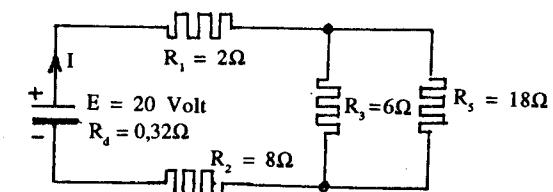


Ditanyakan : Besarnya kuat arus (I) yang mengalir ke dalam rangkaian !

Penyelesaian: Terlebih dahulu kita hitung besarnya tahanan jumlah antara R_4 s/d R_6 (karena ketiga tahanan ini dihubungkan deret/seri)

$$R_s = R_4 + R_5 + R_6 = 7 + 10 + 1 = 18 \text{ ohm}$$

Maka gambar di atas berubah menjadi:



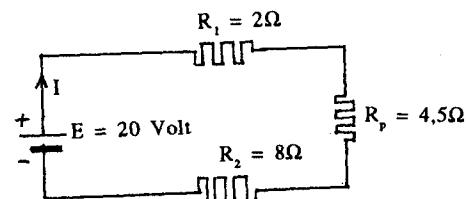
Hubungan antara R_3 dan R_5 ini disambung dalam keadaan paralel, sehingga:

$$\frac{1}{R_3 + R_5} = \frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5}$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{3}{18} + \frac{1}{18} = \frac{4}{18}$$

$$R_p = \frac{18}{4} = 4.5 \text{ ohm}$$

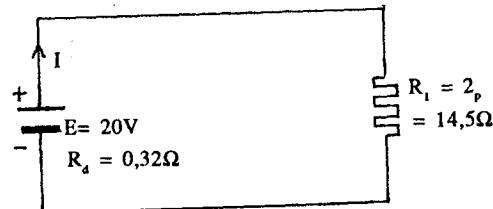
Dengan dihitungnya tahanan pengganti $R_3 + R_5$, maka gambar di atas berubah menjadi:



Sekarang hubungan antara R_1 , R_2 dan R_p adalah sambungan seri, maka:

$$R_{1,2,p} = R_1 + R_2 + R_p = 2 + 4.5 + 8$$

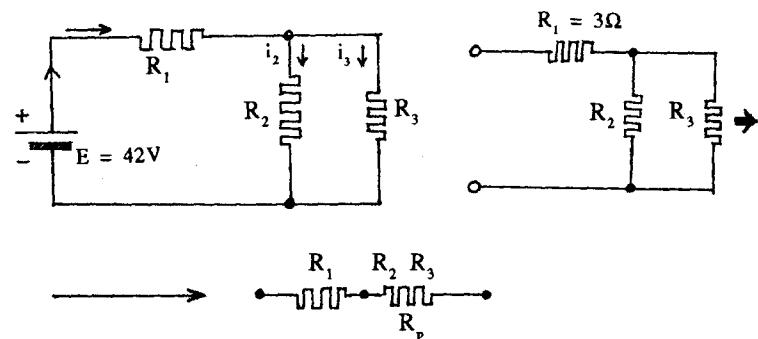
$$= 14.5 \text{ ohm}$$



Jadi: $I = \frac{E \cdot R_d}{R_d + R_L}$ atau $I = \frac{E}{R_d + R_{1,2,p}}$

$$I = \frac{20}{0.32 + 14.5} = \frac{20}{14.82} = 1.35 \text{ Amper}$$

Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari sebuah baterai sebagai sumber dengan tegangan dengan tiga buah tahanan yang masing-masing $R_1 = 3 \text{ ohm}$; $R_2 = 6 \text{ ohm}$ dan $R_3 = 12 \text{ ohm}$. Diminta menghitung besarnya kuat arus yang mengalir pada tahanan R_3 ! (Lihat gambar) !



Diketahui : lihat gambar !

Ditanyakan : Kuat arus yang melalui tahanan R_3

- Jawab:
- Tahanan R_2 dengan R_3 dihubungkan dalam keadaan paralel
 - Tahanan R_1 terhadap hasil jumlah dari R_2 dan R_3 dihubungkan dalam keadaan deret (seri)

Sehingga:

$$R_{\text{parallel}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = \frac{72}{18} = 4 \text{ ohm}$$

$$R_{\text{Seri}} = R_1 + R_{\text{par}} = 3 + \frac{6 \times 12}{6 + 12}$$

$$= 3 + \frac{72}{18} = 3 + 4 = 7 \text{ ohm}$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot I = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \cdot \frac{E}{R_{\text{Seri}}}$$

$$= \frac{6}{(6 + 12)} \cdot \frac{42}{(3 + \frac{6 \times 12}{6 + 12})}$$

$$I_3 = \frac{6}{18} \cdot \frac{42}{(3 + \frac{72}{18})} = \frac{6}{18} \cdot \frac{42}{3 + 4} = \frac{1}{3} \cdot \frac{42}{7}$$

$$= \frac{1}{3} \cdot 6 = 2 \text{ A}$$

Jadi kuat arus yang mengalir ke dalam tahanan $R_3 = 2 \text{ A}$

6. Kapasitet

Jika sebuah bola logam diberi muatan listrik, bola tersebut akan mendapat tekanan atau dengan kata lain bahwa pada permukaan bola tersebut akan mendapat tegangan sebesar "E". Hal ini dapat dimisalkan dengan sebuah bola karet (bal) yang diisi dengan hawa/udara.

Udara yang dimasukkan ke dalam bola itu, makin lama makin besar tekanannya. Besarnya tekanan yang terdapat dengan sejumlah udara yang tertentu banyaknya, dengan banyaknya udara ini akan menyebabkan tekanan yang tertentu besarnya, tergantung dari ukuran bola tersebut. Dimisalkan kita ambil sebuah bola dengan ukuran kecil dan dipompakan udara sebanyak 5 liter ke dalam bola, ini berarti sudah menyebabkan tekanan sebesar 5 atmosfir. Jika sekarang kita ambil sebuah bola lain dengan ukuran yang lebih besar, ternyata bahwa tekanan 5 atmosfir baru akan tercapai jika udara yang dipompakan itu sebanyak 50 liter, sehingga akan terjadi perbandingan antara jumlah udara dan tekanan pada bola pertama yaitu:

$\frac{5 \text{ liter}}{5 \text{ atm}} = 1$ sedangkan pada bola kedua akan terjadi nilai perbandingan sebagai berikut:

$$\frac{50}{5} = 10$$

Perbandingan antara banyaknya udara dan tekanan dari bola ini disebut *Kapasitet* dari bola tersebut.

Demikian juga halnya dengan bola logam yang diisi dengan elektron-elektron, bola tersebut akan mendapat potensial/tegangan sebesar E pada permukaannya.

Maka perbandingan antara banyaknya elektron (muatan listrik) dan tegangan ini dinamakan *Kapasitet "C"* dari bola, jadi:

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

Dalam mana:

C = Kapasitet bola diukur dengan S.e.S Kapasitet

Q = Muatan listrik diukur dengan S.e.S muatan Coulomb

E = Tegangan listrik diukur dengan S.e.S tegangan

Sekarang kita hitung besarnya kapasitet dari bola logam dengan jari-jari 1 cm, yang diisi dengan muatan listrik 1 S.e.S muatan. Terlebih dahulu harus dihitung besarnya tegangan E pada permukaan bola tersebut.

Jika muatan listrik sebesar 1 s.e.s muatan itu terkumpul di dalam pusat bola, di mana pusat tadi mempunyai jarak terhadap permukaan sebesar 1 cm. Oleh karena itu pada permukaan bola tadi akan terdapat tegangan yang sama besarnya di seluruh tempat (ingat Hukum Pascal dalam ilmu fisika)! dengan demikian diturunkanlah rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{Q}{\epsilon r} = \frac{1 \text{ ses muatan}}{1 \text{ centimeter} \cdot \epsilon}$$

$$\text{atau : } C = \frac{Q}{E} = \frac{1 \text{ ses muatan}}{\frac{1 \text{ ses muatan}}{1 \text{ centimeter} \cdot \epsilon}}$$

$$\text{atau ; } C = 1 \text{ ses muatan} \times \frac{1 \text{ centimeter}}{1 \text{ ses muatan}}$$

$$C = 1 \text{ centimeter.}$$

$$\text{atau : } C = \epsilon \cdot r$$

$$\text{Penjelasan : } C = \frac{Q}{E} \text{ karena } E = \frac{Q}{\epsilon r}$$

$$\text{Nilai } E \text{ dimasukkan ke dalam rumus } E = \frac{Q}{E}$$

$$C = \frac{Q}{E} \quad C = \frac{Q}{\frac{Q}{\epsilon r}} = \frac{Q}{1} \times \frac{\epsilon r}{Q} = \epsilon r$$

$$C = \epsilon \cdot r$$

Jika bola itu dikelilingi oleh udara: ($\epsilon = 1$), maka kapasitet "C"

menjadi:

$$C = 1 \cdot r$$

$$C = r$$

Karena r ini adalah jarak dalam cm, maka bentuk persamaan $C = 1 \cdot r$ dapat diubah menjadi:

$$C = 1 \times r$$

$$C = r$$

Oleh karena itu, satuan *elektrostatik* untuk *Kapasitet* dinamakan juga centi-meter. Jika di dalam rumus Q dan E diganti dengan satuan-satuan praktis Coulomb dan Volt, maka satuan praktis untuk kapasitet dalam satuan Farad. Karena $1 \text{ Coulomb} = 3 \cdot 10^9 \text{ s.e.s muatan}$, $1 \text{ Volt} = 3^1 \cdot 10^{-2} \text{ s.e.s tegangan}$ maka:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Farad} &= \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}} = \frac{3 \cdot 10^9 \text{ s.e.s muatan}}{3^1 \cdot 10^{-2} \text{ s.e.s tegangan}} \\ &= 3 \cdot 10^9 \cdot 3^1 \cdot 10^2 \text{ s.e.s Kapasitet} \\ &= 9 \cdot 10^{11} \text{ s.e.s Kapasitet} \end{aligned}$$

Dalam pemakaian sehari-hari ukuran Farad ini ternyata sangat besar. Berhubungan dengan itu, dipakailah ukuran-ukuran μF ; $\mu\mu F$ atau PF dan nF (baca nano Farad).

Hubungan antara ukuran satuan praktis dengan ukuran satuan elektrostatistik adalah sebagai berikut:

$$1 \mu F = 9 \cdot 10^5 \text{ cm}$$

$$1 nF = 9 \cdot 10^2 \text{ cm}$$

$$1 \mu\mu F \text{ atau } 1 PF = 9 \cdot 10^{-1} \text{ cm}$$

7. Kondensator

Pada bab yang terdahulu telah diuraikan bahwa kapasitet dari bola logam dengan jari-jari r adalah:

$$C = \epsilon \cdot r$$

Dari rumus di atas dapat disimpulkan bahwa semua muatan listrik di dalam bola selalu akan menempatkan diri pada permukaan bola, sedangkan bagian dalam dari bola itu sendiri tidak mengandung muatan listrik.

Muatan listrik yang terdapat di dalam kawat penghantar mempunyai sifat saling tolak menolak, karena jenis elementernya adalah sama.

Pada umumnya di dalam praktek kapasitet yang digunakan besarnya nilai berkisar dari 100 PF sampai $2 \mu F$. Andaikata diperlukan sebuah kondensator yang berkapasiter $1 \mu F$ saja atau $9 \cdot 10^5 \text{ cm}$ (900.000 cm) atau juga 9 km , ini berarti bahwa kita memerlukan sebuah bola dengan ukuran jari-jari 9 km .

ϵ (Epsilon) simbol dari angka dielektrikum dari sebuah bahan isolator adalah angka di mana kapasitet C harus dikalikan jika dielektrikum udara diganti dengan bahan isolator tersebut.

Bentuk rumus umum untuk kapasitet adalah

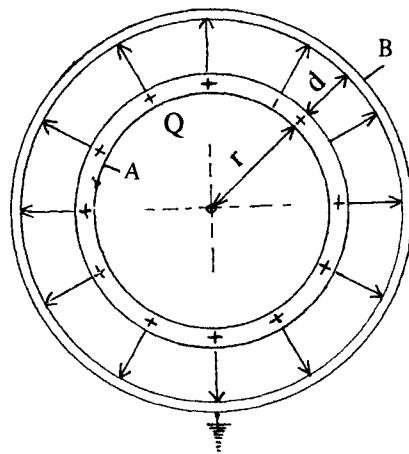
$$C = \frac{Q}{E} \quad \text{jika kita hendak memperbesar } C, Q$$

harus diperbesar dan E harus diperkecil, maka cara yang paling baik dengan jalan memperkecil tegangan E .

Untuk memperkecil tegangan E , dibutuhkan sejumlah usaha untuk memindahkan 1 s.e.s muatan harus diperkecil. Hal ini dapat

tercapai jika pemindahan tersebut tidak berjalan dari tempat yang jauh tak terhingga, tetapi dari sesuatu tempat yang sangat dekat.

Gambar di bawah ini menunjukkan bola A dengan jari-jari r yang diberi muatan listrik positif sebesar Q .



Bola A tadi diselubungi oleh bola B dengan jari-jari $r + d$; dan bola B ini disambungkan dengan tanah (Ground = earth), sehingga tegangan bola tersebut adalah *nol*.

Garis-garis daya listrik yang dikeluarkan oleh bola A akan berakhir pada bola B; garis-garis tersebut tidak berjalan sampai ke tempat yang jauh tak terhingga.

Besarnya tegangan pada bola A sama dengan jumlah usaha yang diperlukan untuk menimbulkan 1 s.e.s muatan dari bola B ke bola A. Jika jarak d dimisalkan sangat kecil, karena sedemikian kecilnya sehingga kuat lapangan F sepanjang jarak d itu dapat dianggap sama. Jadi jumlah usaha untuk menimbulkan 1 s.e.s muatan dari bola B ke bola A sepanjang jarak d adalah:

$$A = F \cdot d$$

$$\text{Jadi } E_A = \frac{Q}{\epsilon r^2} \times d$$

Maka kapasitet dari bola A menjadi:

$$C = \frac{Q}{E_A} = \frac{Q}{\frac{Q \cdot d}{\epsilon r^2}}$$

$$C = \frac{Q}{d} \times \frac{\epsilon r^2}{Qd} = \frac{\epsilon r^2}{d}$$

$$\text{atau } C = \frac{\epsilon r^2}{d}$$

Jika pembilang dan penyebut dikalikan dengan faktor 4π maka terdapatlah:

$$C = \frac{\epsilon r^2}{d} \times \frac{4\pi}{4\pi}$$

$$C = \epsilon \frac{4\pi r^2}{4\pi d}$$

Bentuk $4\pi r^2$ merupakan luas dari permukaan bola A; jika luas ini disingkat dengan huruf S terdapatlah:

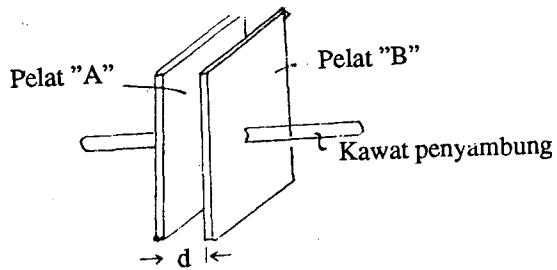
$$C = \epsilon \frac{4\pi r^2}{4\pi d}$$

atau

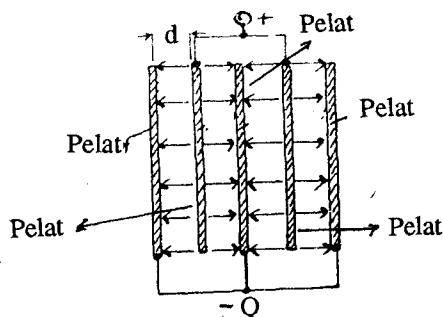
$$C = \epsilon \frac{S}{4\pi d}$$

Teori tersebut di atas secara praktis dapat dilakukan dengan membelah bola A dan bola B, sehingga bola-bola tersebut menjadi dua (dua) dataran A dan B yang ditempatkan berhadapan satu sama lain dengan jarak d (lihat gambar) !

Dengan demikian terdapatlah sebuah alat yang dinamakan Kondensator. Pada umumnya sebuah kondensator terdiri dari 2 pelat datar yang dipisahkan oleh sebuah *bahan dielektrikum*, mempunyai kapasitet yang sangat lebih besar daripada bola.



Untuk memperbesar kapasitet dari sebuah kondensator dapat diperoleh dengan jalan memperbesar luas dataran aktif, yaitu dengan menyambung paralel beberapa pelat, (lihat gambar di bawah). Jika banyaknya pelat itu 5 maka luas dataran S yang aktif menjadi 5 - 1 atau 4 kali lebih besar.



Apabila S diberikan sebagai ukuran luas dari satu pelat, maka untuk menghitung luas dataran pelat yang aktif dapat digunakan rumus:

luas dataran aktif-total (S) = luas dataran satu pelat
x jumlah pelat dikurangi satu (1)

$$\text{atau : } S_{\text{aktif}} = S_{\text{pelat}} \times (n - 1)$$

Dalam mana: n = jumlah pelat.

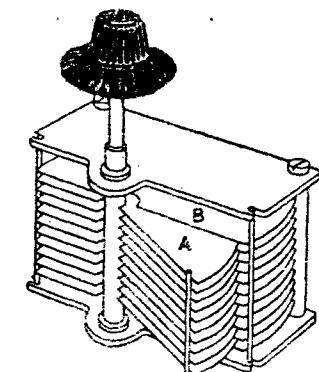
Untuk menghitung kapasitet sebuah kondensator dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$C = \epsilon \frac{S}{4 \pi d}$$

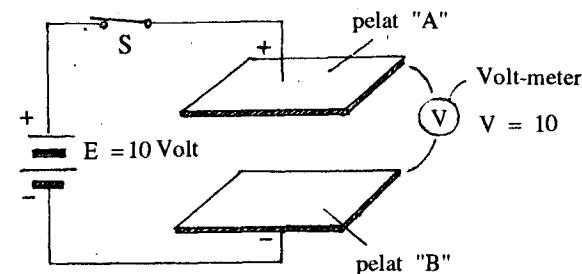
Dalam mana:

- C = Kapasitet diukur dengan s.e.s muatan
- ϵ = angka dielektrikum
- S = Luas dataran aktif diukur dengan cm^2
- d = Jarak antara pelat-pelat diukur dengan cm

Konstruksi Kondensator Variable



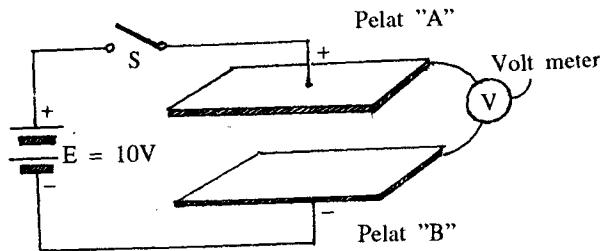
Beberapa kesimpulan di dalam gambar:



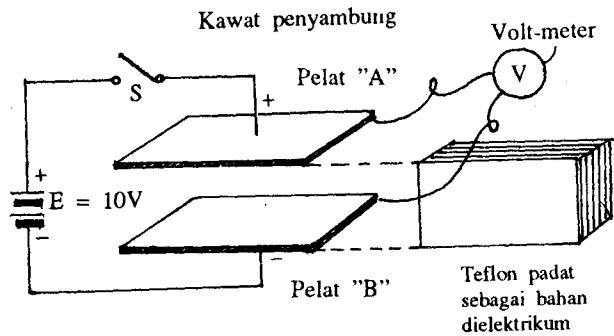
Pelat A dan pelat B yang merupakan sebuah kondensator dalam keadaan terisi pada saat saklar "S" pada posisi tertutup ("ON") dengan tegangan dari sumber "E" sebesar 10 Volt. Dengan demikian besarnya muatan listrik yang dapat disimpan pada permukaan kedua pelat tersebut:

$$\begin{aligned} Q &= C \times E \\ &= 0,01 \times 10 = 0,1 \text{ Coulomb} \end{aligned}$$

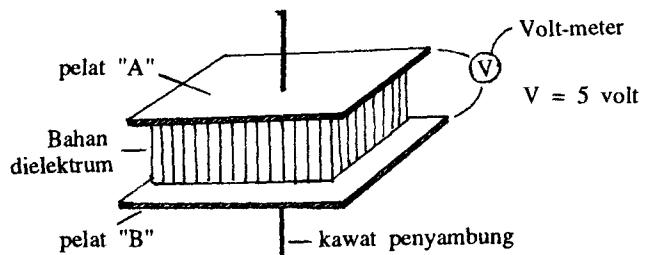
Sedangkan gambar di bawah menunjukkan suatu keadaan yang lain yaitu pada saat saklar "S" dibuka (di-off-kan) beberapa saat maka kondensator tersebut masih dalam keadaan terisi dengan tegangan sebesar 10 Volt.



Bahan dielektrikum yang terdapat di antara kedua pelat tersebut adalah udara, lain halnya dengan bahan dielektrikum yang terdapat di antara kedua pelat ini yaitu jenis teflon padat. (Lihat gambar di bawah ini!)



Setelah bahan dielektrikum dimasukkan di antara kedua pelat tersebut maka besarnya muatan listrik (Q) masih mempunyai keadaan nilai yang sama (0,1 Coulomb), tetapi besarnya tegangan akan menjadi turun yaitu sebesar 5 Volt. (lihat gambar di bawah ini!)



Untuk menghitung besarnya kapasitet dari sebuah kondensator dengan satuan PF dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$C = \frac{0.225 K \cdot A (n - 1)}{t} \quad \text{dalam satuan PF}$$

atau

$$C = \frac{22.5 K \cdot A (n - 1)}{100 t} \quad \text{dalam satuan PF}$$

Dalam mana:

C = Kapasitet dalam satuan PF

K = Kontanta dari bahan dielektrikum

A = Luas penampang pelat dalam satuan inci persegi

t = Ukuran tebal dari bahan dielektrikum dalam satuan inci

n = Banyaknya pelat dalam satuan buah

Contoh-contoh Soal

Suatu kondensator mempunyai 9 plat, masing-masing dengan luas pelat 314 cm^2 ; dielektrikum yang dipakai adalah gelas dengan angka dielektrikum 5; dan tebalnya gelas tersebut adalah 1 mm. Diminta menghitung besarnya kapasitet kondensator tersebut!

Jawab: Diketahui : Kondensator dengan 9 buah pelat tiap pelat luasnya 314 cm^2 . $\epsilon = 5$

Tebal dielektrikum $d = 1 \text{ mm} = 0,1 \text{ cm}$

Ditanyakan : C (kapasitet) kondensator

Penyelesaian : Penampang yang aktif (S_{aktif})

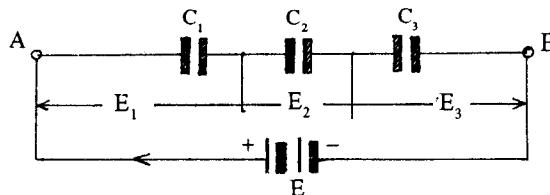
$$= 314 \times (9 - 1) = 314 \times 8$$

$$C = \epsilon \frac{S}{4 \pi d} = 5 \cdot \frac{314 \times 8}{4 \pi \times 0,1}$$

$$C = 5 \cdot \frac{314 \times 8}{4 \times 3,14 \times 0,1} = 10.000 \text{ cm}$$

8. Hubungan Seri dari Beberapa Kondensator

Gambar di bawah ini menunjukkan 3 buah kondensator $C_1 - C_2$ dan C_3 yang dihubungkan dalam rangkaian seri, di mana pada ujung-ujung dari sambungan ini dipasang pada tegangan sebesar "E" Volt.



Kuat arus I yang dikeluarkan oleh sumber E mengalir dari sumber melalui titik A ke titik B. Kemudian kembali ke sumber.

Karena disepanjang jalan tersebut tidak ada arus yang hilang atau menyimpang ke mana-mana, maka aliran yang keluar dari ujung kanan (titik A) sama besarnya dengan arus yang masuk ke ujung kiri (titik B).

Jika dipandang sepintas lalu, hal ini agak janggal, karena antara pelat dari tiga buah kondensator itu ada bahan-bahan isolator (di-eklrikum) yang tidak dapat dilalui arus listrik. Sedangkan elektron-elektron yang memasuki pelat kiri C_1 , akan menolak sejumlah elektron yang sama banyaknya dari pelat kanan C_1 ; elektron-elektron tersebut berganti memasuki pelat kiri dari C_2 , hal mana akan menyebabkan ditolaknya sejumlah elektron yang sama besarnya dari pelat kanan C_2 . Selanjutnya elektron-elektron dari C_2 berganti memasuki pelat kiri C_3 , di mana mengakibatkan ditolaknya lagi sejumlah elektron yang sama besarnya dari pelat kanan C_3 . Oleh sebab itu semua kondensator di dalam sambungan seri akan menerima arus pengisi yang sama besar, begitu juga pada seluruh rangkaian atau kapasitet jumlah (C_{tot}) menerima arus pengisi sebesar I amper, sehingga:

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 = Q_2 = Q_3$$

Arus listrik itu mengalir di dalam rangkaian seakan-akan mengabaikan adanya bahan isolator antara pelat kondensator, maka dari itu bahan isolator tersebut dapat dianggap sebagai penahan-penahan listrik yang tersambung seri. Dengan demikian akan terjadi pembagian tegangan sebagai berikut:

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

Selanjutnya berlaku:

$$E = \frac{Q}{C_{\text{tot}}} \quad \text{atau} \quad E = \frac{Q}{C_j}$$

$$E_1 = \frac{Q}{C_1}; \quad E_2 = \frac{Q}{C_2}; \quad E_3 = \frac{Q}{C_3}$$

$$\text{Jadi: } E = E_1 + E_2 + E_3$$

Jika nilai tegangan tersebut di atas diganti dengan perbandingan antara muatan dan kapasitet maka bentuk di atas dapat diubah menjadi:

$$\frac{Q}{C_j} = \frac{Q}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\text{atau: } \frac{1}{C_j} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Dalam rangkaian ini juga berlaku:

$$E_1 : E_2 : E_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}$$

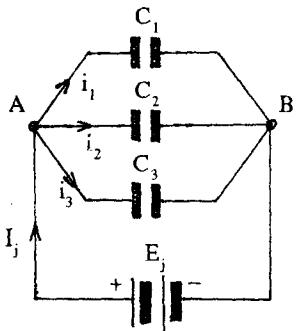
Kapasitet yang terkecil akan mendapat tegangan cabang yang paling besar, dan kapasitet yang terbesar akan mendapat tegangan cabang yang paling kecil.

9. Sambungan Paralel dari Kondensator

Gambar di bawah ini menunjukkan 3 buah kondensator yang tersambung paralel yaitu $C_1 - C_2$ dan C_3 . Rangkaian/sambungan ini terpasang pada satu sumber tegangan yaitu "E" Volt.

Kuat arus jumlah (I) akan mengisi seluruh sambungan, sehingga jumlah muatannya menjadi: $Q_j = C_j \times E_j$

Menurut Hukum Kirchoff I bahwa kuat arus jumlah (I_j) terbagi ke dalam tiga cabang masing-masing yaitu i_1 , i_2 dan i_3



Di mana i_1 akan mengisi C_1 , i_2 mengisi C_2 dan i_3 mengisi C_3 . Oleh sebab itu terdapat muatan pada bagian:

$$Q_1 = C_1 \times E_j$$

$$Q_2 = C_2 \times E_j$$

$$Q_3 = C_3 \times E_j$$

Karena: $I_j = i_1 + i_2 + i_3$ berlaku juga $Q_j = Q_1 + Q_2 + Q_3$

Jadi:

$$C_j \times E_j = C_1 \times E_j + C_2 \times E_j + C_3 \times E_j$$

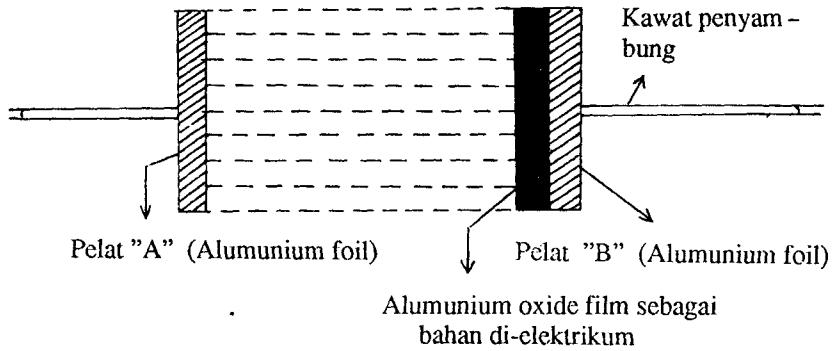
Menurut sifat matematika ruas kanan dan ruas kiri kita bagi dengan faktor E_j sehingga diperoleh bentuk persamaan yang baru sebagai berikut:

$$C_j = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Juga berlaku:

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

Secara konstruksi susunan sebuah kondensator dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

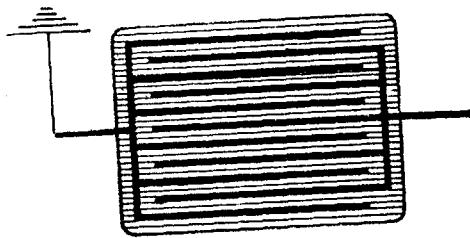


Sedangkan dalam pembuatannya kita berpedoman pada jenis dan angka dari bahan yang akan digunakan sebagai bahan dielektrikum. (lihat daftar/tabel di bawah ini!)

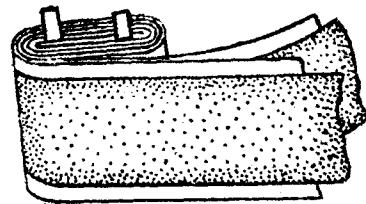
Bahan	Angka dielektrikum "K"
Hampa	1,0
Udara atau gas yang lain	1,0
Air Suling	80
Kertas Parafin	2,2
Mika	5,5 – 7,0
Porselen	5,5
Tantalum	27
Olie paranol	4,5
Olie silikon	2,8
Teflon	2,0
Keramik	5,0 sampai 1000

Dalam kapasitor di samping tertulis nilai dari kapasitetsnya juga tertulis tegangan kerjanya (working voltage) sebagai misal besarnya WV ini antara lain: 250 dc – 750 V – 1500 V – 2000 V dc 6000 V dc dan lain-lain.

Gambar-gambar di bawah ini menunjukkan gambar secara konstruksi dari berbagai macam jenis kondensator yang menggunakan bahan dielektrikum yang berbeda.



Konstruksi kondensator mika



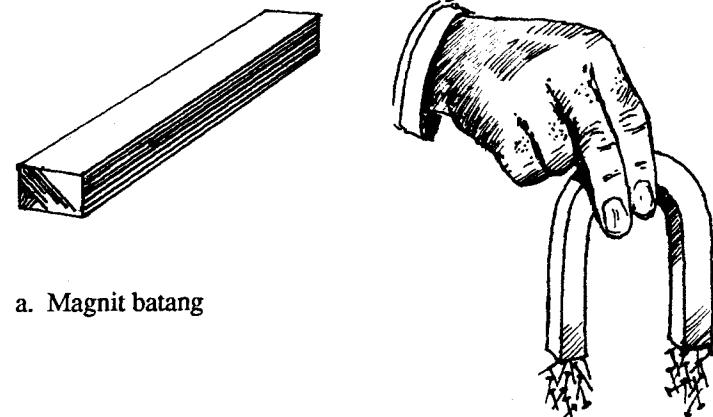
Konstruksi kondensator kertas

Bab 5

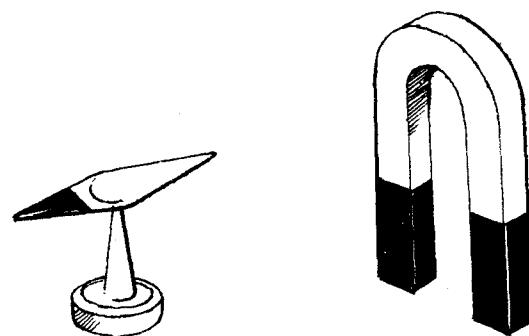
Teori Kemagnitan dan Kemagnitan Listrik

Sebuah magnit ialah sepotong baja yang dapat menarik potongan baja atau logam-logam yang lain (lihat gambar). Menurut bentuknya magnit ini dapat dibedakan dalam tiga bentuk antara lain:

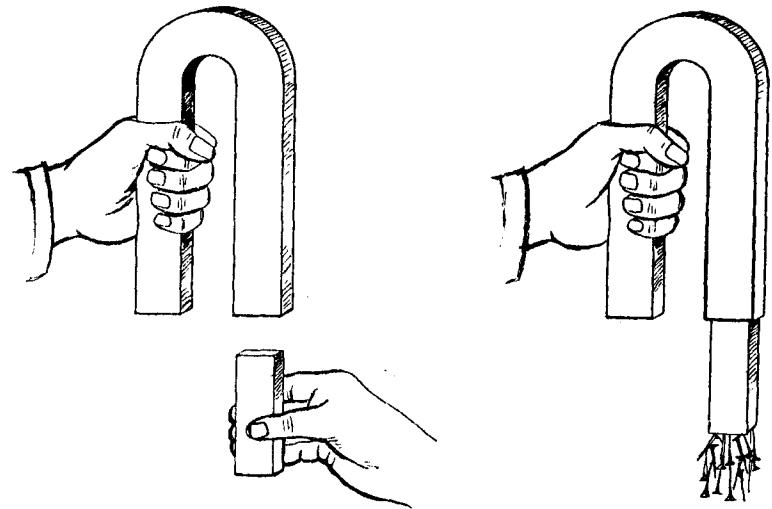
b. Magnit tapal kuda



Magnit tapal kuda

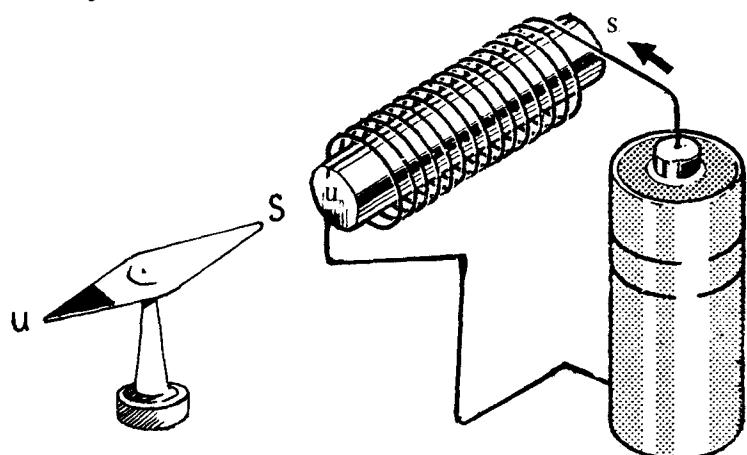


c. Magnit jarum

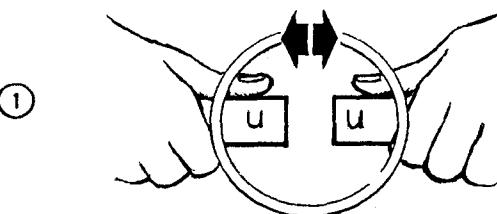


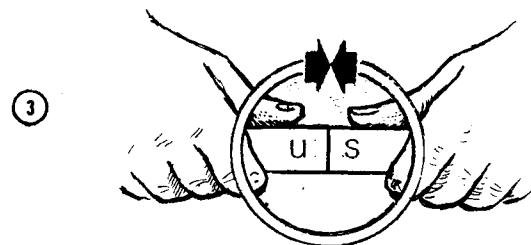
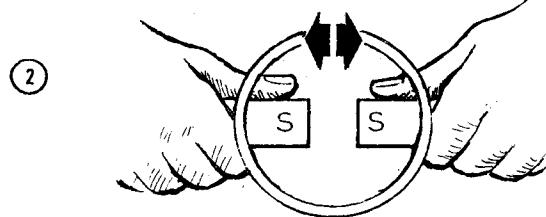
Magnit buatan dapat diperoleh dengan 2 (dua) cara:

- Memasukkan sepotong baja keras/besi ke dalam sebuah kumparan kawat yang dialiri arus listrik searah yang kuat.
- Menggosokkan magnit alam keseluruh permukaan logam yang mudah dijadikan magnit. Logam seperti ini disebut fero-magnit.



Logam fero magnit yang utama ialah besi, kobalt dan nikel. Logam yang memiliki sifat kemagnitan amat kecil disebut para magnit. Jadi garis-garis gaya magnit lebih mudah melalui logam fero maknit dari pada logam para maknit atau bahan lain.





Gaya tarik magnit yang terbesar dan terkuat terdapat di ujung-ujung batang magnit yang biasa disebut kutub. Besarnya gaya tolak atau gaya tarik antara dua kutub dinyatakan oleh Coulomb dalam rumusnya:

$$K = \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Dalam mana:

K = Gaya dalam satuan dyne (1 dyne = 1,02 mg gaya)

m_1 = Kuat kutub pertama dalam satuan Weber (Wb)

m_2 = Kuat kutub kedua dalam satuan Weber (Wb)

r^2 = Jarak antara kedua kutub dalam satuan cm

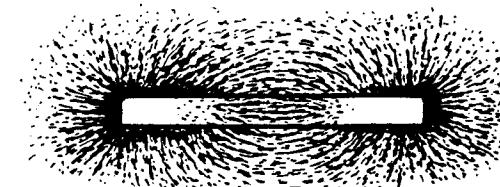
Jika suatu magnit jarum kita gantungkan pada seutas tali, maka magnit jarum itu selalu mengambil kedudukan yang tetap, satu kutub menunjukkan ke utara, yang kita sebut *Kutub Utara*, dan kutub yang

lain menunjukkan keselamatan, yang kita sebut *Kutub Selatan*. Dengan demikian Coulomb menetapkan satu definisi untuk kemagnitan antara lain sebagai berikut:

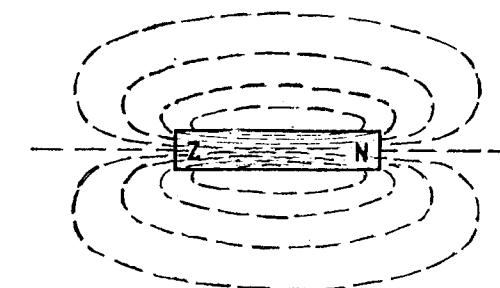
Kutub magnit yang senama tolak menolak dan kutub yang tidak senama tarik menarik (lihat gambar)!

1. Medan Magnit

Apabila di atas sebuah batang magnit kita letakkan karton putih, dan pada karton ini ditaburkan serbuk kikiran besi yang lembut, dan kita ketok-ketok karton itu, maka serbuk besi ini akan membentuk gambaran (seperti pada gambar di bawah ini)!



Kikiran besi mengatur diri dalam garis-garis yang rapat di kutub-kutub magnit dan memanjang dari kutub ke kutub. Garis-garis melengkung dari kutub ke kutub disebut garis gaya magnit (lihat gambar)!



dan garis-garis gaya magnit ini disebut spektrum magnit. Garis gaya yang terdapat di dalam seluruh ruang sekitar magnit disebut medan maknit.

Garis-garis gaya magnit keluar dari kutub utara dan berjalan di luar magnit ke utara, dia masuk ke kutub selatan, selanjutnya garis-garis gaya magnit tadi akan membentuk garis-garis lengkung yang tertutup. (lihat gambar)!

Jika di dalam suatu medan magnit dari sebuah kutub utara dengan kuat kutub sebesar m weber, kita letakkan sebuah kutub utara kecil yang kuat kutubnya 1 weber, maka kutub utara kecil akan menerima gaya tolak (lihat gambar)!

$$K = \frac{m \times 1}{r^2} = \frac{m}{r^2}$$

Kuat gaya yang diberikan kepada sebuah kutub utara yang kuatnya 1 weber di dalam medan magnit itu dipakai sebagai ukuran *kuat medan*. Besarnya kuat medan dapat dihitung dengan rumus:

$$H = \frac{m}{r^2}$$

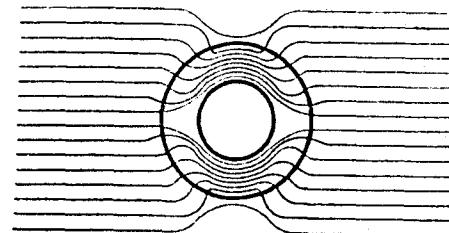
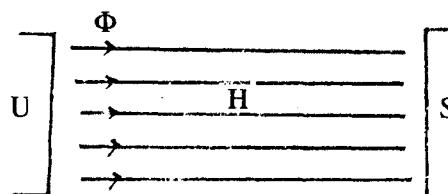
Dalam mana:

H = Kuat medan dalam satuan oersted

m = Kuat kutub dalam satuan weber

= jarak antara kutub dengan sebuah titik yang terdapat di medan, dalam satuan cm.

Jika sepotong besi ditempatkan di dalam medan magnit akan bersifat seperti magnit, karena induksi kemagnitan. Logam feromagnit lebih mudah dijadikan magnit dari pada logam para magnit. Dengan demikian jumlah garis gaya di dalam besi adalah jauh lebih besar daripada di dalam medan magnit di luar besi (diudara).



Kesimpulan: Kerapatan garis gaya dalam besi atau induksi kemagnitan (B) itu lebih besar daripada kerapatan garis gaya di dalam medan magnit di udara. Jumlah garis gaya pada suatu bidang juga disebut arus gaya dan diberi symbol Φ dengan satuan Maxwell. Banyaknya (kerapatan) garis gaya atau *Tlux density* di dalam besi ialah :

$$B = \frac{\Phi \text{ dalam besi}}{q (F)}$$

Dalam mana:

B = Induksi kemagnitan atau arus gaya dalam satuan gauss

Φ = garis gaya dalam satuan Maxwell

$F (q)$ = Luas penampang dalam satuan cm^2

Sedangkan kerapatan arus gaya di dalam udara:

$$H = \frac{\Phi}{q}$$

Dalam mana:

Kuat medan dalam satuan oersted

Φ = Garis gaya dalam satuan Maxwell

q = Penampang (luas bidang) dalam satuan cm^2

Induksi magnit (B) dalam besi jauh lebih besar daripada H atau dapat dikatakan beberapa kali lebih besar dari H.

$$B = \mu \times H$$

Nilai bertambah besarnya arus gaya ini biasa disebut Permeabilitas (μ).

Dalam mana:

B = Induksi magnit besi dalam satuan gauss

μ = Permeabilitas

H = Kuat medan dalam satuan oersted.

2. Contoh Soal Kemagnitan Listrik

1. Dua buah kutub utara berjarak 15 mm satu dari yang lain. Kuat kutub masing-masing sebesar 6 Weber. Diminta menghitung besarnya gaya! Gaya tolak atau gaya tarikkah ini?

Jawab: Diketahui : $r = 15 \text{ mm}$

$$m_1 = m_2 = 6 \text{ weber}$$

Diminta : menghitung gaya $K = ?$

Penyelesaian : $r = 15 \text{ mm} = 1,5 \text{ cm}$

$$K = \frac{m_1 \times m_2}{r^2} = \frac{6 \times 6}{(1,5)^2} = \frac{36}{2,25}$$

a. $K = 16 \text{ dyne}$

b. Karena $m_1 = m_2 = 6 \text{ weber}$ maka
k adalah gaya tolak

2. Sebuah kutub utara dengan kuat kutub sebesar 5 weber berada di dekat sebuah kutub selatan dengan kuat kutub 10 weber. Jarak antara kedua kutub itu = 0,5 cm. Diminta menghitung besarnya gaya K ?

Jawab: Diketahui : $m_1 = 5 \text{ weber}$

$$m_2 = 10 \text{ weber}$$

$$= 0,5 \text{ cm}$$

Ditanyakan : besarnya gaya K ?

Penyelesaian :

$$K = \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

$$= \frac{5 \times 10}{(0,5)^2} = \frac{50}{0,25} = 200$$

Jadi $K = 200 \text{ dyne}$

3. Dua buah kutub, utara dan selatan, mempunyai kuat kutub 6 weber dan 5 weber. Besarnya gaya tarik sebesar 30 dyne.

Berapakah jarak antara kedua kutub itu?

Jawab: Diketahui : $m_1 = 6 \text{ weber}$

$$m_2 = 5 \text{ weber}$$

$$K = 30 \text{ dyne}$$

Ditanyakan : $r = ?$

Penyelesaian : $K = \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$

$$30 = \frac{5 \times 6}{r^2} \quad 30 = \frac{30}{r^2}$$

$$r^2 = \frac{30}{30} = 1$$

Jadi $r = 1 = 1 \text{ cm}$

4. Berapa besarnya kuat medan di titik A dalam suatu medan yang ditimbulkan sebuah kutub dengan kuat kutub 24 weber. Jika jarak titik itu dari kutub = 4 cm ?

Jawab: Diketahui : $m = 24$ weber
 $r = 4$ cm

Ditanyakan : $H = ?$

Penyelesaian : $H = \frac{m}{r^2}$

$$H = \frac{24}{(4)^2} = \frac{24}{16} = 1,5 \text{ oersted}$$

5. Kuat medan pada sebuah titik P besarnya 2 oersted. Jika jauh titik itu dari kutub sejauh 3 cm, diminta menghitung besarnya kuat kutubnya ?

Jawab: Diketahui : $H = 2$ oersted
 $r = 3$ cm

Ditanyakan : $m = ?$

Penyelesaian : $H = \frac{m}{r^2}$

$$\begin{aligned} m &= H \times r^2 \\ &= 2 \times (3)^2 = 2 \times 9 \\ &= 18 \text{ weber} \end{aligned}$$

6. Sebuah kumparan dengan 100 lilit dan panjang 6 cm, mempunyai luas penampang 2 cm^2 ke dalam kumparan ini dialirkan kuat arus sebesar 2,4 A. Diminta menghitung besarnya kuat medan yang terjadi di dalam kumparan dan banyaknya garis gaya dalam kumparan!

Jawab: Diketahui : $N = 100$ lilitan
 $l = 6$ cm
 $q(F) = 2 \text{ cm}^2$

$$I = 2,4 \text{ A}$$

Ditanyakan : a. $H =$ (kuat medan) ?
b. $=$ (garis gaya) ?

Penyelesaian : $H = \frac{0,4 \times \pi \times N \times I}{l}$
 $= \frac{0,4 \times \pi \times 100 \times 2,4}{6}$

$$= 0,4 \times \pi \times 100 \times 0,4$$

a. $H = 50,24$ oersted

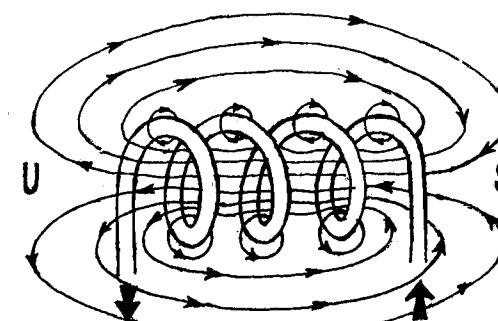
b. $\emptyset = H \times F$

$$= 50,24 \times 2 = 100,48 \text{ Maxwell}$$

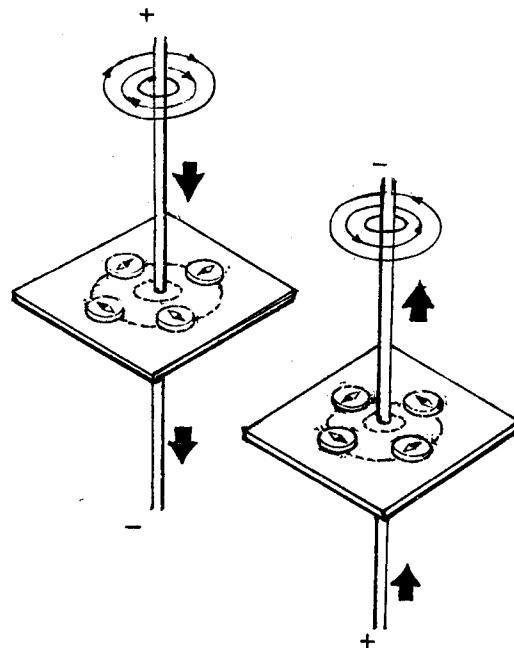
3. Kemagnitan Listrik

Yang dimaksud dengan istilah kemagnitan listrik ialah kemagnitan yang dibangkitkan oleh kuat arus listrik. Sebagai contoh jika ada kuat arus mengalir di dalam kawat penghantar atau konduktor, maka kuat arus ini akan membangkitkan medan magnit di sekeliling penghantar tersebut.

Jika penghantar itu berbentuk lilitan atau kumparan kawat dan dialiri arus listrik maka akan timbul medan magnit. Salah satu ujung menjadi *kutub utara* (U) sedangkan ujung yang lain menjadi *kutub selatan* (S) (lihat gambar) !



Gambar di bawah ini menunjukkan suatu kawat penghantar yang sedang dilalui kuat arus listrik. Kemudian kita dekatkan sebuah kompas di atas kawat penghantar tadi, maka jarum kompas tadi akan berayun-ayun sampai berhenti menunjuk ke arah tegak lurus terhadap penghantar tersebut.

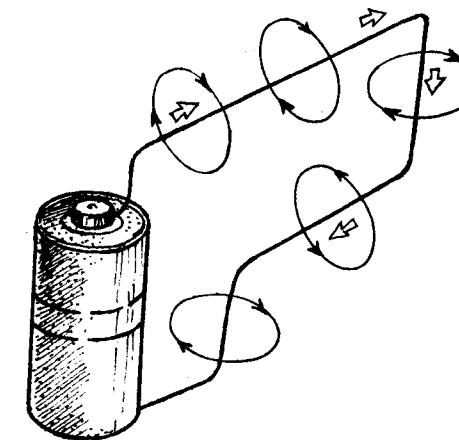


Gejala seperti ini menunjukkan bahwa di sekitar kawat penghantar yang sedang dialiri arus listrik terdapat adanya medan magnet. Arah garis gaya magnit yang berada di dalam kompas searah dengan garis-garis gaya magnit di sekeliling penghantar. Jika kita dekatkan dua buah kompas kepada penghantar tadi (yaitu di bagian atas dan di bagian bawah) maka arah yang ditunjukkan oleh kedua kompas tadi akan berlawanan. Bila arah kuat arus listrik di balik, maka arah penunjuk jarum-jarum kompas tadi juga akan terbalik.

Pemutusan kuat arus yang mengalir di sepanjang penghantar ini akan menyebabkan penyimpangan jarum kompas akan kembali menunjuk ke arah utara - selatan.

4. Kesimpulan

Arus listrik yang mengalir di dalam kawat penghantar yang berada di udara atau hampa udara, maka garis gaya magnit yang dibangkitkan akan berbentuk lingkaran garis gaya, di sepanjang penghantar terhadap sumbu penghantar sebagai titik pusatnya (lihat gambar) !

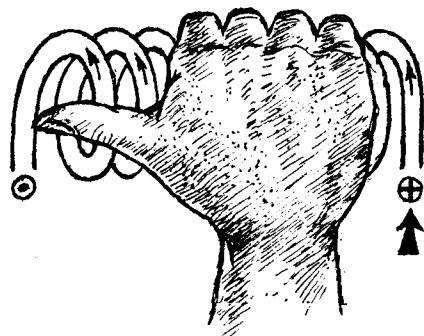


Untuk mengetahui arah medan magnit, selain kita menggunakan kompas dapat juga menggunakan serbuk besi yang ditaburkan di sekitar atau sekeliling penghantar yang dialiri kuat arus listrik (lihat gambar di bawah ini)!

Kita ambil sepotong kawat penghantar dan sehelai karton putih, yang kemudian kawat ini ditusukkan di atas permukaan karton putih tadi sehingga menembusnya. Maka serbuk besi tadi akan mengatur diri mengelilingi penghantar tersebut.

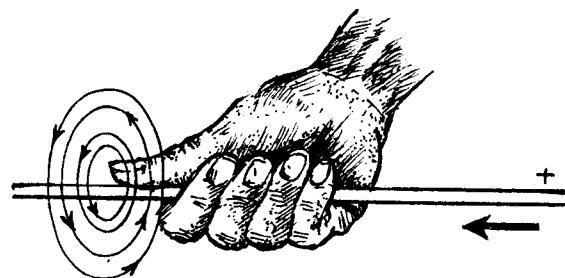
Hubungan antara arah arus dan garis gaya magnit dapat ditentukan dengan peraturan tangan kanan. Lihat gambar!

1



Bila pengantar atau kumparan kawat yang dilalui arus kita pegang dengan tangan kanan di mana ibu jari menunjuk ke depan, dan keempat jari lainnya melingkari pengantar, maka ibu jari menunjukkan arah kuat arus listrik dan jari yang lainnya menunjukkan arah garis gaya magnet.

2



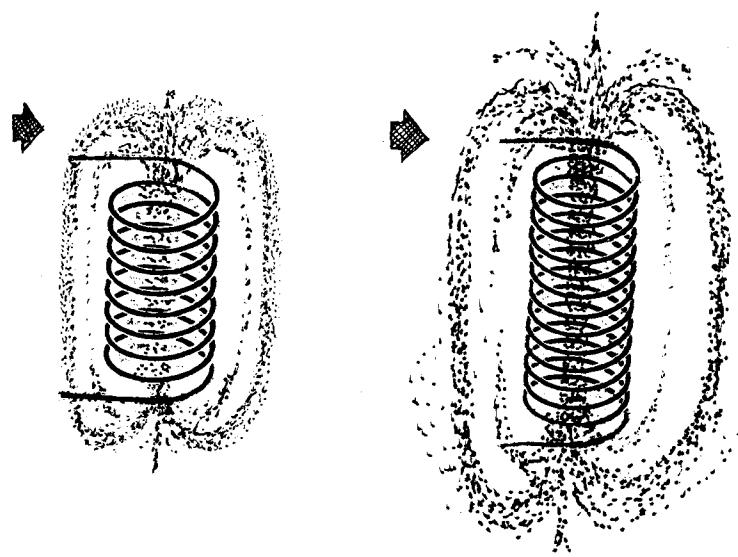
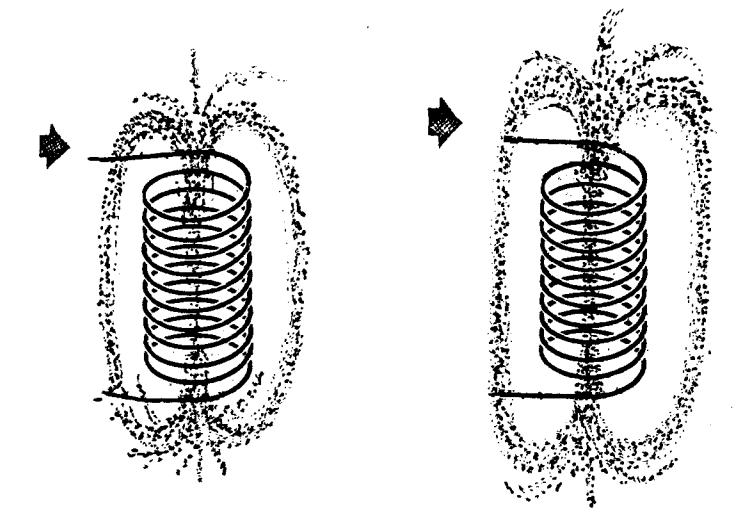
Ada 3 buah faktor yang sangat mempengaruhi medan dari kumparan kawat atau lilitan antara lain adalah:

a. *Kuat arus:*

Dengan menambah besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam kumparan ini berarti memperbesar kuat medan. Atau dengan kata lain kekuatan medan akan bertambah bila intensitas arus listriknya bertambah (lihat gambar)!

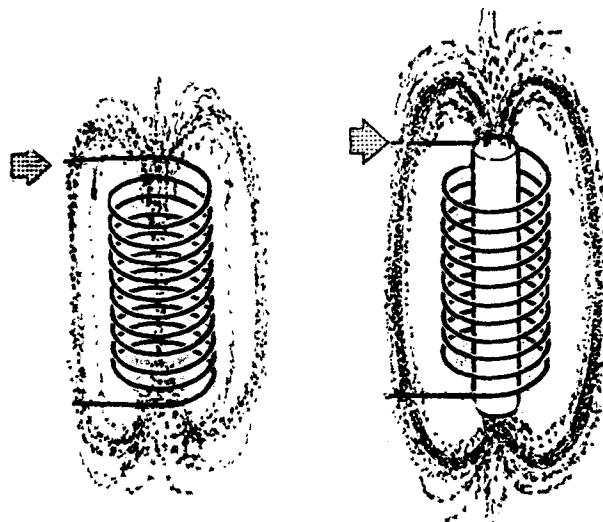
b. *Menambah jumlah gulungan*

Dengan besarnya intensitas kuat arus yang tetap, maka kekuatan medan akan bertambah bila jumlah gulungan ditambah, atau dengan kata lain menambah jumlah gulungan atau lilitan ini berarti akan memperbesar kekuatan medan (lihat gambar) !



c. Memasukkan inti besi (kern) kumparan

Dengan jalan memasukkan inti besi (kern) ke dalam kumparan maka kekuatan medan akan bertambah secara menyolok.



Dalam mana:

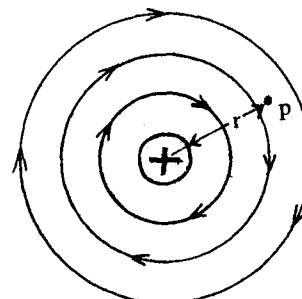
H = Medan magnit di titik dalam satuan oersted

I = Kuat arus dalam satuan amper

r = Jarak titik satuan terhadap pengantar dalam satuan cm

Besar kuat medan pada suatu titik di sekitar pengantar yang dialiri arus dinyatakan dengan rumus:

$$H = \frac{0.2 \times I}{r}$$



Bab 6

Akumulator

Seringkali kita perlu menyimpan daya usaha listrik, supaya sewaktu-waktu dapat digunakan. Alat yang memungkinkan keadaan ini kita sebut "Akumulator". Dengan singkat dapat dikatakan bahwa cara kerja dari akumulator ini adalah sebagai berikut : Daya usaha listrik yang hendak kita simpan itu kita masukkan ke dalam akumulator, di mana ia diubah menjadi daya usaha secara kimia. Jika seandainya nanti kita membutuhkan daya usaha listrik, kita pakai daya usaha secara kimia ini. Dan tentu saja kita akan kehilangan daya usaha pada perubahan-perubahan ini. Ada dua macam akumulator yaitu akumulator asam dan akumulator alkali. Namanya diperoleh dari macam elektrolit kimia, asam dan basa atau alkali.

1. Akumulator Asam atau Akumulator Timbel

Jika kita letakan dua pelat-timbel (elektroda) dalam asam belerang yang dicairkan, kedua pelat itu segera akan ditutup oleh sulfat timbel. Jika kemudian ia dihubungkan dengan sumber arus searah, maka elektrolit asam belerang akan mengurai. Susunan secara kimia dari asam ini ternyata dari rumus H_2SO_4 , artinya dua atom zat cair

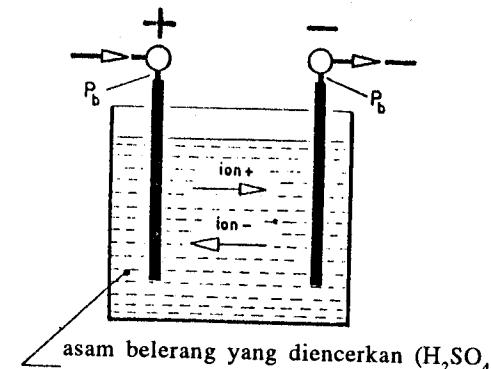
(hydrogenium) berhubungan dengan satu atom asam belerang (sulfer) dan empat atom zat asam (oxygenium).

Kita umpamakan, bahwa satu molekul H_2SO_4 terdiri dari dua bagian dengan sifat listrik terbalik satu terhadap yang lainnya (positif dan negatif); bagian semacam itu kita namakan dengan "ion". Atom zat cair adalah ion positif, sedangkan golongan SO_4^- — sisa asam — adalah ion negatif.

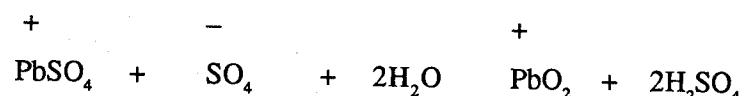
Pada pelaluan arus SO_4^- bergerak ke anoda (+), ion-ion H pergi ke elektroda negatif, ialah katoda. Kedua elektroda itu ditutup oleh selapis sulfat timbel ($PbSO_4$) timbel = plumbum).

Penyelidikan selanjutnya tentang rumus asam belerang dan sulfat timbel yang memperlihatkan bahwa 1 atom Pb sama harganya dengan 2 atom H terhadap sisa asam SO_4^- .

Kini pada anoda terjadi hal-hal sebagai berikut : dengan 2 molekul air, ion negatif merusakan bidang anoda dan membentuk superoksida timbel (PbO_2) dari satu molekul sulfat timbel (oksidanya adalah persenyawaan zat asam). Lihat Gambar !



Reaksi ini dapat kita tetapkan dengan rumus sebagai berikut :



sulfat timbel + sisa asam + air superoksida timbel + asam belerang.

Ion H positif pergi ke katoda, di mana ia mengubah lapisan sulfat timbel menjadi timbel.



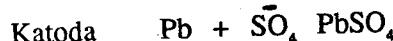
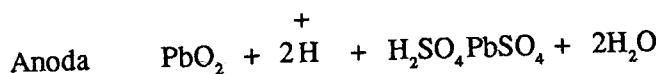
sulfat timbel + Zat air timbel + asam belerang

Jika kita alirkan arus listrik (daya usaha listrik) beberapa waktu lamanya melalui elektrolit bidang anoda diubah menjadi superoksida timbel pada katoda terjadi timbel murni.

Sesudah arus diputuskan, dalam elektrolit terjadi dua pelat dari bahan yang berbeda, rupanya terjadi sebuah elemen, yang mempunyai daya usaha secara kimia. Dengan kata lain oleh pengutuban (polarisasi) terjadi gaya motor listrik, sehingga alat itu dapat menghasilkan arus (daya usaha listrik) sendiri, di mana pelat-pelat itu untuk sementara waktu dapat mempertahankan polaritetnya.

Arus yang dimasukkan disebut dengan "arus pengisi", arus yang dihasilkan oleh akumulator itu sendiri disebut dengan "arus pengosong". Arus pengosong ini adalah kebalikan dari arus pengisi.

Juga pada pengosongan arus, elektroda-elektroda itu mengalami perubahan secara kimia. Ion-ion SO_4^{2-} negatif pergi ke katoda, sedangkan ion H negatif pergi ke anoda. Kini pada elektroda berlangsung hal seperti berikut :

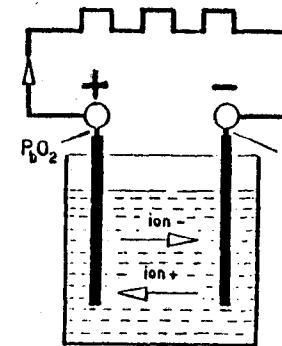


Gaya motor listrik akan segera hilang setelah kedua bidang pelat itu diubah dalam sulfat timbel, maka akumulator itu dikoongkan. Akumulator dari *Plante* berdasarkan atas reaksi-reaksi seperti tersebut di atas. Dengan jalan mengisi dan mengeluarkan isi itu secara berulang-ulang, asam itu akan mendapat lebih banyak kesempatan untuk merusakkan pelat-pelat timbel itu, sehingga banyaknya massa yang aktif selalu bertambah banyak. Hal ini kita sebut dengan "Menyusun Akumulator menurut *Plante* atau juga "Menyusun menurut sewajarnya

Ketika diisi, bidang positif dari sulfat timbel diubah dalam uperokksida timbel, bidang pelat negatif dari sulfat timbel berubah menjadi timbel. Timbel ini berupa bunga karang oleh karena itu ia terjadi secara elektrolitis.

Pada pengeluaran isi pelat positif dari superokksida timbel diubah menjadi sulfat timbel; sedangkan pelat negatif dari timbel diubah menjadi sulfat timbel.

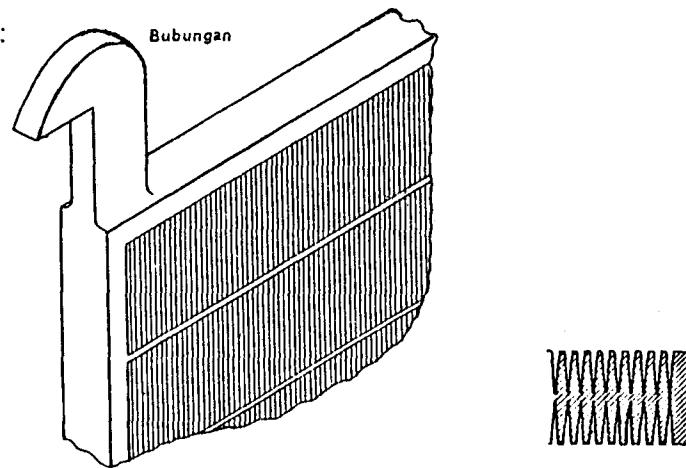
Lihat gambar !



Juga elektrolit itu mengalami perubahan, ketika mengisi dan ketika mengeluarkan isi, kepekatan asamnya menjadi berubah. Ketika mengisi kepekatan asamnya bertambah besar. Oleh karena terjadinya asam belerang sulfat timbel pada waktu perubahan, pada waktu pengeluaran isi, terjadilah kebalikannya. Menyusun akumulator menurut *Plante* menunjukkan cara yang baru. Pelat itu dicat dengan meni (Pb_3O_4) sebagai "massa aktif". Pelat itu berbentuk kisi dan lubang-lubangnya itu diisi dengan massa aktif itu. Kebaikannya ialah penyusunan yang lebih tepat.

Lama kelamaan bentuk pelat-pelat itu menjadi sempurna. Untuk bagian yang positif kita pakai pelat-pelat yang mempunyai banyak rusuk, sehingga bidang di mana asam itu bekerja akan menjadi lebih besar (Prinsip *Tudor*). Pelat-pelat semacam itu disebut Pelat Bidang Besar (lihat gambar)! biasa ia disusun menurut sewajarnya.

Gambar :

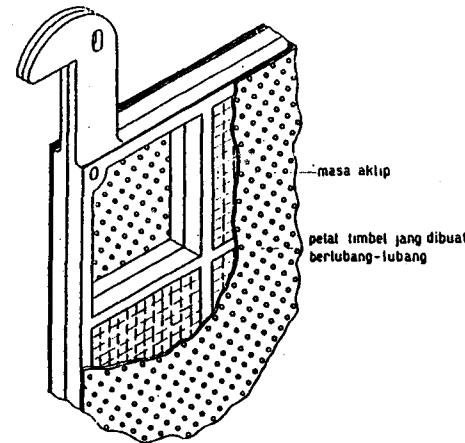


Seringkali kita juga melihat pelat positif, di mana rangka timbelnya merupakan kisi. Lubang-lubang kisi ini kita beri pelumasnya seluruhnya dengan tapal aktif, ia adalah pelat yang dilumas.

Ketika mengisi terjadi timbel yang berbentuk bunga karang pada pelat negatif itu; timbel yang berbentuk bunga karang ini mudah menjadi lepas.

Oleh karena itu biasanya pelat ini dibuat secara pelat kotak (lihat gambar)! Massa aktif ini diperas antara dua timbel keras yang dibuat berlubang-lubang.

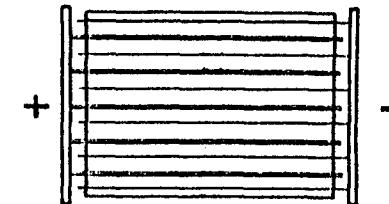
Gambar :



Kepekatan asamnya tidak boleh terlalu besar, karena ini dapat menyebabkan pelat itu menjadi rusak. Pada accu yang diisi ia tidak boleh lebih dari 1,3. Ini dapat kita periksa dengan "meter asam atau dengan meter densi".

Lama kelamaan pelat itu menjadi lengkung, pelat positif lebih lengkung daripada pelat negatif. Kesalahan ini dapat kita perbaiki dengan jalan meletakkan pelat negatif pada kedua belah sisi pelat positif itu. Oleh karena itu akumulator biasanya mempunyai satu pelat negatif lebih daripada pelat positif (lihat gambar) !

pandangan atas sebuah ruangan

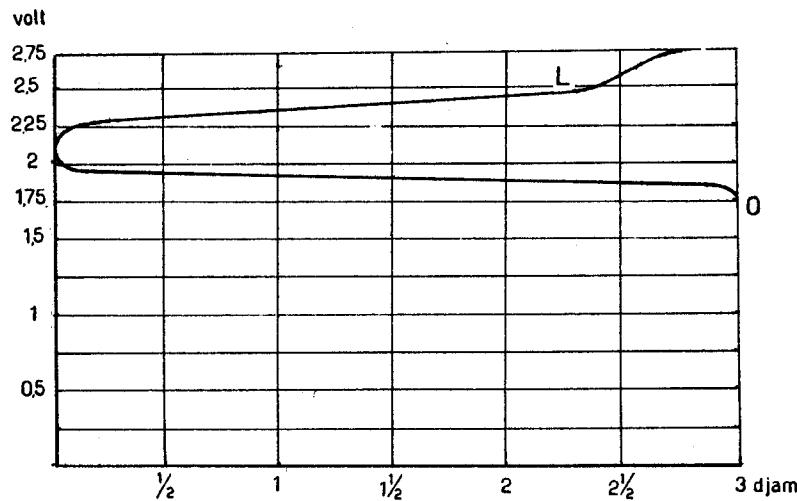


Pelat positif ini berwarna coklat, sedangkan pelat negatif ini warnanya kelabu. "bendera atau bubungan" itu kita soldir dengan bilah-bilah kutub timbel yang satu dengan yang lainnya. Makin besar bidang pelat itu dan makin banyak terdapat pelat dalam satu ruangan, maka makin besar "kapasitet" akumulator itu, ia kita sebutkan dalam jam amper (Ah).

Pengeluaran isi yang terlalu banyak, membiarkan terlalu lama dalam keadaan tidak diisi dan pengeluaran isi dengan kuat arus yang terlalu besar akan menyebabkan "pengulfatan". Sulfat timbel itu berubah menjadi hablur, yang menutup bidangnya dengan lapisan hablur itu. Timbel yang terletak di bawahnya tidak dapat lagi turut bekerja secara kimia, sehingga kapasitetnya akan turun. Hablur-hablur (kristal-kristal) itu tidak mencair dalam asam. Satu-satunya cara yang dapat kita coba adalah supaya pelat itu dapat digunakan yaitu pelat yang rusak itu diletakkan dalam air yang didistilir, sesudah itu berulang-ulang diisi dan dikeluarkan isinya. Oleh sebab itu ada kemungkinan hablur itu akan mencair.

2. Lengkung Pengisian (Charged Curve) dan Lengkung Pengeluaran (Discharged Curve) Isi dari Akumulator Timbel.

Secara normal kita mengisi dan mengeluarkan isi itu dalam waktu 3 sampai 10 jam. Lihat gambar yang menunjukkan "lengkungan waktu tegangan" untuk mengisi dan mengeluarkan isi. Gambar !



Tegangan sebuah ruangan akan bergantung pada kepekatan asam dan keadaan pada waktu mengisi. Makin besar kepekatan asamnya, makin tinggi tegangannya.

Pada pengeluaran isi dalam 3 sampai 10 jam, tegangannya tidak boleh rendah daripada 1,83 tiap ruangan, oleh karena pada pengeluaran isi yang lebih lanjut tegangannya akan turun dengan cepat dan akan merusakkan pelat-pelat itu. Pada pengeluaran isi yang lebih pendek, tegangan penghabisan boleh lebih rendah sedikit.

Sebagai tegangan isi yang paling tinggi dapat dianggap 2,75 volt tiap ruangan. Katoda tidak mengambil lagi zat air yang berbentuk, dan gas itu akan menghindar. Kita katakan bahwa ruangan itu "mendidih". Dalam praktek pengisian itu kita teruskan beberapa menit, sesudah itu ruangan diisi. Selama pengeluaran isi tegangan tiap sel turun dari 2,1 volt sampai 1,83 volt. Sebabnya turun tegangan ini harus kita cari dalam

pembentukan air, sehingga berat jenis asam belerang itu menjadi lebih kecil. Tetapi, ketika mengisi terjadi sebaliknya.

Oleh karena pengisian, terjadi pembentukan asam pada bidang pelat itu. Elektrolit akan mengambil asam ini, sehingga kepekatan zat cair itu menjadi naik dan gaya motor listrik menjadi lebih besar.

Jika kita hendak memelihara akumulator timbel dengan baik sekali-sekali kita harus menambahkan air yang didistilir demikian banyak, sehingga bagian atas pelat itu terletak di bawah permukaan zat cair itu. Pemasukan asam belerang jarang sekali diperlukan. Dalam waktu yang tertentu kita harus memeriksa kepekatan asamnya.

3. Akumulator - Alkali (Lindi)

Pembuatan yang paling ternama dari ini adalah "akumulator Edison". Sebagai pengganti asam, kita padai disini sebagai elektrolit "basa" (zat cair alkali atau lindi), sebuah persenyawaan dari logam dengan zat asam dan zat cair.

Elektroda dari accu Edison ini diletakan dalam larutan lindi-kali dari 21% (berat jenis = 1,21).

Elektroda positif berisi hidroksa nekel, elektroda negatif berisi besi yang berbentuk tepung dan oksida besi atau kadmium. Selama mengisi zat asam berpisah dari anoda, sehingga oksida nekel diubah menjadi oksida yang lebih tinggi (nekel itu bersenyawa dengan lebih dari satu zat asam). Pada alat negatif berbentuk zat air, yang bersenyawa dengan asam oksida besi (reduksi) pelat magnit itu direduksir menjadi besi.

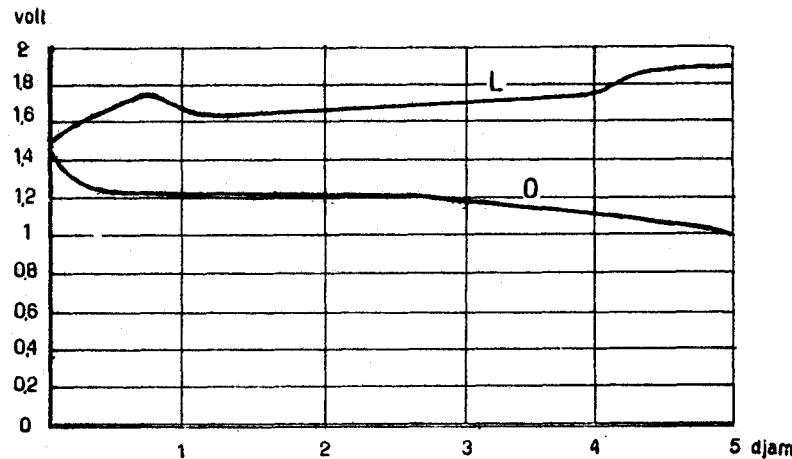
Ketika mengeluarkan isi terjadi kebalikannya. Kebaikan accu ini daripada accu asam, ialah bahwa lindi itu tidak turut bekerja secara kimia. Tetapi ada juga lindi yang keluar sedikit, yang disebabkan oleh pembentukan gas.

Penambahan isi dengan lindi hanya jarang diperlukan, yaitu bila kepekatannya turun sampai 16% dan hal ini terjadi baru kira-kira sesudah tiga ratus pengisian. Dan biasanya lindi itu kita ganti sama sekali dengan yang baru. Sesudah satu atau dua pengisian, kita harus menambahnya dengan air yang didistilir.

Bejana itu dibuat dari pelat baja yang dilapisi oleh nekel. Batang-batang karet keras memisahkan pelat yang satu dengan yang lainnya dan mencegah terjadinya penyambungan dalam. Kapasitetsnya tidak bergantung pada kuat arus pengeluaran isi, accu itu tahan terhadap muatan lebih yang kuat dan muatan lebih yang tiba-tiba.

Ia dapat dibiarkan beberapa lama dengan tak dipakai, juga bila ia telah mengeluarkan isi, asal saja kita jaga, bahwa pelat-pelat itu terletak di bawah permukaan zat cair. Lihat gambar yang menunjukkan grafik pengisian dan pengeluaran isi accu Edison.

Gambar :



Kebaikan dan Keburukan Accu Edison terhadap akumulator Timbel.

Sebagai kebaikan dapat disebutkan sebagai berikut :

- tahan baik terhadap gugat dan muatan lebih
- berat yang sedikit
- uap lindi alkali tidak merusak logam
- sel itu dapat paling jauh mengeluarkan isi
- dapat beberapa lama dibiarkan dalam keadaan tidak diisi.

Yang menjadi keburukannya adalah :

- kapasitetnya terbatas (sampai 450 Ah)
- randemen yang rendah
- harga lebih tinggi.

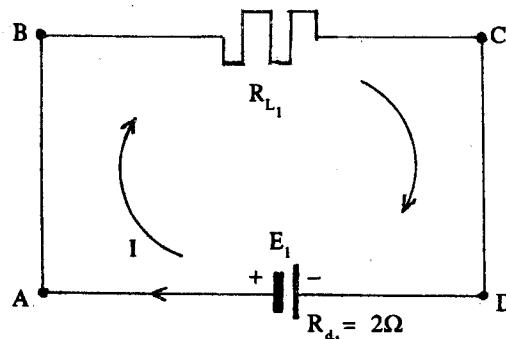
$$I = \frac{E_1}{R_{d_1} + R_{L_1}} = \frac{10}{2+8} = \frac{10}{10} = 1A$$

atau :

$$E_1 = I(R_{d_1} + R_{L_1}) = IR_{d_1} + IR_{L_1}$$

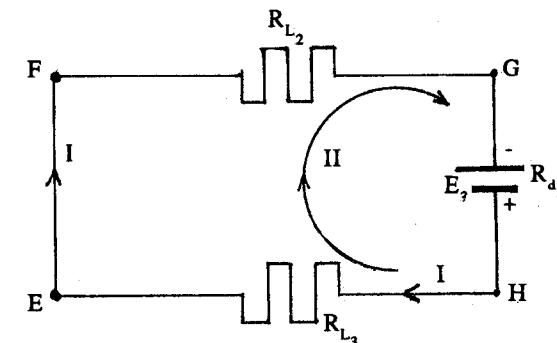
E_1 dinamakan tegangan aktif dalam lingkaran tertutup tersebut. IR_d dan IR_{L_1} merupakan hasil kali antara kuat arus dan tahanan. Berhubung dengan itu dapat dikatakan bahwa di dalam suatu lingkaran tertutup besarnya tegangan aktif (E_1) ini selalu sama dengan jumlah hasil kali antara I dan R .

Sedangkan gambar di bawah ini menunjukkan bentuk lingkaran tertutup yang lain, terdiri dari sebuah sumber $E_2 = 20$ Volt atau $R_{d_2} = 2 \Omega$ dan 2 buah tahanan beban yang masing-masing (R_{L_1} dan $R_{L_3} = 9 \Omega$)



Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah rangkaian tertutup dengan sumber tegangan E_1 sebesar 10 Volt, Tahanan dalam (R_d) = 2Ω dan tahanan luar sebesar 8Ω (R_L).

Besarnya kuat arus (I) yang mengalir ke dalam rangkaian dapat dihitung memakai rumus sebagai berikut :



Jadi besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam rangkaian dapat dihitung sebagai berikut :

$$I = \frac{E_2}{R_{d_2} + R_L + R_{L_3}}$$

$$I = \frac{20}{2+9+9} = \frac{20}{20} = 1A$$

DE akan mengalir kuat arus dari bawah ke atas.

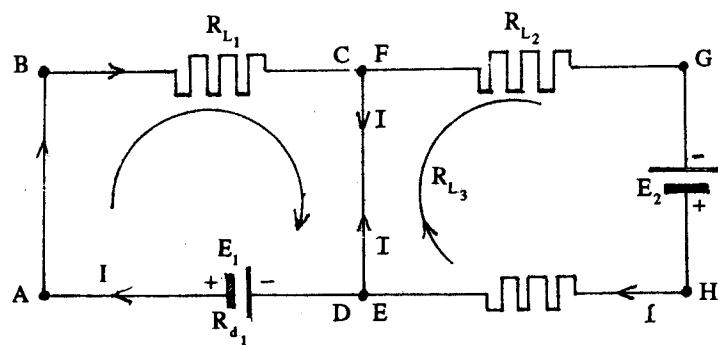
Oleh sebab itu bentuk rumus di atas dijabarkan sebagai berikut :

$$I = \frac{E_2}{R_{d_2} + R_{L_2} + R_{L_3}}$$

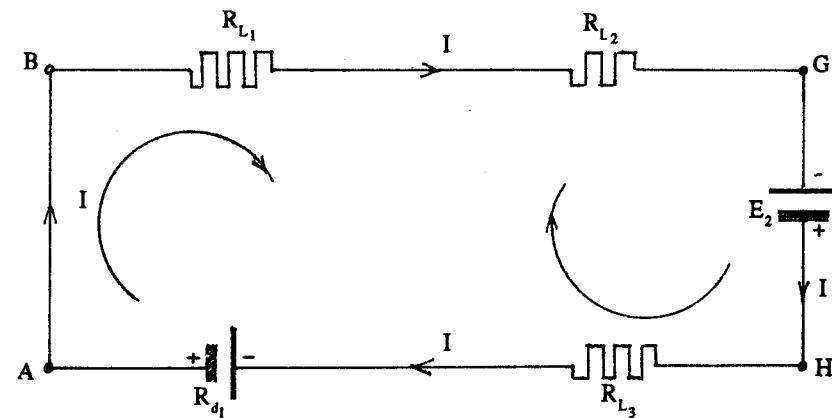
$$E_2 = I (R_{d_2} + R_{L_2} + R_{L_3})$$

$$E_2 = IR_{d_2} + IR_{L_2} + IR_{L_3}$$

Karena besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam rangkaian I dan rangkaian II sama besarnya, maka kedua rangkaian di atas dapat disatukan menjadi satu yaitu dengan jalan mengimpitkan garis C-D dengan garis GH, maka akan terjadi rangkaian dengan sambungan sebagai berikut :



Dalam kawat CF-DE akan terjadi hal-hal sebagai berikut : Dari arah titik CF akan mengalir kuat arus dari atas ke bawah dan dari titik



Selanjutnya untuk menyelesaikan berbagai bentuk soal Hukum Kirchoff, perlu memperhatikan beberapa ketetapan di bawah ini :

1. Tetapkanlah dahulu jumlah lingkaran tertutupnya.
2. Tetapkanlah kemudian arah arus di dalam masing-masing rangkaian tertutup dengan memakai pedoman dasar "arah positif" yaitu arah arus dari sumber tegangan yang mengalir dari kutub negatif ke kutub positif. Dari teori dan ketetapan ini dapat didefinisikan sebagai berikut :

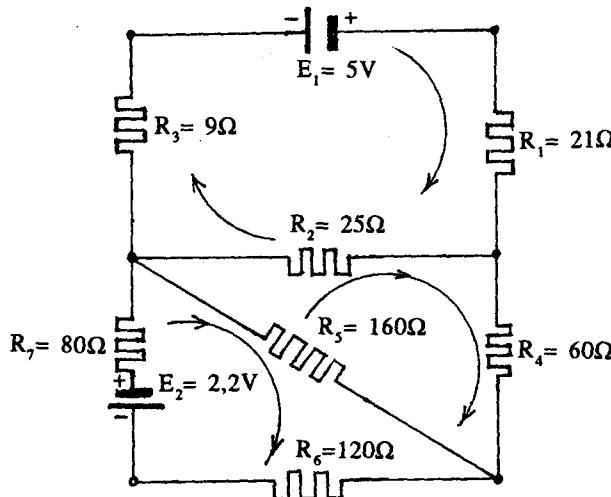
"Jumlah hasil perkalian antara kuat arus dan tahanan pada cabang atau lingkaran tertutup sama dengan besarnya tegangan yang terdapat pada sumber dari cabang itu".

Dengan definisi di atas dapat dituliskan rumus untuk Hukum Kirchoff II, yaitu :

$$\Sigma E = \Sigma IR$$

Contoh Soal :

Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari tiga buah lingkaran tertutup yang masing-masing diberi simbol dengan no. I, II dan III. Untuk kuat arus yang mengalir dari tiap sumber tegangan dimisalkan X, Y dan Z (untuk arah kuat arus).



Z ini ditentukan secara sembarang dengan ketetapan yang ada.

Ditanyakan : Berapa besarnya kuat arus X, Y dan Z ?

Penyelesaian: untuk dapat menyelesaikan soal di atas kita gunakan pedoman dasar penetapan dan rumus untuk Hukum Kirchoff II yaitu $E = iR$

Untuk lingkaran I berlaku :

$$\Sigma E = \Sigma iR$$

$$E_1 = x \cdot R_1 + (-y) \cdot R_2 + x \cdot R_3$$

$$5 = x \cdot 21 - y \cdot 25 + x \cdot 9$$

$$5 = 21x - 25y + 9x$$

$$5 = 30x - 25y \dots \dots \dots (I)$$

Untuk lingkaran II berlaku :

$$\Sigma E = \Sigma iR$$

$$E = y \cdot 25 + (x + y) \cdot 60 + (-2) \cdot 160$$

Pada lingkaran II ini tidak terdapat sumber tegangan maka nilai $E = 0$. Jadi persamaan di atas berubah menjadi :

$$E = y \cdot 25 + (x + y) \cdot 60 + (-z) \cdot 160$$

$$0 = 25y + 60x + 60y - 160z$$

$$0 = 60x + 85y - 160z \dots \dots \dots (II)$$

Untuk lingkaran III berlaku :

$$\Sigma E = \Sigma iR$$

$$E_2 = (x + y + z) \cdot R_7 + z \cdot R_5 + (z + y + z) \cdot R_6$$

$$2.2 = (x + y + z) \cdot 80 + z \cdot 160 + (x + y + z) \cdot 120$$

$$2.2 = 80x + 80y + 80z + 160z + 120y + 120z$$

$$2.2 = 200x + 200y + 360z \dots \dots \dots (III)$$

Untuk memudahkan penyelesaian lebih lanjut, persamaan-persamaan tersebut disusun sedemikian rupa sehingga mudah diamati :

$$I) \quad 30x - 25y = 5$$

$$II) \quad 60x - 85y - 160z = 0$$

$$III) \quad 200x + 200y + 360z = 2.2$$

$$X_L = X_C$$

$$X_L = X_C$$

Penyelesaian :

$$I) \quad 30x - 25y = 5$$

$$II) \quad 60x - 85y - 160z = 0 \quad 2 \quad 60x - 50y = 10 \\ 60x - 85y - 160z = 0 \\ \underline{35y + 160z = 10} \quad (IV)$$

$$\text{II) } 60x - 85y - 160z = 0$$

$$\text{III) } 200x + 200y + 360z = 2,2$$

$$\begin{array}{r} 200 \quad 12000x - 17000y - 32000z = 0 \\ 60 \quad 12000x + 12000y + 21600z = 132 \\ \hline -29000y - 53600z = -132 \\ 29000y + 53600z = 132 \quad (\text{V}) \end{array}$$

$$\text{IV) } 35y + 160z = 10$$

$$\text{V) } 29000y + 53600z = 132$$

$$\begin{array}{r} 335 \quad 11725y + 53600z = 3350 \\ 1 \quad 29000y + 53600z = 132 \\ \hline -17275y \quad = 3218 \end{array}$$

$$y = \frac{3218}{-17275} = \frac{-3218}{17275}$$

$$= -0,186$$

Untuk menghitung harga kuat arus x, nilai y kita masukkan ke dalam persamaan I (perhatikan di bawah ini) !

$$\text{I) } 30x - 25y = 5$$

$$30x - 25 \cdot -0,186 = 5$$

$$30x + 4,65 = 5$$

$$30x = 5 - 4,65$$

$$30x = 0,35$$

$$x = \frac{0,35}{30} = 0,01$$

Setelah nilai kuat arus x dan y dapat dihitung, kemudian nilai-nilai ini dimasukkan ke dalam persamaan II), kemudian akan diperoleh nilai z (perhatikan di bawah ini) !

$$\text{II) } 60x - 85y - 160z = 0$$

$$60 \times 0,01 - 85 \times (-0,186) - 160z = 0$$

$$0,6 + 15,81 - 160z = 0$$

$$-160z = -16,41$$

$$160z = 16,41$$

$$z = \frac{16,41}{160} = 0,1$$

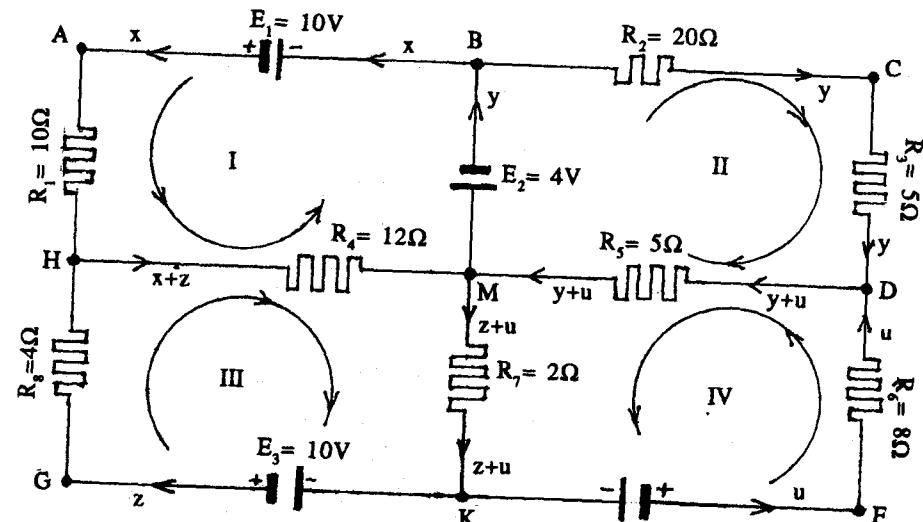
Dari hasil perhitungan dengan tiga persamaan di atas, maka menghasilkan tiga macam kuat arus z, y dan z

$$\begin{aligned} \text{kuat arus } x &= 0,01\text{A} \\ \text{kuat arus } y &= -0,186\text{A} \\ \text{kuat arus } z &= 0,1\text{A} \end{aligned}$$

Tanda negatif yang terdapat di depan harga kuat arus y, ini menunjukkan bahwa arah arus yang sebenarnya dari C ke F dan bukan dari F ke C.

Dengan demikian harga kuat arus yang sebenarnya adalah :

$$\begin{aligned} x &= 0,01\text{A} \\ y &= 0,186\text{A} \\ z &= 0,1\text{A} \end{aligned}$$



Diminta menghitung : besarnya kuat arus x, y, z dan u yang masing-masing mengalir dari tiap-tiap sumber E_1 , E_2 , E_3 dan E_4

Untuk lingkaran I (ABMH) berlaku persamaan sebagai berikut :

$$I) \sum E = \sum iR$$

$$E_1 + E_2 = x.R_1 + (x+z).R_4$$

$E_1 + E_2 = x.10 + (x+z).12$ (kedua sumber tegangannya disambung seri)

$$10 + 4 = 10x + 12x + 12z$$

$$14 + 22x + 12z \quad 22x + 12z = 14$$

II) Untuk lingkaran II (BCDM) berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\sum E = \sum iR$$

$$E_2 = y.R_2 + y.R_3 + (y+u).R_5$$

$$4 = y.20 + y.5 + (y+u)5$$

$$4 = 20y + 5y + 5y + 5u$$

$$4 = 30y + 5u = 4$$

III) Untuk lingkaran III berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\sum E = \sum iR$$

$$E_3 = z.R_8 + (x+z).R_4 + (z+u).R_7$$

$$10 = z.4 + (x+z).12 + (z+u)2$$

$$10 = 4z + 12x + 12z + 2z + 2u$$

$$10 = 12x + 18z + 2u \quad 12x + 18z + 2u = 10$$

IV) Untuk lingkaran IV. (MDFK) berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\sum E = \sum iR$$

$$E_4 = u.R_6 + (y+u).R_5 + (z+u).R_7$$

$$4 = u.8 + (y+u)5 + (z+u)2$$

$$4 = 8u + 5y + 5u + 2z + 2u$$

$$4 = 15u + 5y + 2z \quad 5y + 2z + 15u = 4$$

Perhatikan susunan dari setiap persamaan :

$$I) \quad 22x + 12z = 14$$

$$II) \quad 30y + 5u = 4$$

$$III) \quad 12x + 18z + 2u = 10$$

$$II) \quad 5y + 2z + 15u = 4$$

Penyelesaian :

$$II) \quad 30y + 5u = 4 \quad 1 \quad 30y + 5u = 4$$

$$IV) \quad 5y + 2z + 15u = 4 \quad 6 \quad 30y + 12z + 90u = 24$$

$$-7z - 90u = -24$$

$$7z + 90u = 24$$

$$I) \quad 22x + 12z = 14 \quad 12 \quad 264x + 144z = 168$$

$$III) \quad 12x + 18z + 2u = 10 \quad 22 \quad 264x + 396z + 44u = 220$$

$$-252z - 44u = -52$$

$$252z + 44u = 52$$

$$7z + 90u = 24$$

$$252z + 44u = 52$$

$$\begin{array}{r} 252 \quad 1764z + 22680u = 6048 \\ 7 \quad 1764z + 308u = 364 \\ \hline 22372u = 5684 \end{array}$$

$$u = \frac{5684}{22372} = 0,2$$

Nilai $u = 0,2$ kita masukkan ke dalam persamaan II sehingga harga y dapat dihitung :

$$30y + 5u = 4$$

$$30y + 5 \cdot 0,2 = 4$$

$$30y + 1 = 4$$

$$30y = 4 - 1$$

$$30y = 3$$

$$y = \frac{3}{30} = 0,1$$

Selanjutnya nilai y dan u dimasukkan ke dalam persamaan IV, maka nilai z dapat dihitung :

$$5y + 2z + 15u = 4$$

$$5 \cdot 0,1 + 2z + 15 \times 0,2 = 4$$

$$0,5 + 2z + 3 = 4$$

$$2z = 4 - 3 - 0,5$$

$$2z = 0,5$$

$$z = \frac{0,5}{2} = 0,25$$

Untuk menghitung besarnya kuat arus x , yaitu dengan memasukkan nilai z ke dalam persamaan I

$$22x + 12z = 14$$

$$22x + 12 \times 0,25 = 14$$

$$22x + 3 = 14$$

$$22x = 14 - 3$$

$$22x = 11$$

$$x = \frac{11}{22} 0,5$$

Kesimpulan : Jadi besarnya kuat arus yang dikeluarkan dari tiap-tiap sumber tegangan yaitu x , y , z dan u yaitu :

$$x = 0,5 \text{ A}$$

$$y = 0,1 \text{ A}$$

$$z = 0,25 \text{ A}$$

$$u = 0,2 \text{ A}$$

Bab 8

Muatan Listrik (Elektro-Statika)

Beberapa jenis bahan isolator yang telah kita kenal antara lain ebonit, gelas dan sebagainya dapat diberi muatan listrik, jika digosok dengan bahan yang lain misalnya kain wol, sutera, kulit, rambut dan sebagainya. Dalam kenyataannya bahwa muatan listrik ini terdapat 2 (dua) jenis muatan yang masing-masing muatan listrik positif dan muatan listrik negatif.

Muatan listrik yang dimasukkan atau digosokkan ke dalam bahan isolator ini tidak dapat bergerak ke mana-mana akan tetapi muatan tersebut akan tetap tinggal pada tempat di mana ia digosokkan. Oleh karena itu muatan tersebut dinamakan muatan listrik *elektro statis* atau disebut *listrik diam*.

Selain di dalam bahan-bahan isolator, juga di dalam bahan tersebut terdapat bahan pengalir atau logam yang dapat dimasukkan muatan listrik. Muatan tersebut tidak digosokkan seperti halnya dengan bahan isolator, akan tetapi bilamana bahan pengalir tersebut diberikan sejumlah elektron yang tertentu banyaknya. Di dalam kawat pengalir,

elektron-elektron tadi akan bergerak keseluruh permukaan secara merata. Oleh karena itu untuk mencegah agar elektron-elektron tadi tidak hilang atau lenyap begitu saja, maka bahan yang bermuatan elektron tadi harus diisolir terhadap bahan-bahan yang tidak bermuatan.

Dengan cara demikian terdapat juga muatan listrik elektro statis di dalam bahan atau kawat pengalir. Dari uraian tersebut di atas diturunkan sebuah definisi antara lain sebagai berikut :

Muatan listrik yang bermuatan sama saling tolak menolak dan muatan listrik yang tidak bermuatan sama saling tarik menarik.

Untuk mendapatkan suatu dasar, guna melakukan pengukuran-pengukuran, maka Coulomb menciptakan di dalam teorinya sebuah muatan listrik yang amat kecil, muatan mana terdapat di dalam sebutir bahan (berbentuk bola) yang amat kecil tak terhingga, karena sangat kecilnya muatan listrik diberi ukuran :

Satu satuan elektro-statis untuk muatan listrik dan disingkat : satu s.e.s muatan

Besarnya kekuatan tarik atau tolak yang terdapat antara dua bahan yang mengandung muatan listrik Q_1 dan Q_2 , sangat tergantung dari besarnya muatan tadi dan jarak antara kedua muatan Q_1 dan Q_2 . Berhubungan dengan itu Coulomb menetapkan suatu hukum untuk kekuatan elektro statis sebagai berikut :

$$K = \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

Dalam mana :

K = Kekuatan tarik atau tolak antara kedua muatan listrik yang diukur dengan satuan dyne

Q_1 dan Q_2 = Muatan listrik yang diukur dengan satuan s.e.s muatan

r = Jarak antara kedua muatan dalam satuan cm

Penetapan Coulomb : Jika dua muatan listrik Q_1 dan Q_2 yang berjarak 1 cm satu sama lain saling tarik menarik atau tolak menolak dengan

kekuatan sebesar 1 dyne, maka besarnya muatan Q_1 dan Q_2 masing-masing adalah 1 s.e.s muatan.

Pada bab yang terdahulu telah dibahas tentang besarnya muatan listrik ini yaitu sama artinya dengan jumlah listrik dan ditentukan dengan satuan praktis untuk muatan dalam Coulomb (C), yaitu sejumlah elektron yang dipindahkan oleh arus listrik sebesar 1 Amper selama 1 detik atau

$$1 \text{ Coulomb} = 3 \times 10^9 \text{ s.e.s muatan}$$

dari hukum Coulomb :

$$K = \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

Jika kedua muatan itu berada di dalam udara, ini berarti di antara kedua muatan tadi terdapat bahan isolator yang berupa udara, dan bila udara tadi diganti dengan bahan isolator yang lain misalnya ebonit, gelas, mika dan sebagainya, ternyata bahwa K mempunyai nilai lebih kecil. Bahan isolator tersebut pada umumnya disebut bahan dielektrikum. Angka tetap adalah suatu bilangan yang menunjukkan berapa kali K bertambah kecil. Kalau/jika dielektrikum udara diganti dengan jenis lain maka angka tersebut di atas disebut angka dielektrikum dan diberi simbol dengan huruf Yunani "ε" (baca : Epsilon)

Sehingga rumus K di atas berubah menjadi :

$$K = \frac{Q_1 \times Q_2}{\epsilon r^2}$$

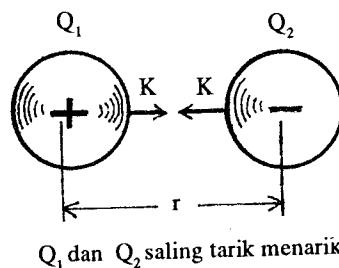
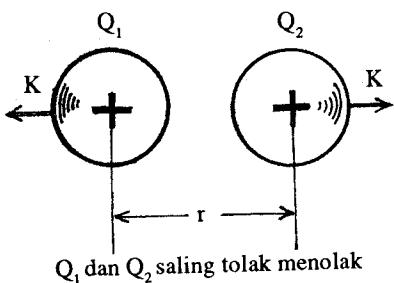
Tabel-tabel
Angka Dielektrikum

Bahan	
Ebonit	2 – 3,5
Gelas	5 – 16
Bakelit	4,5
Karet	2,1 – 3,5
Marmer	6
Mika	5 – 8
Minyak	1,5 – 4,7
Kertas	1,8 – 2,6
Parafine	4,3 – 5,5
Porselin	4,5 – 6,5
Sirlak	2,6 – 3,7
Air suling	76 – 82

Kuat Lapang Elektro-Statis

Gambar-gambar di bawah ini menunjukkan dua buah muatan listrik yang akan mengeluarkan kekuatan-kekuatan terhadap satu sama lain.

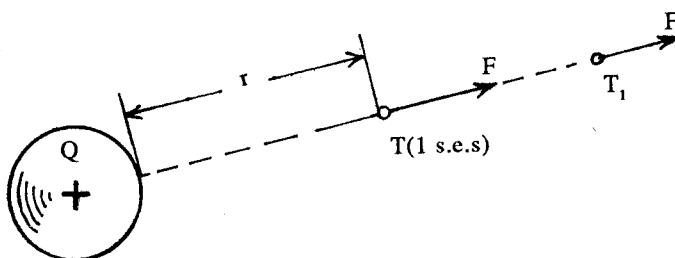
Pada gambar di atas muatan Q_1 mempunyai nilai yang sama dengan Q_2 sehingga timbul kekuatan saling tolak menolak. Sebaliknya jika muatan $Q_1 = Q_2$ maka terjadi kekuatan saling tarik menarik (lihat gambar di bawah ini) !



Ruangan disekitar muatan-muatan tadi ternyata berisi dengan semacam kekuatan-kekuatan dan tenaga-tenaga yang tidak dapat dilihat, tetapi dapat dirasakan. Kekuatan-kekuatan ini dinamakan lapangan elektro-statis dari muatan tersebut. Jika sebuah muatan diletakkan di dalam lapangan elektro statis akan ditolak atau ditarik dengan kekuatan dan arah yang tertentu. Dengan demikian ternyata bahwa lapangan elektro-statis atau lapangan listrik itu mempunyai :

- Kekuatan
- arah

sedangkan gambar di bawah ini menunjukkan sebuah bola yang mengandung muatan listrik positif. Dengan demikian disekitar bola tadi akan terdapat lapang (medan) listrik.



Jika pada suatu tempat titik T di dalam lapangan tersebut diletakkan suatu benda kecil dengan muatan listrik 1 s.e.s muatan dengan jarak r cm, maka benda tersebut akan ditolak dengan kekuatan sebesar F menurut arah panah yang digambarkan dengan anak panah.

Apabila kekuatan atau gaya F mempunyai kekuatan tolak sebesar 1 dyne, maka kuat lapang pada titik T adalah sebesar 1 Gauss listrik. Dari teori ini maka ditetapkan bahwa besarnya kuat lapang atau medan F pada suatu tempat di dalam lapang adalah sebagai berikut :

Sebuah benda dengan muatan listrik sebesar 1 s.e.s muatan, maka disekitar titik T akan dirasakan adanya suatu kekuatan tolak atau tarik sebesar 1 dyne, maka besarnya kuat lapang pada tempat tersebut adalah sebesar 1 Gauss listrik.

$$\text{atau : } 1 \text{ Gauss listrik} = \frac{1 \text{ dyne}}{1 \text{ s.e.s muatan}}$$

Dari gambar di atas, bila bola itu mempunyai muatan listrik sebesar Q dan jarak antara bola dengan titik T adalah r, menurut hukum Coulomb besarnya kekuatan tolak menolak antara bola dan benda kecil dengan muatan sebesar 1 s.e.s muatan adalah sebesar :

$$K = \frac{Q \times 1. \text{ s.e.s muatan}}{\epsilon r^2}$$

$$\text{atau : } K = \frac{Q}{\epsilon r^2}$$

Kekuatan K dalam hal ini sama artinya dengan kuat lapang F pada tempat T, sehingga dapat ditulis :

$$F = \frac{Q}{\epsilon r^2}$$

Dalam mana :

F = Kuat lapang di titik T dalam satuan Gauss listrik

Q = Muatan listrik dari benda kecil diukur dengan satuan s.e.s. muatan

r = Jarak antara benda kecil dengan titik T dalam satuan cm

Bab 9

Bilangan Komplex

Sebutan Secara Simbolis

Bilangan Wujud

Bilangan wujud itu dapat dibagi menjadi :

Bilangan wujud > 0 atau bilangan positif

Bilangan wujud < 0 atau bilangan negatif

Dengan bilangan ini dapat digunakan untuk penjumlahan, perkalian, pengurangan, pembagian, penaikan tingkat dan penarikan akar. Bilangan wujud itu dapat digambarkan secara grafis dengan memakai sepotong garis lurus secara mendatar. Pada garis ini ditetapkan titik mula "O". Bilangan yang terletak disebelah kanan titik "O" adalah bilangan-bilangan yang positif, sedangkan semua bilangan yang terletak di sebelah kiri titik "O" adalah bilangan yang negatif.

-4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4

Contoh :

Bilangan wujud yang dijumlahkan

$$2 + 3 = 5$$

Bilangan wujud yang dikurangkan

$$8 - 3 = 5$$

Bilangan wujud yang dikalikan

$$2 \times 5 = 10$$

Bilangan wujud yang dibagi

$$8/2 \text{ atau } \frac{8}{2} = 4$$

Bilangan wujud yang dikuadratkan $2^2 = 4$ atau $(-3)^2 = 9$

Bilangan wujud yang ditarik di bawah tanda akar

$$\sqrt{9} = \pm 3 <_3$$

Jika kita harus menarik bilangan negatif di bawah tanda akar

$$\sqrt{-9}$$

berapa hasilnya ?

-3 (tidak mungkin)

$$\sqrt{-9}$$

+3 (juga tak mungkin)

Bentuk seperti ini disebut bilangan khayal dan diberi tanda dengan huruf "i" dalam tekanan listrik pakailah tanda huruf "j". Akar tingkat dua dari bilangan wujud negatif menghasilkan bilangan khayal "i" atau "j".

$$\sqrt{-1} = j$$

Contoh :

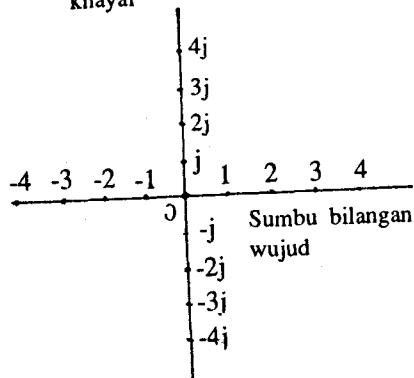
$$\sqrt{-3} = \sqrt{-1} \cdot \sqrt{3} = j\sqrt{3}$$

$$\sqrt{-4} = \sqrt{-1} \cdot \sqrt{4} = 2j$$

$$\sqrt{-9} = \sqrt{-1} \cdot \sqrt{9} = 3j$$

Seperti halnya pada bilangan wujud, bilangan khayal pun dapat dilukiskan secara grafis.

Sumbu bilangan khayal



- a. Bilangan khayal positif yaitu bilangan khayal > 0
- b. Bilangan khayal negatif yaitu bilangan khayal < 0

Rumus :

$$\begin{aligned}j^2 &= j \cdot j = \sqrt{-1} \cdot \sqrt{-1} = -1 \\j^3 &= j \cdot j \cdot j = -j \\j^4 &= j^2 \cdot j^2 = -1 \cdot -1 = 1\end{aligned}$$

Bilangan Campuran

Bilangan hayal yang dikalikan dengan atau dibagi oleh bilangan wujud, maka akan menghasilkan bilangan khayal.

$$j \times 3 = 3j$$

$$j \times 3a = aj$$

$$j : 5 = 1/5 j$$

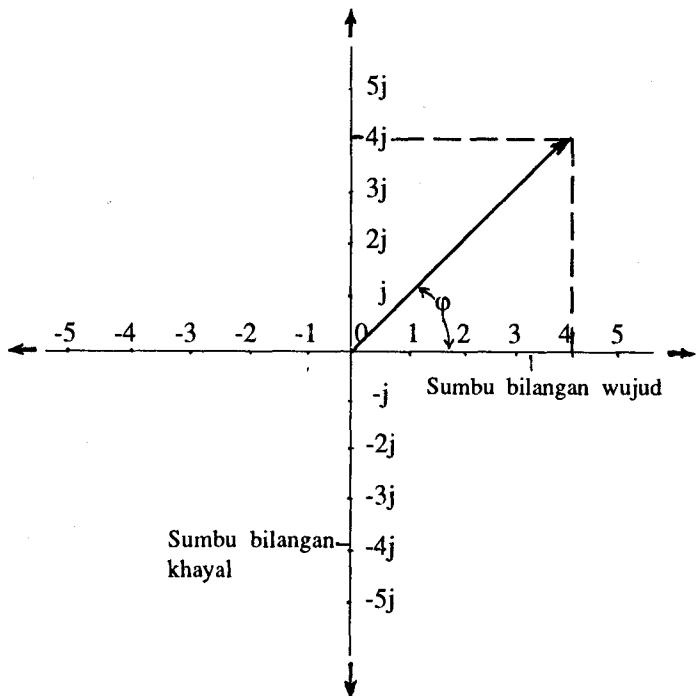
$$j : b = 1/b j$$

Jika bilangan hayal ditambah atau dikurangi dengan bilangan wujud tidak menghasilkan bilangan wujud melainkan suatu bilangan campuran.

Contoh :

$$\begin{aligned}3 + 2j \\a + jb\end{aligned}$$

secara grafik bilangan campuran ini tidak berbentuk garis horizontal maupun garis vertikal dan biasanya berbentuk garis condong (lihat gambar di bawah ini) !



Sumbu bilangan khayal

Sumbu bilangan wujud

φ disebut argumen
Garis $O\Delta$ merupakan nilai mutlak atau modulus. Perhitungan yang lazim dikerjakan dengan bilangan wujud, dapat dikerjakan dengan bilangan campuran. $(4+4j)$, maka nilai mutlaknya

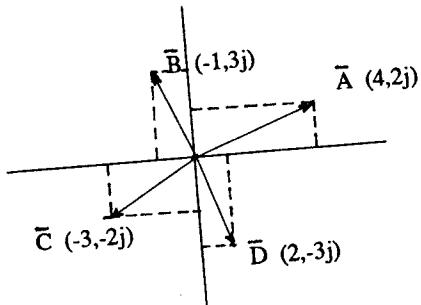
$$M = \sqrt{4^2 + 4^2} = \sqrt{16 + 16} = \sqrt{32} = 4\sqrt{2}$$

Contoh :

$$(a + jb)(a - jb) = a^2 - j^2 b^2 = a^2 + b^2$$

$$\begin{aligned}(a + jb)^2 &= a^2 + 2jab + j^2 b^2 \\ &= a^2 - b^2 + j2ab\end{aligned}$$

Sebutan Secara Symbolis



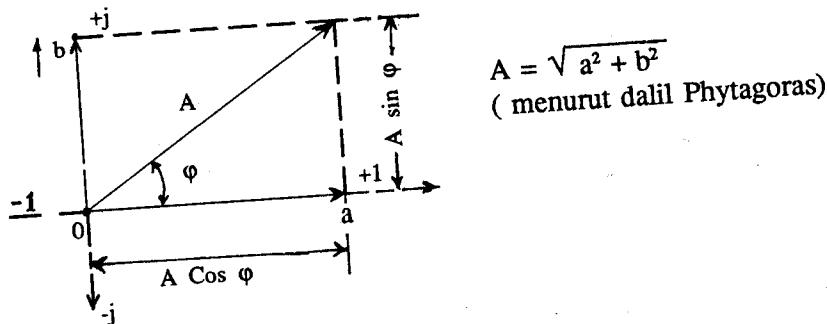
$$\begin{aligned}\bar{A} &= 4 + 2j \\ \bar{B} &= -1 + 3j \\ \bar{C} &= -3 - 2j \\ \bar{D} &= 2 - 3j\end{aligned}$$

Bilangan Campuran Gonometri

Garis di bawah ini menunjukkan vektor A yang dapat disebut dengan bilangan campuran

$$A = a + jb \text{ (bentuk cartesian)}$$

Nilai mutlak atau modulus dari vektor (\bar{A}) adalah A



Arah vektor A ditetapkan oleh argumen

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{b}{a}$$

$$\sin \varphi = \frac{b}{A} = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad b = A \sin \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{a}{A} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad a = A \cos \varphi$$

Bilangan campuran dapat ditulis sebagai berikut :

$$\bar{A} = a + jb \rightarrow \text{karena} \quad a = A \cos \varphi$$

$$b = A \sin \varphi$$

$$\begin{aligned}\bar{A} &= a + \varphi b \\ &= A \cos \varphi + jA \sin \varphi \\ \bar{A} &= A (\cos \varphi + j \sin \varphi)\end{aligned}$$

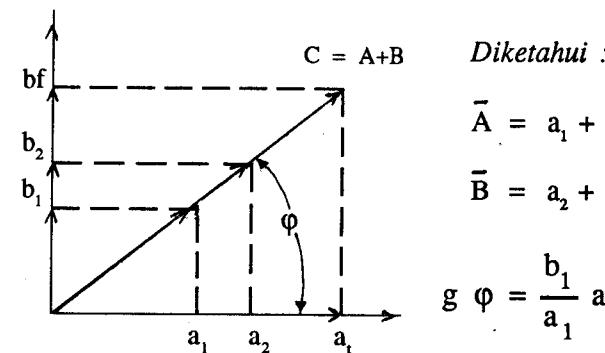
Bilangan campuran dapat ditulis dalam tiga bentuk :

$$\bar{A} = a + jb \rightarrow \text{(bentuk Cartesian)}$$

$$\bar{A} = A (\cos \varphi + j \sin \varphi) \rightarrow \text{(bentuk Polar)}$$

$$\bar{A} = Ae^{j\varphi} \rightarrow \text{(bentuk Exponensial)}$$

Hasil jumlah dua bilangan campuran :



Diketahui :

$$\bar{A} = a_1 + jb_1$$

$$\bar{B} = a_2 + jb_2$$

$$g \varphi = \frac{b_1}{a_1} \text{ atau } \frac{b_2}{a_2}$$

Ditanyakan : Hasil jumlah $\bar{C} = \bar{A} + \bar{B}$

$$\begin{aligned} \text{Perhitungan : } \bar{C} &= \bar{A} + \bar{B} \\ &= a_1 + jb_1 + a_2 + jb_2 \\ &= a_1 + a_2 + jb_1 + jb_2 \\ &= a_t + a_2 + j(b_1 + b_2) \end{aligned}$$

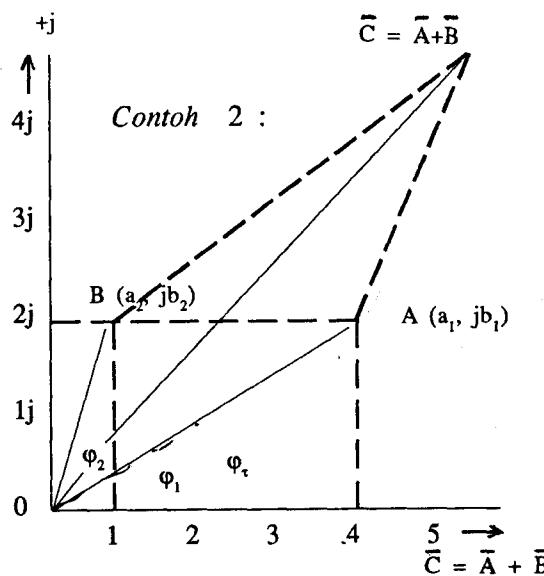
$$a_t = a_1 + a_2$$

$$b_t = b_1 + b_2$$

$$\bar{C} = a_t + jb_t$$

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{b_t}{a_t} \text{ atau } \frac{b_1}{a_1} \text{ atau } \frac{b_2}{a_2}$$



$$\bar{A} = a_1 + jb_1$$

$$\operatorname{tg} \phi_1 = \frac{b_1}{a_1}$$

$$\bar{B} = a_2 + jb_2$$

$$\operatorname{tg} \phi_2 = \frac{b_2}{a_2}$$

Hasil jumlah :

$$\bar{C} = (a_1 + a_2) + j(b_1 + b_2)$$

Dengan modulus

$$\begin{aligned} \bar{C} &= \sqrt{(a_1 + a_2)^2 + (b_1 + b_2)^2} \\ &= \sqrt{a_t^2 + b_t^2} \end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} \phi_t = \frac{b_t}{a_t} = \frac{b_1 + b_2}{a_1 + a_2}$$

Jika besarnya \bar{A} dan \bar{B} dimasukkan ke dalam persamaan di atas maka dapat diubah sebagai berikut :

$$\bar{A} = 4 = 2j \rightarrow \operatorname{tg} \phi_1 = \frac{2}{4} = 0,5 \quad \phi_1 = 27^\circ$$

$$\bar{B} = 1 + 2j \rightarrow \operatorname{tg} \phi_2 = \frac{2}{1} = 2 \quad \phi_2 = 63^\circ$$

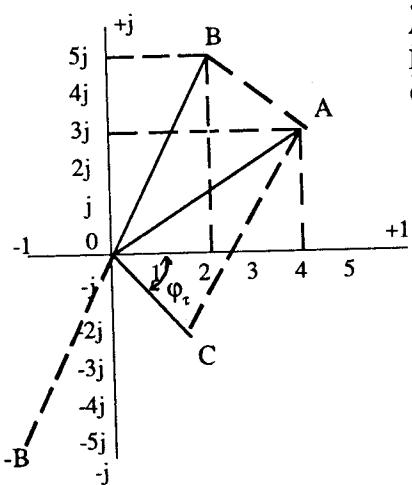
$$\begin{aligned} \bar{C} &= \bar{A} + \bar{B} = 4 + 1 + 2j + 2j \\ &= 5 + 4j \end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} \phi_1 = \frac{4}{5} = 0,8 \quad \phi_2 = 36^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Soal : } \bar{A} &= -1 + 2j & \bar{D} &= -j3 \\ \bar{B} &= 2 + 2j & \bar{E} &= 1 - 4j \\ \bar{C} &= 3 \end{aligned}$$

Ditanya : T (modulus) = ? (hasil jumlah)
Argumen = ?

Hasil beda dua bilangan campuran



$$\begin{aligned}\bar{A} &= 4 + j3 \\ \bar{B} &= 2 + 5j \\ \bar{C} &= \bar{A} - \bar{B} = ? \\ &= 4 + j3 - (2 + 5j) \\ &= 4 + 3j - 2 - 5j \\ &= 2 - 2j\end{aligned}$$

$$\text{Modul } C = \sqrt{2^2 + 2^2} = 2,83$$

$$\begin{aligned}\text{Argumen } C &= \tan \phi_t = \frac{-2}{2} = -1 \\ \phi_t &= -45^\circ\end{aligned}$$

Hasil kali dua bilangan campuran

$$\bar{A} = A \cos \varphi_1 + j A \sin \varphi_1 = a + jb$$

$$\bar{B} = B \cos \varphi_2 + j B \sin \varphi_2 = c + jd$$

$$\text{Bentuk } \bar{K} = \bar{A} \times \bar{B} = ?$$

$$\text{Jawab : } \bar{K} = \bar{A} \times \bar{B}$$

$$\begin{aligned}&= (A \cos \varphi_1 + j A \sin \varphi_1) \times (B \cos \varphi_2 + j B \sin \varphi_2) \\ &= AB \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + j AB \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + j AB \cos \varphi_1 \\ &\quad \sin \varphi_2 - AB \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 \\ &= AB [(\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - \sin \varphi_1 \sin \varphi_2) + j (\sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \\ &\quad + \cos \varphi_1 \sin \varphi_2)]\end{aligned}$$

Menurut rumus geometri :

$$\sin(\varphi_1 + \varphi_2) = \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + \sin \varphi_2 \cos \varphi_1$$

$$\cos(\varphi_1 + \varphi_2) = \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - \sin \varphi_1 \sin \varphi_2$$

Sehingga :

$$\bar{K} = \bar{A} \times \bar{B}$$

$$= AB [\cos(\varphi_2 + \varphi_1) + j \sin(\varphi_1 + \varphi_2)]$$

Hasil bagi dua bilangan campuran :

$$\text{Diketahui : } \bar{A} = A (\cos \varphi_1 + j \sin \varphi_1) = a + jb$$

$$\bar{B} = B (\cos \varphi_2 + j \sin \varphi_2) = c + jd$$

$$\text{Ditanyakan : } \bar{K} = \frac{\bar{A}}{\bar{B}} = \frac{A (\cos \varphi_1 + j \sin \varphi_1)}{B (\cos \varphi_2 + j \sin \varphi_2)}$$

$$= \frac{A}{B} \left\{ \frac{\cos \varphi_1 + j \sin \varphi_1}{\cos \varphi_2 + j \sin \varphi_2} \times \frac{\cos \varphi_2 - j \sin \varphi_2}{\cos \varphi_2 - j \sin \varphi_2} \right\}$$

$$= \frac{A}{B} \left\{ \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + j \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + j \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 + \sin \varphi_1 \sin \varphi_2}{\cos^2 \varphi_2 + \sin^2 \varphi_2} \right\}$$

$$= \frac{A}{B} \left\{ \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 + j \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 + j \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 + \sin \varphi_1 \sin \varphi_2}{1} \right\}$$

$$= \frac{A}{B} \left\{ [\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j \sin(\varphi_1 - \varphi_2)] \right\}$$

Besarnya arus bolak-balik yang mengalir ke dalam rangkaian bolak-balik ini adalah kuat arus pada tiap-tiap saat, yaitu :

$$i_R = \frac{e}{R}$$

atau $i_R = \frac{E_m \sin \omega t}{R}$

$$i_R = \frac{E_m}{R} \sin \omega t$$

Rumus i_R di atas menyatakan bahwa arus ini merupakan arus bolak-balik berbentuk sinus dengan harga puncak :

$$\frac{E_m}{R}$$

dan frekuensi putar ω (omega). Frekuensi putar ini sama besarnya dengan frekuensi putar dari tegangan e . Lain dari pada itu, bahwa kuat arus i_R adalah sefasa dengan tegangan e (E , perhatikanlah vektor diagram).

Faktor $\omega t = \alpha$ maka $\sin \omega t = 1$ dapat diubah menjadi

$$\sin \omega t = 1 \rightarrow \sin \alpha = 1$$

sehingga $\alpha = 90^\circ$, i_R akan mencapai harga puncaknya yaitu :

$$I_{R_m}, \text{ atau}$$

$$I_{R_m} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t = \frac{E_m}{R} \sin \alpha$$

$$I_{R_m} = \frac{E_m}{R} \sin 90^\circ = \frac{E_m}{R}$$

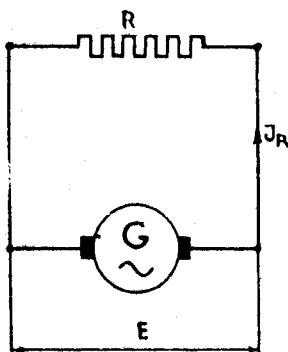
Bab 10

Tahanan Ohm (Resistansi) di dalam Rangkaian Arus Bolak-Balik

Jika sebuah tahanan Ohm "R" (Resistansi) dipasangkan pada generator G yang mengeluarkan tegangan bolak-balik sebesar :

$$e = E_m \sin \omega t$$

Rangkaian tersebut di atas dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 49.

Kalau ruas kanan dan kiri dengan 2 maka persamaan di atas menjadi :

$$\frac{I_{R_m}}{\sqrt{2}} = \frac{E_m}{R}$$

atau

$$I_R = \frac{E}{R}$$

Dalam mana :

I_R = Harga faedah dari arus bolak balik yang diukur dengan satuan Amper

E = Harga faedah dari tegangan bolak balik yang diukur dengan satuan Volt

R = Tahanan listrik yang diukur dengan satuan Ohm

Jika dalam rangkaian arus bolak balik terdapat tahanan (Resistansi "R") maka hukum Ohm dapat dipakai dengan cara yang sebagaimana berlaku untuk rangkaian arus searah. Ternyata tahanan R ini tidak dipengaruhi oleh sifat-sifat arus bolak-balik (baik itu perubahan arus, frekuensi dan sebagainya), dan tetap mempunyai harga nominal yang tertulis dan tertera pada tahanan tersebut.

Tahanan semacam itu dinamakan tahanan Ohm atau resistansi "R". Oleh karena itu arus bolak balik I_R mempunyai arah sefasa dengan tegangan bolak-balik E , dan arus tersebut mengeluarkan tenaga listrik (daya listrik) yang nyata sebesar :

$$I^2 R \quad \text{dalam satuan watt}$$

dan didalam waktu t akan melakukan juga pakerjaan yang nyata sebesar :

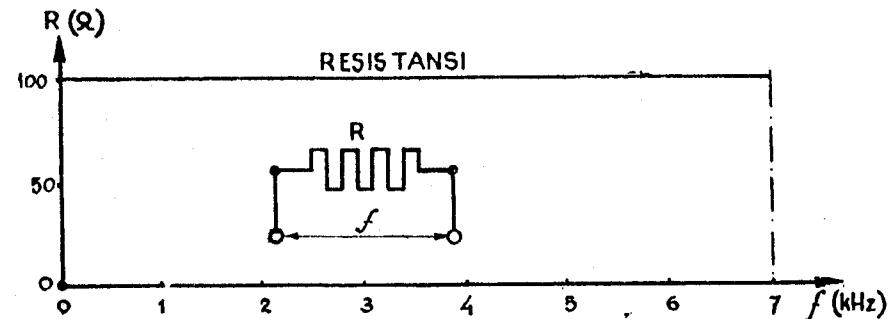
$$I^2 R t \quad \text{dalam satuan joule}$$

Resistansi R selalu digambarkan sebagai vektor yang terletak pada garis horizontal (vektor wujud/nyata). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa :

Arus bolak balik yang mengalir di dalam tahanan Ohm atau resistansi R adalah kuat arus yang berwatt.

Besarnya nilai tahanan dari sebuah Resistansi "R" tidak dipengaruhi oleh adanya frekuensi arus bolak-balik dan dapat dinyatakan dengan sebuah grafik R sebagai fungsi dari frekuensi atau :

$$R = f(f) \quad (\text{lihat gambar}) !$$



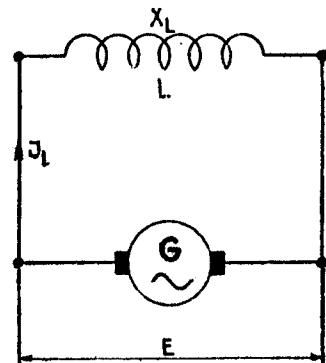
Garis absis/vertical mengukur besarnya frekuensi arus bolak-balik dalam KHz (Kilo Hertz). Sedangkan garis ordinat atau vertical mengukur besarnya nilai tahanan resistansi dalam satuan ohm (Ω). Jika sebuah tahanan Resistansi "R" dengan harga-nilai tertentu dan dihubungkan dengan sumber bolak-balik (AC) yang mempunyai harga frekuensi bermacam-macam (katakanlah menurut gambar) di atas, dari 0 sampai 10 KHz) maka harga tahanan tadi akan tetap tidak berubah.

Bab 11

Tahanan Induktif (Reaktansi Induktif)

Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah gulungan induksi (Spoel) yang mempunyai koefisiensi induksi diri "L" dihubungkan pada sumber tegangan arus bolak balik atau tegangan yang berbentuk sinus

$$(e = E_m \sin \omega t)$$



Dengan demikian gulungan tersebut akan dilalui arus listrik bolak balik (I_L), yang perlu kita pelajari dan diselidiki adalah bagaimana perubahan sifat-sifat dari arus I_L tersebut? Untuk dapat menjawab pertanyaan tersebut di atas diberitahukan bahwa di dalam gulungan induksi "L" telah mengalir arus bolak balik berbentuk Sinus yang besarnya menurut rumus :

$$i_L = I_{Lm} \sin \omega t \rightarrow i_L = I_{Lm} \sin 2\pi ft$$

$$\text{atau } i_L = I_{Lm} \sin \alpha$$

$$\text{Arus bolak balik } i_L = I_{Lm} \sin 2\pi ft$$

$$\text{atau } i_L = I_{Lm} \sin \omega t \text{ atau } i_L = I_{Lm} \sin \alpha$$

akan membangkitkan sejumlah garis gaya magnit (fluks) di dalam gulungan tersebut menurut rumus :

$$\Phi = L \cdot i_L$$

$$\text{Karena } i_L = I_{Lm} \sin 2\pi ft \text{ atau } i_L = I_{Lm} \sin \omega t$$

$$\text{atau } i_L = I_{Lm} \sin \alpha$$

Maka rumus di atas diubah menjadi :

$$\Phi = L \cdot i_L$$

$$\Phi = L \cdot I_{Lm} \sin \alpha = L \cdot I_{Lm} \sin \omega t$$

atau $\Phi = \Phi_m \sin \alpha$ (ingat pada teori cara-cara membangkitkan tegangan bolak balik berbentuk Sinus.

Garis gaya elektromagnetis (Φ) akan berubah-ubah menurut garis Sinus dengan harga puncak.

$$\Phi_m = L \cdot I_{Lm}$$

sebagaimana kita ketahui, bahwa besarnya tegangan induksi e_L ditetapkan dengan rumus :

$$e_L = -\frac{d\Phi}{dt} \quad 10^{-8} \text{ Volt}$$

karena $\Phi = L \cdot I_{Lm} \sin \omega t$

$$\text{Jadi : } e_L = -\frac{d(L \cdot I_{Lm} \sin \omega t)}{dt} \quad 10^{-8}$$

Faktor L merupakan suatu harga yang tetap, dapat dikeluarkan dari tanda kurung, sehingga terdapat bentuk sebagai berikut :

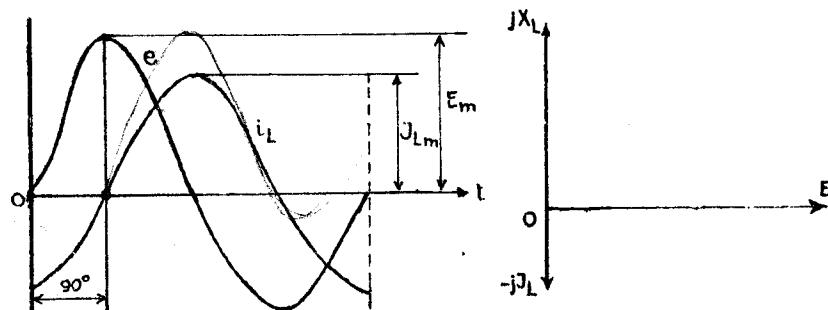
$$e_L = -L \frac{d(I_{Lm} \sin \omega t)}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

Besarnya tegangan bolak balik yang berasal dari generator sebesar

$$e = E_m \sin \omega t$$

dan dipasang pada gulungan induksi L akan mengalirkan arus bolak balik i_L akan terbelakang 90° terhadap tegangan "e" sehingga i_L tersebut mempunyai bentuk rumus sebagai berikut :

$$i_L = I_{Lm} \sin(\omega t - 90^\circ)$$



Harga puncak dari tegangan sumber adalah :

$$E_m = L \cdot I_{Lm} \cdot \omega$$

$$\text{Jadi } I_{Lm} = \frac{E_m}{L \cdot \omega}$$

Jika L_{Lm} dan E_m dibagi dengan faktor $\sqrt{2}$ (baca akar dua) maka terdapatlah harga-harga faedah untuk I_L dan E sehingga :

$$I_L = \frac{E}{\omega L}$$

Faktor ωL bersifat sebagai tahanan untuk arus bolak balik dan umumnya tahanan ini disebut reaktansi induktif dan diberi simbol dengan huruf X_L . Rumus di atas dapat diubah menjadi :

$$I_L = \frac{E}{X_L}$$

Karena $X_L = \omega L$ atau $X_L = 2\pi f L$

Sehingga rumus untuk I_L menjadi :

$$I_L = \frac{E}{X_L}$$

$$\text{atau } I_L = \frac{E}{\omega L} = \frac{E}{2\pi f L}$$

$$E = I_L \cdot X_L \quad \text{dan}$$

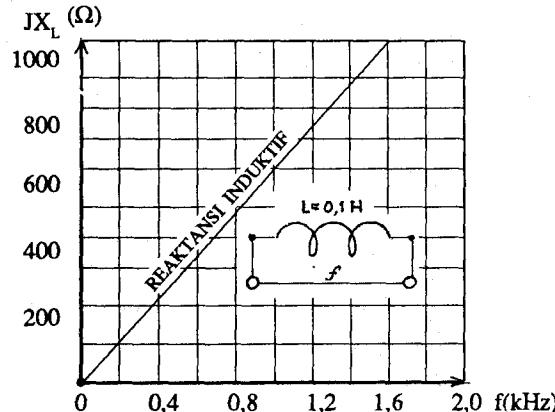
$$X_L = \frac{E}{I_L}$$

Dalam mana :

- I_L = Harga faedah dari kuat arus yang mengalir di dalam gulungan induksi diukur dengan satuan Amper
- E = Harga faedah dari tegangan sumber yang dihubungkan kepada gulungan induksi yang diukur dengan satuan Volt
- L = Koefisien induksi diri dari gulungan diukur dengan satuan Henry
- ω = Frekuensi putar dari generator yang diukur dengan satuan rad/detik

GRAFIK REAKTANSI INDUKTIF

Gambar di bawah ini menunjukkan suatu grafik reaktansi induktif yang merupakan hubungan antara reaktansi indutif " X_L " dengan frekuensi "f". Grafik tersebut dibuat untuk gulungan induksi dengan data koefisien induksi diri sebesar 0,1 Henry dan pada frekuensi yang meningkat dari 0 Hz sampai 1,6 KHZ (1600 Hz).



Contoh Soal :

- Sebuah gulungan induksi dengan koefisien induksi diri sebesar 1000 mH dihubungkan pada sumber tegangan bolak-balik sebesar 125,6 Volt dengan frekuensi 1000 Hz. Diminta menghitung berapa besarnya kuat arus yang mengalir di dalam gulungan tersebut ?

Jawab :

Diketahui : $L = 1000 \text{ mH} = 1000 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 1 \text{ H}$

$$E = 125,6 \text{ Volt}$$

$$f = 1000 \text{ Hz} = 10^3 \text{ Hz}$$

Ditanyakan : $I_L = ?$

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian} : X_L &= \omega L = 2\pi f L \\ &= 2 \cdot 3,14 \cdot 10^3 \cdot 1 \\ &= 6280 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi } I_L = \frac{E}{X_L} = \frac{125,6}{6280} = 0,02 \text{ A}$$

- Sebuah gulungan induksi mempunyai induksi diri 500 m Henry dihubungkan pada tegangan 100 Volt dengan frekuensi 50 Hz. Diminta menghitung besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam gulungan tersebut !

Jawab :

Diketahui : $L = 500 \text{ m Henry}$

$$E = 100 \text{ Volt}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Ditanyakan : $I = ?$

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian} : X_L &= 2\pi f L & L &= 500 \text{ mH} \\ &= 500 \cdot 10^{-3} \text{ Henry} \\ &= 0,5 \text{ Henry} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_L &= 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5 \\ &= 6,28 \times 50 \times 0,5 \\ &= 314 \times 0,5 \end{aligned}$$

$$\text{Jadi } I = \frac{E}{X_L} \quad I = \frac{100}{314 \times 0,5} = \frac{100}{314 \times \frac{5}{10}}$$

$$I = \frac{1000}{314 \times 5} = \frac{200}{314} = 0,637 \text{ A}$$

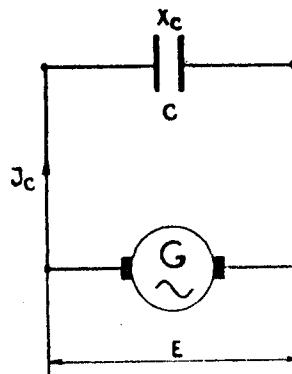
Bab 12

Reaktansi Kapasitif (Tahanan Kapasitif)

Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah kondensator "C" dihubungkan pada sumber tegangan arus bolak balik berbentuk sinus yang ditetapkan dengan rumus sebagai berikut :

$$e = E_m \sin \omega t$$

REAKTANSI KAPASITIF



Jika sebuah kondensator dihubungkan pada sumber tegangan arus searah, maka arus searah hanya dapat mengalir selama sesaat saja atau dalam waktu yang sangat pendek, yaitu pada saat kondensator sedang dalam keadaan diisi (charged). Kemudian ternyata arus searah menjadi nol. Dari teori ini terbukti bahwa arus searah (DC) tidak dapat melalui kondensator atau dengan lain perkataan bahwa kondensator memblokir arus searah. Menurut teori arus searah banyaknya muatan listrik ditetapkan dengan $Q = i \times t$ atau $i = \frac{Q}{t}$

Pada hakikatnya, kondensator tidak dilalui arus bolak balik, akan tetapi secara berganti-ganti diisi dalam arah positif dan negatif. Selama saat yang sangat pendek dt, kondensator ini diisi oleh harga saat dari arus bolak balik i_c . Jumlah listrik yang diisikan pada kondensator selama saat dt itu adalah :

$$dQ = i_c \cdot dt \quad (\text{rumus ini berasal dari } Q = i \times t)$$

$$i_c = \frac{dQ}{dt}$$

Karena $Q = c.e$, maka rumus di atas berubah menjadi sebagai berikut :

$$i_c = \frac{d(c.e)}{dt}$$

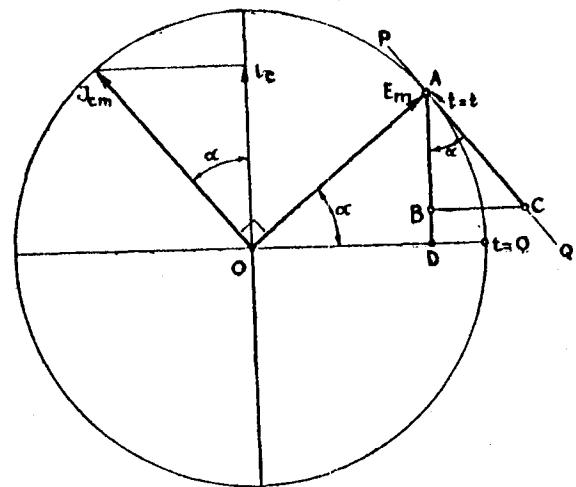
Dalam mana harga e merupakan harga saat dari tegangan bolak balik yang dikeluarkan oleh generator "G", menjadi $e = E_m \sin \omega t$, sehingga rumus i_c di atas dihitung menjadi sebagai berikut :

$$i_c = \frac{d(c.e)}{dt}$$

$$i_c = \frac{d(c \cdot E_m \sin \omega t)}{dt}$$

$$\text{atau : } i_c = C \cdot \frac{d(E_m \sin \omega t)}{dt}$$

Dengan memperhatikan gambar di bawah ini bahwa garis AD mempunyai harga $E_m \sin \omega t$



Selama saat yang relative sangat pendek (dt), ujung vektor \vec{A} senantiasa akan melintasi panjang busur sebesar :

$$\omega dt \text{ radial}$$

karena radial lingkaran mempunyai harga E_m maka :

$$dt \text{ radial} = \omega dt \cdot E_m$$

dan tegangan bolak balik menjadi :

$$d(E_m \sin \omega t)$$

Dari titik A kita tarik garis singgung PQ, yang kemudian kita buat segitiga ABC siku di titik B, maka berlakulah

$$AC = \text{perbesaran dari } \omega dt \cdot E_m$$

$$AB = \text{perbesaran dari } d(E_m \sin \omega t)$$

$$\angle BAC = \alpha$$

$$\text{Jadi } \cos \alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{d(E_m \sin \omega t)}{dt \cdot E_m}$$

$$\text{atau } E_m \omega \cos \alpha = \frac{d(E_m \sin \omega t)}{dt}$$

Dengan memperhatikan rumus i_c di bawah ini :

$$i_c = C \cdot \frac{d(E_m \sin \omega t)}{dt}$$

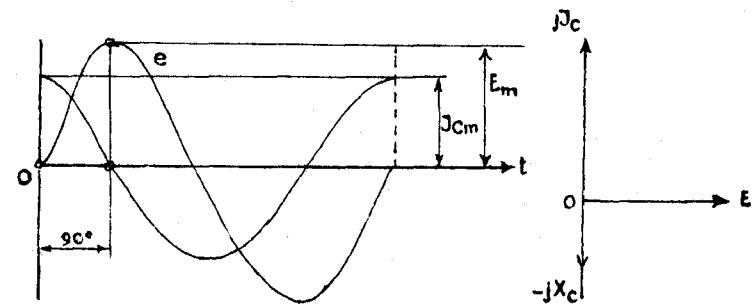
Maka faktor rumus tersebut dapat diubah menjadi :

$$\frac{d(E_m \sin \omega t)}{dt} \quad \text{yang terdapat di dalam}$$

$$i_c = C \cdot \frac{d(E_m \sin \omega t)}{dt}$$

$$\text{atau } i_c = C \cdot E_m \omega \cos \alpha$$

Gambar di bawah ini menunjukkan lengkung tegangan yang berbentuk sinus dan lengkung kuat arus yang berbentuk Cosinus, di mana kuat arus (i_c) akan mendahului tegangan dengan perbedaan fasa sebesar 90°



Pada saat sudut $\alpha = 0^\circ \rightarrow \cos \alpha$ atau $\cos 0^\circ = 1$, dengan demikian i_c ini akan mencapai harga puncaknya menjadi I_{cm} sehingga :

$$I_{cm} = C \cdot E_m \omega \cos \alpha$$

atau : $I_{cm} = C \cdot E_m \omega \cos 0^\circ \rightarrow \cos 0^\circ = 1$

$$I_{cm} = C \cdot E_m \omega \cdot 1$$

$$I_{cm} = C \cdot E_m \cdot \omega$$

Oleh karena itu rumus i_c akan menjadi :

$$\begin{aligned} i_c &= I_{cm} \cos \alpha \\ &= I_{cm} \cos \omega t \end{aligned}$$

Dengan sumber tegangan $e = E_m \sin \omega t$ yang dipasangkan pada kondensator C ini akan membuat kuat arus i_c mendahului terhadap tegangan C. Sehingga i_c berbentuk :

$$i_c = I_{cm} \sin (\omega t + 90^\circ)$$

Dari gambar vektor \vec{E}_m di atas, di mana i_c terlihat sebagai vektor \vec{E}_{cm} yang mendahului 90° di muka vektor \vec{E}_m . Sehingga I_{cm} ini dapat dituliskan dengan rumus :

$$I_{cm} = \frac{E_m}{\frac{1}{\omega c}}$$

Kalau I_{cm} dan E_m dibagi dengan $\sqrt{2}$ maka terdapatlah harga faedah I_c dan E sehingga :

$$I_c = \frac{E}{\frac{1}{\omega c}}$$

atau

$$I_c = \frac{E}{X_c}$$

atau : $E = I_c \cdot X_c$

atau :

$$X_c = \frac{E}{I_c}$$

atau :

$$X_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c}$$

Dalam mana :

I_c = Kuat arus bolak balik yang melalui kondensator, diukur dengan amper

E = Tegangan bolak balik yang dipasangkan pada kondensator diukur dengan Volt

C = Kapasitet kondensator diukur dengan satuan Farad

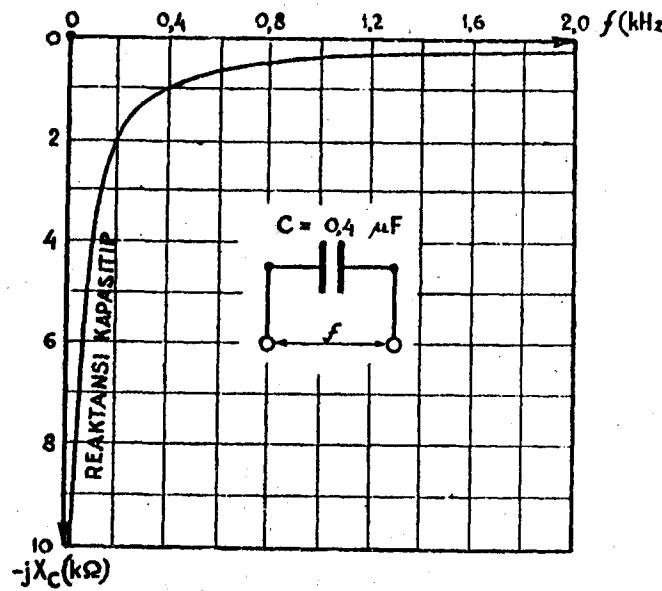
ω = Frekuensi putar dari arus bolak balik yang diukur dengan satuan radial/detik

X_c = Tahanan dari kondensator yang biasa disebut reaktansi kapasitif yang diukur dengan satuan Ohm (Ω)

Sebagaimana halnya pada reaktansi in'uktif harga tahanan ini juga sangat ditentukan oleh besar kecilnya frekuensi, demikian juga harga tahanan reaktansi kapasitif ini diengaruhi oleh frekuensi, sehingga perpaduan antara kedua faktor X_c dan f dapat berbentuk suatu grafik yang biasa disebut grafik X_c sebagai frekuensi atau :

$X_c = f(f)$. Gambar di bawah ini menunjukkan grafik dari sebuah

kondensator yang mempunyai kapasitet sebesar $0,4 \mu F$ dengan hanya frekuensi yang bervariasi antara 0 sampai dengan 2000 HZ.



Contoh Soal :

- Sebuah kondensator dengan kapasitet $4 \mu F$ dihubungkan pada tegangan bolak balik sebesar 200 Volt dengan frekuensi 50 HZ. Diminta menghitung berapa besar arus bolak balik yang mengalir ke dalam kondensator itu ?

Jawab :

$$\text{Diketahui} : c = 4 \mu F = 4 \cdot 10^{-6} F$$

$$E = 200 V$$

$$f = 50 \text{ HZ} ; \omega = 314 \text{ rad/det}$$

$$\text{Ditanyakan} : I_c = ?$$

$$\text{Penyelesaian} : X_c = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \\
 &= \frac{10^6}{2\pi \cdot 50} = \frac{10^6}{\pi \cdot 10^2} \\
 &= \frac{10^4}{\pi} = 796 \Omega
 \end{aligned}$$

$$I_c = \frac{E}{X_c} = \frac{200}{796} = 0,251 \text{ A}$$

- Sebuah kondensator dari $200 \mu F$ dihubungkan pada tegangan 10 Volt dengan frekuensi 100 HZ. Berapa besarnya kuat arus yang mengalir ke dalam kondensator ?

$$\text{Diketahui} : c = 200 \mu F = 200 \cdot 10^{-6} F$$

$$E = 10 \text{ Volt}$$

$$f = 100 \text{ HZ}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ditanyakan} : I_c &= (\text{kuat arus kondensator}) ? \\
 \text{Penyelesaian} :
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_c &= \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c} \\
 &= \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 200 \cdot 10^{-6}} \\
 &= \frac{10^6}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^4} = \frac{10^2}{4\pi} \\
 &= \frac{25}{\pi} \Omega
 \end{aligned}$$

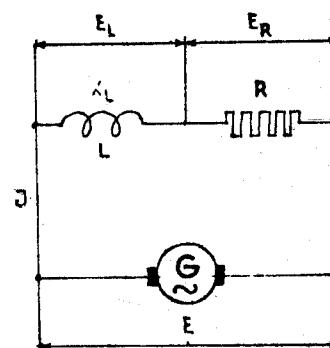
$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{E}{X_c} = \frac{10}{\frac{25}{\pi}} = \frac{10}{1} \times \frac{\pi}{25} \\
 &= \frac{2}{5} = 1,256 \text{ Amper}
 \end{aligned}$$

Bab 13

Hubungan Deret dengan Tahanan Ohm

1. Hubungan Deret dari Gulungan Induksi dengan Tahanan Ohm

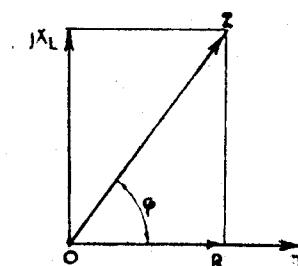
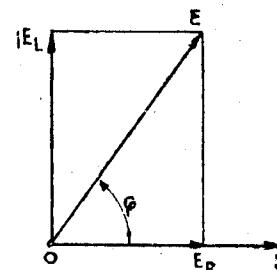
Gambar di bawah ini menunjukkan hubungan deret antara gulungan induksi (reaktansi induktif atau X_L) dengan tahanan Ohm (R), pada rangkaian ini dihubungkan pada sumber tegangan arus bolak-balik sebesar E Volt.



Kuat arus (I) yang mengalir ke dalam rangkaian ini mempunyai harga yang tetap yaitu I . Sedangkan untuk harga tegangan E nya akan terpecah menjadi dua komponen yang masing-masing :

- Komponen E_L yang terdapat pada jepitan gulungan reaktansi induktif (X_L)
- Komponen E_R yang terdapat pada jepitan resistansi (R)

Sedangkan gambar-gambar di bawah ini menunjukkan vektor diagram dari hubungan antara E_L (X_L), E_R (R) terhadap kuat arus (I).



Dengan memperhatikan gambar di atas bahwa vektor E_L (X_L) akan mendahului kuat arus I , sehingga vektor dari komponen ini dapat digambarkan sebagai vektor khayal positif (mempunyai arah positif di atas titik nol), sedangkan komponen E_R sefasa dengan kuat arus (I) yang dilukiskan sebagai vektor wujud.

Jika vektor $j\bar{E}_L$ dan \bar{E}_R dibagi oleh bilangan wujud I maka akan terdapat :

$$\frac{j\bar{E}_L}{I} = jx_L \quad \text{dan} \quad \frac{\bar{E}_R}{I} = R$$

Dengan demikian akan diperoleh vektor diagram yang menunjukkan hasil jumlah kedua tahanan X_L dan R dari rangkaian deret (seri). Secara vektoris dari hubungan kedua tahanan ini, dapat dituliskan dengan rumus :

$$\text{Tahanan jumlah} = \bar{R} + j\bar{x}_L$$

Biasanya tahanan jumlah ini dinamakan tahanan bayangan atau impedansi yang disingkat dengan huruf "Z" sehingga :

$$\text{karena } X_L = \omega L$$

$$\text{maka } \bar{Z}_s = \bar{R} + j\omega L \quad \bar{Z}_s = \bar{R} + j\bar{X}_L$$

Dengan memperhatikan vektor diagram di atas bahwa tegangan "E" dari generator akan mendahului terhadap kuat arus (I) sebesar $\angle \varphi^\circ$. Demikian pula tahanan impedansi Z akan mempunyai argumen sebesar $\angle \varphi^\circ$ positif. Nilai mutlak dari impedansi (modulus) dapat dihitung menurut dalil phytagoras

$$Z^2 = R^2 + X_L^2$$

$$\text{Karena } X_L = \omega L$$

$$\text{maka } Z^2 = R^2 + (\omega L)^2$$

$$Z_s^2 = R^2 + \omega^2 L^2$$

Sehingga besarnya Z_s sama dengan :

$$Z_s = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

dan argumennya :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L}{R}$$

Dalam teknik arus bolak balik juga berlaku hukum Ohm :

$$E = I \times Z_s$$

$$I = \frac{E}{Z_s}$$

$$\text{Karena } Z_s = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

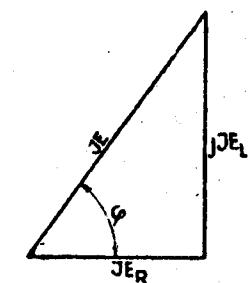
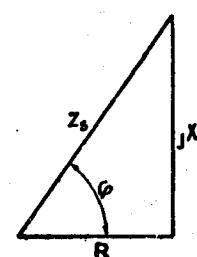
Maka kuat arus (I) yang mengalir ke dalam rangkaian seri ini sebesar :

$$I = \frac{E}{Z_s}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}}$$

$$\text{atau } I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

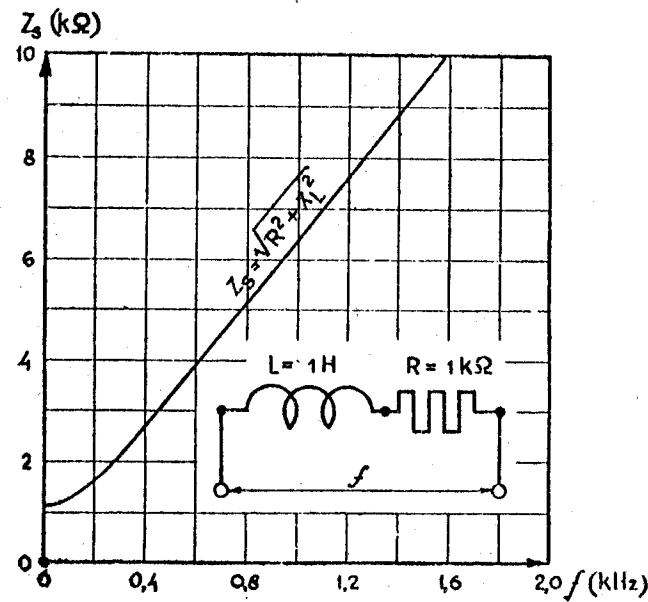
Dari gambar vektor diagram di atas dapat dibuat segi tiga tahanan dengan komponen sebagai berikut : Z_s sebagai hipotenusa, R sebagai sisi horizontal dan X_L sebagai sisi vertikal.



Grafik $Z_s = f(f)$

Besarnya impedansi Z_s sebagai fungsi dari frekuensi "f" terlihat pada grafik $Z_s = f(f)$. Grafik ini dibuat untuk sambungan seri antara L dan R di mana nilai $L = 1$ Henry dan $R = 1000$ ohm. Perlu diingat bahwa harga Z_s adalah nilai mutlak yang diperoleh dari rumus :

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



Dalam mana :

E = Tegangan sumber yang dipasang pada rangkaian debet dalam satuan volt.

I = Kuat arus yang mengalir ke dalam rangkaian dalam satuan amper.

E_L = Tegangan cabang pada ujung-ujung jepitan gul induksi (X_L)

E_R = Tegangan cabang pada ujung-ujung jepitan tahanan (R)

X_L = Tahanan induksi (reaktansi induktif) dalam satuan ohm (Ω)

R = Tahanan (resistansi) dalam satuan ohm (Ω)

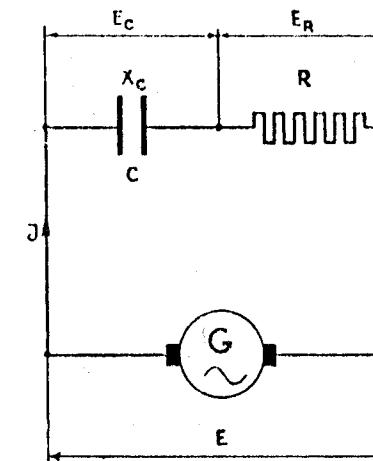
Z = Tahanan jumlah dalam rangkaian bolak-balik dari rangkaian deret/seri dalam satuan ohm (Ω)

ϕ = sudut ϕ (Phi) antara vektor Z dengan vektor wujud R dalam satuan ° (derajat)

ω = Frekuensi putar dalam satuan radial/detik.

2. Hubungan Deret dari Kondensator dan Tahanan Ohm

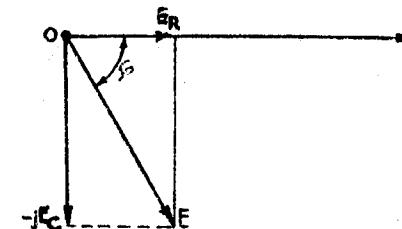
Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah kondensator (C) terhubung seri dengan sebuah tahanan ohm (R). Pada rangkaian ini dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik sebesar E "Volt". Kuat arus (I) yang mengalir ke dalam rangkaian ini mempunyai harga yang tetap (ingat sifat hubungan deret), sebaliknya untuk tegangan " E " dari sumber ini terpecah menjadi dua komponen, yaitu :



a. Komponen E_c yang terdapat pada ujung-ujung jepitan kondensator (C)

b. Komponen E_R yang terdapat pada ujung-ujung jepitan tahanan " R "

Untuk dapat menjelaskan hubungan arah antara E_R dan E_c perhatikanlah vektor diagram di bawah ini.



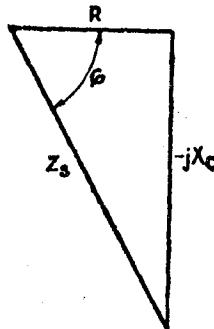
Komponen E_R sefasa dengan kuat arus (I), komponen E_c mengikuti 90° di belakang kuat arus (I), sehingga komponen E_c tersebut dapat dilukiskan sebagai vektor khayal negatif yang mempunyai arah ke bawah (di bawah titik 0). Dengan demikian vektor dari komponen E_c dituliskan dalam bentuk $-jE_c$. Jumlah vektoris dari kedua vektor tersebut akan menghasilkan tegangan generator "G".

$$\tilde{E} = \tilde{E}_R + (-j\tilde{E}_c)$$

Tegangan E merupakan bilangan campuran yang terdiri dari bilangan wujud \tilde{E}_R dan bilangan khayal $(-j\tilde{E}_c)$. Jika vektor-vektor \tilde{E}_R dan $-jE_c$ dibagi oleh bilangan wujud I maka akan terdapat :

$$\frac{\tilde{E}_R}{I} = \tilde{R} \text{ dan } \frac{-jE_c}{I} = -j\tilde{x}_c$$

Dengan demikian terdapatlah segitiga tahanan hubungan antara R dan $-jx_c$ sehingga akan menghasilkan tahanan jumlah (impedansi Z_s), lihat gambar !



Jadi : $\tilde{Z}_s = R + -jx_c$

atau $\tilde{Z}_s = R - jx_c$

karena $x_c = \frac{1}{\omega c}$

Maka $\tilde{Z}_s = R - \frac{1}{\omega c}$ atau $\tilde{Z}_s = R - jx_c$

Untuk mencari nilai mutlak dari impedansi Z_s dapat dihitung menggunakan dalil phytagoras (lihat segitiga tahanan di atas) !

$$Z_s^2 = R^2 + X_c^2$$

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

$$\text{atau } Z_s = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega c}\right)^2}$$

dan besarnya argumen sama dengan

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{-X_c}{R} \text{ atau } \operatorname{tg} \phi = -\frac{X_c}{R}$$

Besarnya kuat arus (I) yang mengalir ke dalam rangkaian tersebut di atas dapat ditentukan dengan hukum Ohm, sehingga :

$$I = \frac{E}{Z_s}$$

karena

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

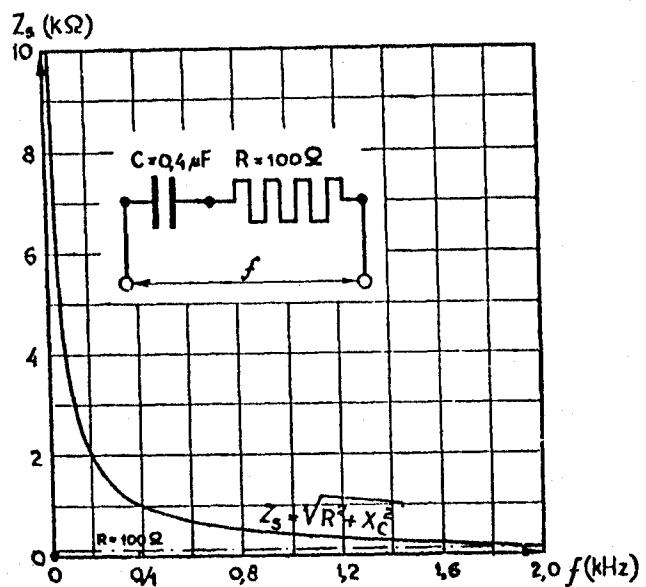
atau

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_c^2}}$$

atau

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \frac{I}{\omega^2 C^2}}}$$

Sedangkan gambar di bawah ini menunjukkan lengkung grafik Z_s sebagai fungsi dari frekuensi "f" atau $Z_s = f(f)$ untuk harga $C = 0,4 \mu F$ dan $R = 100 \Omega$. Garis grafik merupakan garis lengkung yang mendekati ordinat Z_s dan garis $R = 100 \Omega$.



Dalam mana :

E = tegangan sumber yang dipasang pada rangkaian deret dalam satuan Volt

I = Kuat arus yang mengalir ke dalam rangkaian dalam satuan amper

E_c = tegangan cabang pada ujung-ujung jepitan kondensator c

E_R = tegangan cabang pada ujung-ujung jepitan tahanan R

X_c = tahanan kapasitif (reaktansi kapasitif) dalam satuan ohm (Ω)

R = Tahanan (resistansi) dalam satuan ohm (Ω)

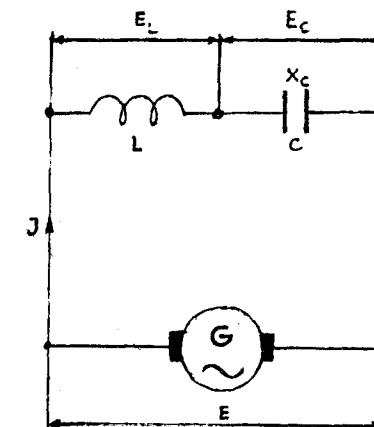
Z_s = Tahanan jumlah dalam rangkaian bolak balik dari rangkaian deret dalam satuan ohm (Ω)

3. Hubungan Deret antara Sebuah Kondensator (C) dari Gulungan (X_L)

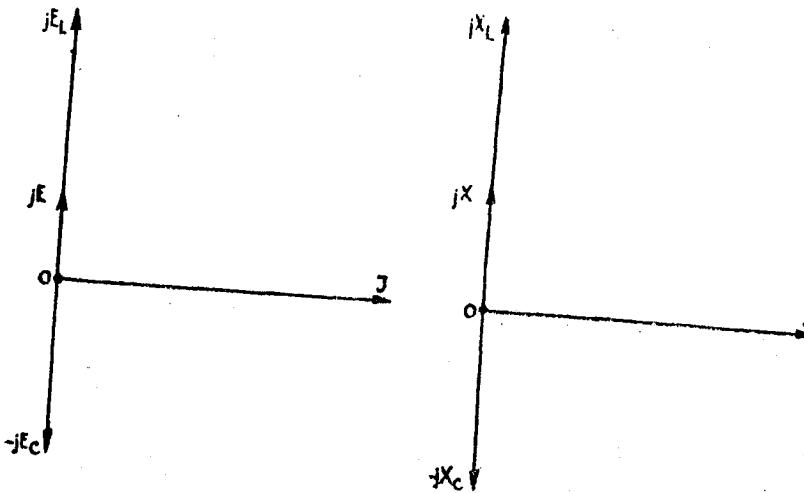
Gambar di bawah ini menunjukkan sebuah rangkaian deret yang terdiri dari sebuah kondensator (C) dan sebuah gulungan induktif (X_L), pada rangkaian ini dihubungkan sumber tegangan bolak balik "G" yang mengeluarkan tegangan sebesar E volt.

Sebagaimana pada sambungan deret yang terdahulu bahwa kuat arus (I) mempunyai harga yang tetap sebaliknya untuk harga tegangan E akan terbagi menjadi 2 (dua) bagian komponen, yang masing-masing sebagai berikut :

- Komponen E_L yang terdapat pada ujung-ujung jepitan reaktansi induktif X_L
- Komponen E_c yang terdapat pada ujung-ujung jepitan reaktansi kapasitif X_c



Komponen E_L akan mendahului kuat arus (I) sebesar 90° dan komponen E_C akan mengikuti (terbelakang) terhadap kuat arus (I) sebesar 90° . Untuk jelasnya perhatikan gambar-gambar vektor diagram di bawah ini :



Antara kuat arus (I) dan tegangan-tegangan tadi akan menggambarkan vektor diagram campuran, di mana I merupakan vektor wujud (riil), E_L merupakan vektor khayal positif dan E_C merupakan vektor khayal negatif. Sedangkan tegangan jumlah " E " merupakan jumlah dari kedua vektor tegangan \bar{E}_L dan \bar{E}_C (secara aljabar). Ini artinya panjang vektor E_C dikurangkan terhadap panjang vektor \bar{E}_L . Jika dari hasil pengurangan ini ternyata vektor \bar{E} terletak berada pada garis berwujud khayal positif, maka kuat arus (I) dikatakan I mengikuti di belakang tegangan generator E ini berarti bahwa jumlah tahanan dan rangkaian ini bersifat induktif. Hal ini disebabkan karena reaktansi induktif X_L nya mempunyai harga yang lebih besar jika dibandingkan dengan reaktansi kapasitif (X_C). (Perhatikan vektor diagram di bawah ini) !

Jika vektor-vektor \bar{E}_L dan \bar{E}_C masing-masing dibagi dengan bilangan wujud I maka terdapatlah :

$$\frac{\bar{E}_L}{I} = \bar{X}_L \text{ dan } \frac{\bar{E}_C}{I} = \bar{X}_C$$

Vektor-vektor \bar{X}_L dan \bar{X}_C ini merupakan vektor-vektor khayal. Untuk X_L adalah vektor bilangan khayal positif dan \bar{X}_C adalah vektor bilangan khayal negatif.

Jumlah secara matematis antara $j\bar{X}_L$ dan $j\bar{X}_C$ akan menghasilkan bilangan khayal positif $j\bar{X}$, vektor ini merupakan jumlah kedua reaktansi tersebut di atas.

$$j\bar{X}_L + (-j\bar{X}_C)$$

$$\text{atau } j(\bar{X}_L - \bar{X}_C)$$

Dari pernyataan di atas bahwa X ini bersifat induktif karena $\bar{X}_L > \bar{X}_C$

$$jX = j\bar{X}_L - j\bar{X}_C$$

$$\text{atau } jX = j(\bar{X}_L - \bar{X}_C)$$

$$jX = J (\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

Besarnya kuat arus (I) dapat dihitung dengan rumus :

$$\frac{jE}{jX} = \frac{jE}{j(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

atau

$$I = \frac{E}{(\omega L - \frac{1}{\omega C})}$$

$$E = I (\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

Jika $-jX_C$ mempunyai harga lebih besar daripada jX_L , maka reaktansi jumlahnya akan bersifat kapasitif, dalam rumus bentuknya sebagai berikut :

$$- jX = (X_L - X_C)$$

Bentuk umum rumusnya menjadi sebagai berikut :

$$jX_L - jX_C = \pm jX$$

Resonansi

Jika harga dari reaktansi jumlah itu dapat berharga positif maupun negatif, sudah barang tentu ada juga reaktansi yang berharga nol, jadi $X = 0$, ini berarti secara matematis ataupun vektoris, nilai $X_L = X_C$

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

Keadaan semacam ini disebut dalam keadaan resonansi. Frekuensi yang terjadi pada waktu itu disebut frekuensi resonansi (fr). Untuk menghitung besarnya frekuensi resonansi yang terjadi dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$X_L = X_C$$

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

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

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\omega = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\text{Karena } \omega = 2\pi f$$

rumus berubah menjadi :

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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

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

Contoh Soal :

Sebuah kondensator mempunyai kapasitet $C = 0,4 \mu F$ dihubungkan seri dengan sebuah gulungan induktif yang mempunyai koefisien induksi diri $L = 1 \text{ H}$. Diminta menghitung besarnya frekuensi resonansi.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} & : & C &= 0,4 \mu F = 0,4 \cdot 10^{-6} F \\ & : & L &= 1 \text{ Henry} \end{aligned}$$

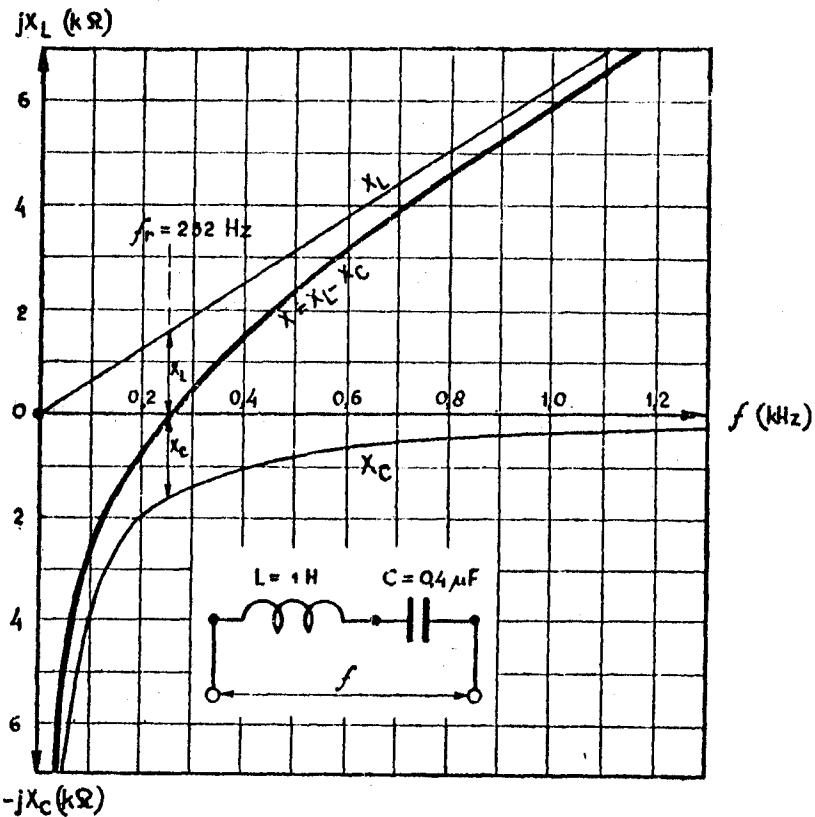
$$\text{Diminta} : fr = ?$$

$$\text{Jawab} : fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\begin{aligned} fr &= \frac{1}{2\pi\sqrt{1 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6}}} \\ &= 252 \text{ Hz} \end{aligned}$$

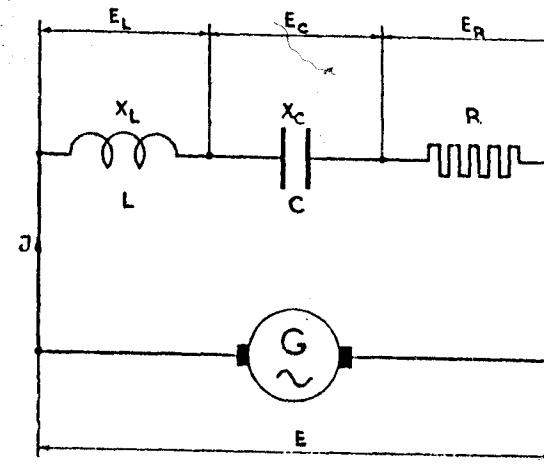
Gambar di bawah ini menunjukkan grafik resonansi dari sambungan seri L-C. Dalam grafik di mana garis reaktansi ($X_L - X_C$) melintasi sumbu nol pada saat frekuensi mencapai 252 Hz. Pada titik

frekuensi ini panjang vektor X_L sama dengan panjang X_c . Saat frekuensi 0 sampai $f = f_r$ reaktansi bersifat kapasitif-kapasitif, pada frekuensi-frekuensi yang lebih tinggi daripada f_r , reaktansi bersifat induktif.



4. Hubungan dari Tahanan Reaktansi Induktif, Tahanan Reaktansi Kapasitif dan Tahanan Ohm

Gambar di bawah ini menunjukkan sambungan seri yang terdiri dari 3 (tiga) komponen yang masing-masing reaktansi induktif (X_L), reaktansi kapasitif (X_c) dan tahanan (R).



Rangkaian ini dihubungkan pada sumber tegangan "G" sebesar E Volt. Seperti halnya pada rangkaian seri yang lain, rangkaian juga berlaku peraturan dasar di mana kuat arus (I) yang mengalir ke dalam rangkaian ini mempunyai harga yang tetap. Tetapi untuk harga tegangannya terbagi menjadi 3 (tiga) cabang atau komponen yang masing-masing :

- Komponen E_L (tegangan induktif) yang terdapat pada ujung-ujung jepitan reaktansi induktif (X_L) dan sebagai bilangan khayal positif.
- Komponen E_c (tegangan kapasitif) yang terdapat pada ujung-ujung jepitan reaktansi kapasitif (X_c) dan sebagai bilangan khayal negatif.
- Komponen E_R (tegangan wujud) yang terdapat pada ujung-ujung jepitan tahanan R dan sebagai bilangan wujud (R).

Jumlah impedansi sambungan ini diperoleh dari jumlah ketiga tahanan yaitu R sebagai bilangan wujud dan reaktansi $jX = jX_L - jX_c$ sebagai bilangan khayal sehingga :

$$\bar{Z}_S = R \pm j (X_L - X_c)$$

karena $X_L = \omega L$

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

maka bentuk rumus di atas berubah menjadi :

$$\bar{Z}_s = R \pm j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

Nilai mutlak dari modulus Z_s adalah :

$$Z_s = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

dan argumennya :

$$\tan \phi = \pm \frac{X}{R}$$

Di mana harga X ini merupakan selisih dari X_L dan X_C .

$$X = X_L - X_C$$

Jika harga $\tan \phi$ itu bertanda positif, maka impedansi Z bersifat induktif (E mendahului I), sebaliknya jika $\tan \phi$ bertanda negatif, maka impedansi Z bersifat kapasitif (E mengikuti I) dengan demikian berlaku hukum Ohm untuk rangkaian ini, sehingga besarnya kuat arus (I) dapat dihitung dengan rumus :

$$I = \frac{E}{Z_s}$$

karena $Z_s = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$

maka rumus di atas berubah menjadi :

$$I = \frac{E}{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$$

RESONANSI SERI

Besarnya reaktansi dari sambungan seri X_L , X_C dan R ditentukan oleh rumus :

$$jX = \pm j(X_L - X_C)$$

$$\text{atau : } jX = \pm j(\omega L - \frac{1}{\omega C})$$

Untuk tiap-tiap sambungan L-C-R seri dengan harga-harga L dan C tertentu, selalu terdapat satu frekuensi di mana :

$$jX_L = -jX_C$$

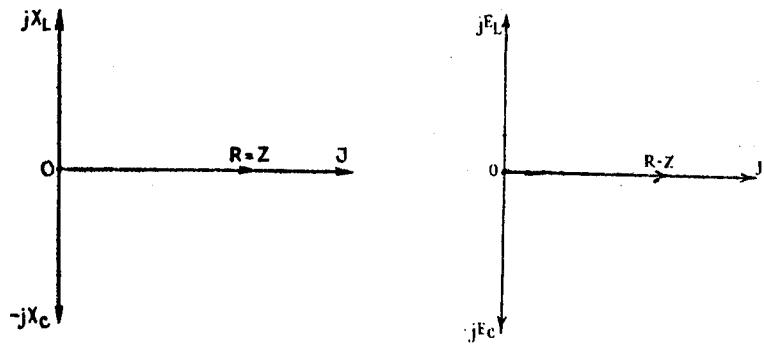
Keadaan seperti ini dinamakan keadaan resonansi. Oleh karena itu :

$$jX_L - jX_C = 0$$

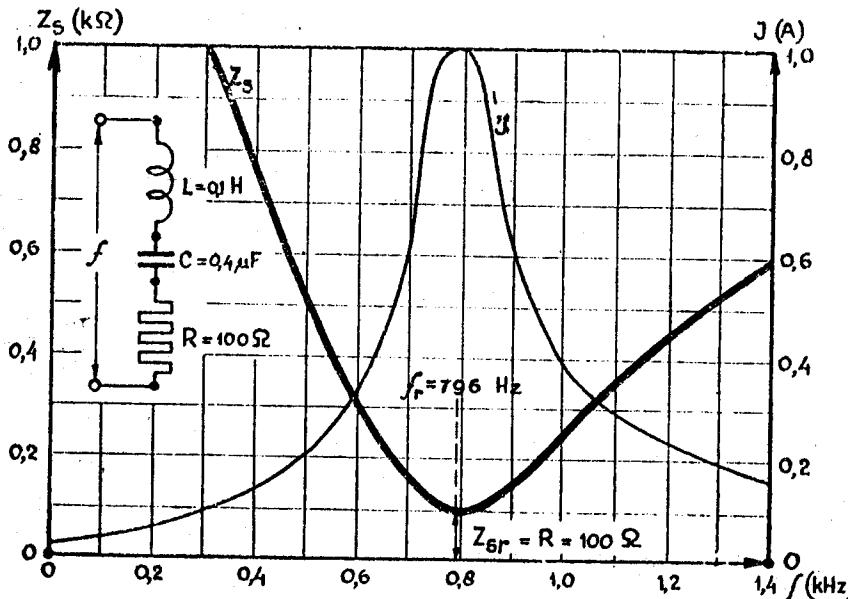
maka impedansi resonansinya menjadi :

$$Z_s \text{ resonansi} = R$$

Keadaan resonansi seperti di atas dapat dilukiskan dengan vektor diagram, di mana panjang vektor $R =$ vektor Z . Impedansi resonansi Z_s resonansi merupakan harga minimum, oleh sebab itu kuat arus (I) yang mengalir ke dalam keadaan resonansi dari lingkaran L-C-R ini adalah maksimum.



Gambar di bawah ini menunjukkan impedansi Z_s sebagai fungsi dari frekuensi f atau $Z_s = f(f)$. Grafik tersebut dibuat untuk harga-harga $L = 0,1$ Henry, $C = 0,4\mu F$ dan $R = 100$ Ohm. Dengan memperhatikan grafik tersebut pada saat frekuensi mencapai harga $f = 796$ Hz maka keadaan resonansi tercapai.



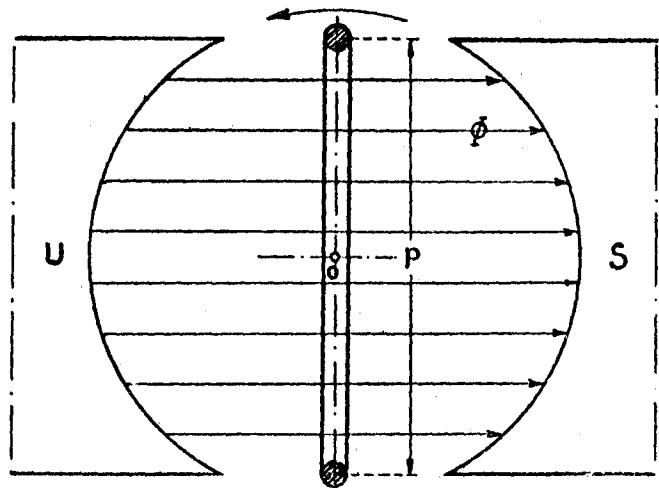
Bab 14

Tegangan Bolak Balik

1. Membangkitkan Tegangan Bolak Balik Berbentuk Sinus

Untuk membangkitkan dan memperoleh tegangan bolak-balik dapat menggunakan sebuah generator.

Gambar di bawah ini menunjukkan satu gulung kawat yang dipasang sedemikian rupa berada di dalam lapangan magnetis yang serba homogen atau gulungan tersebut di bawah pengaruh garis gaya magnit yang dihasilkan oleh interaksi sepasang kutub magnit utara dan selatan. Gulungan kawat tersebut berputar pada sebuah poros O, hal ini akan menyebabkan perubahan jumlah fluks terlingkar atau garis gaya yang melingkari gulungan tadi.



Dalam keadaan seperti ini jumlah fluks yang terlingkar adalah maksimum. Tetapi sesudah pada putaran dengan sudut 90° , fluks terlingkarnya menjadi nol. Dengan sudut lebih besar dari 90° , maka fluks yang terlingkar menjadi maksimum. Pada sudut putaran 270° fluks terlingkarnya menjadi nol, selanjutnya pada sudut 360° gulungan tersebut kembali dalam keadaan semula.

Besarnya tegangan bolak balik induksi yang dibangkitkan dalam gulungan kawat tersebut ditentukan dengan rumus :

$$e = - \frac{-d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

Faktor $\frac{d\Phi}{dt}$: disebut kecepatan perubahan fluks terlingkar.

Jika panjang gulungan dimisalkan p dan lebar gulungan l , maka luas gulungan kawat tersebut adalah :

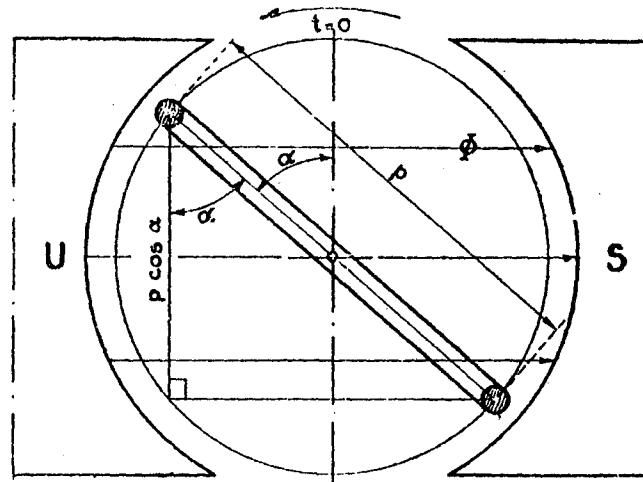
$$F = p \times l$$

Jumlah garis gaya (fluks) maksimum yang dapat dilingkari oleh

gulungan adalah :

$$\Phi_{\text{maks}} = H \times F \text{ dalam satuan Maxwell}$$

H adalah kuat medan di dalam lapangan magnetis yang serba homogen dan diukur dengan oersted. Gambar di bawah ini menunjukkan gulungan kawat yang berputar menurut arah anak panah dan besarnya fluks terlingkar akan ditentukan oleh proyeksi dari panjang gulungan p , dan lebar gulungan l tidak berubah.



Jika gulungan kawat yang sudah berputar sejauh sudut α , maka proyeksi p menjadi :

$$p \cos \alpha$$

Luas bidang gulungan kawat yang dilalui oleh fluks terlingkar akan menjadi :

$$l \times p \cos = F \cos \alpha$$

Banyaknya garis gaya yang terlingkar, pada keadaan ini adalah :

$$\Phi = H \times F \cos \alpha$$

karena $H \times F$ adalah garis gaya (fluks) dalam harga maksimum (Φ_m), maka rumus tersebut di atas menjadi :

$$\Phi = \Phi_m \cos \alpha$$

karena $\alpha = \omega t$

maka Φ di atas berubah menjadi :

$$\Phi = \Phi_m \cos \alpha$$

$$\text{atau } \Phi = \Phi_m \cos \omega t$$

Rumus Φ tersebut di atas menunjukkan harga perubahan jumlah fluks terlingkar menurut garis cosinus dengan harga puncak maksimum Φ_m dan kecepatan putaran sudut.

Gambar di bawah ini menunjukkan vektor berputar di mana perubahan fluks terlingkar dengan Φ_m sebagai modulus dalam keadaan waktu $t = 0$.

Dalam gambar tampak vektor Φ_m telah bergerak sebesar sudut α° dengan kecepatan.

Panjang busur yang dilalui ujung vektor tersebut adalah selama waktu "t".

$$\omega t = \alpha$$

Pada saat waktu $t = t$, ujung vektor sudah sampai pada titik A dan fluks terlingkar adalah :

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t$$

Besarnya tegangan induksi yang terjadi pada saat itu adalah sebesar

$$e_{in} = -\frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

karena $\Phi = \Phi_m \cos \omega t$

maka rumus di atas berubah menjadi :

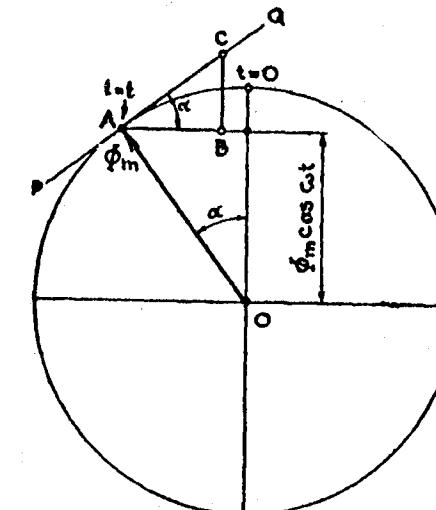
$$e_{in} = -\frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

$$e_{in} = -\frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

Untuk dapat menyelesaikan rumus di atas kita pecahkan bentuk faktor :

$$\frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{dt}$$

Jika dari titik A ditarik garis singgung p-Q, maka garis singgung tersebut merupakan arah dari busur lingkaran yang dijalani oleh ujung vektor selama waktu yang sangat pendek (dt).



Pada saat dt (baca Delta-te) panjang busurnya adalah :

$$\omega \cdot dt \text{ radial}$$

atau

$$\omega \cdot dt \cdot \Phi_m$$

Dalam segitiga ABC garis PQ merupakan arah hypotenusa, garis AC merupakan suatu perbesaran dari panjang busur sangat kecil $\omega \cdot dt \cdot \Phi_m$. Garis BC adalah suatu perbesaran dari perubahan fluks terlingkar yang sangat kecil :

$$- d(\Phi_m \cos \omega t)$$

Jika sudut BAC = α

maka dalam segitiga siku-siku ABC terdapat :

$$AC = \omega \cdot dt \cdot \Phi_m$$

$$BC = -d(\Phi_m \cos \omega t)$$

$$\angle BAC = \alpha$$

Maka dari itu :

$$\sin \alpha = \frac{BC}{AC} = - \frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{\omega dt \cdot \Phi_m}$$

$$\text{atau } \sin \alpha \cdot \omega \cdot dt \cdot \Phi_m = -d(\Phi_m \cos \omega t)$$

$$\sin \alpha \omega \Phi_m = - \frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{dt}$$

$$\text{karena bentuk : } \Phi_m \cos \omega t = \Phi$$

$$\text{maka } -d(\Phi_m \cos \omega t) = -d\Phi$$

$$\text{jadi } \sin \alpha \cdot \omega \cdot \Phi_m = - \frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{dt}$$

$$\sin \alpha \cdot \omega \cdot \Phi_m = - \frac{d\Phi}{dt} \text{ atau } e = - \frac{d(\Phi_m \cos \omega t)}{dt} \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

Jika $\alpha = 90^\circ$; $\sin \alpha = 1$ maka harga tegangan induksi "e" akan mencapai harga puncaknya (maksimum) $e = E_m$ sehingga :

$$e = \Phi_m \cdot \omega \sin \alpha \cdot 10^{-8}$$

$$E_m = \Phi_m \cdot 10^{-8} \omega \text{ Volt}$$

Rumus E_m di atas berlaku jika banyaknya gulungan itu sama dengan 1 (satu), tetapi jika generator itu mempunyai N banyak gulungan itu, maka rumus E_m di atas harus dikalikan dengan N sehingga :

$$E_m = \Phi_m \omega \cdot 10^{-8} \text{ Volt}$$

Dalam 1 massa T, gulungan tadi melakukan putaran sebanyak 1 kali atau 1 lingkaran penuh (360°) yang terdiri dari 1 kali perubahan positif dan 1 kali perubahan negatif. Hal ini hanya berlaku jika generator itu mempunyai 1 (satu) pasang kutub atau $p=1$ atau pernyataan di atas dinyatakan dengan banyaknya kutub maka $2p=2$ yaitu kutub utara dan kutub selatan. Jika generator itu memutarkan gulungan sebanyak 3000 putaran/menit,

$$\text{atau } = \frac{300}{60} = 50 \text{ putaran per detik}$$

Oleh karena itu untuk menghitung banyaknya frekuensi dapat dihitung dengan rumus :

$$f = p \frac{n}{60}$$

Dalam mana .

E_m = Harga puncak dari tegangan induksi dalam satuan Volt

Φ_m = Garis gaya maksimum dalam satuan Maxwell

N = Banyaknya lilitan

= Kecepatan sudut dalam satuan radial

f = frekuensi dalam satuan Hertz

p = pasang kutub

n = putaran rotor dalam satuan put/menit

2. Contoh Soal

1. Rotor dari sebuah generator mempunyai 100 gulungan kawat masing-masing dengan luas 200 cm^2 . Dari generator ini diharapkan dapat menghasilkan tegangan bolak balik dengan harga faedah sebesar 220 Volt, dan frekuensi sebanyak 60 Hz. Diminta menghitung banyaknya garis gaya magnit dari generator tersebut, jika kecepatan sudut (ω) = 376,8 radial.

Jawab :

Diketahui : N = 100 lilitan

F = 200 cm^2

e = 220 Volt

f = 60 Hz

= 376,8 radial

Ditanyakan : Φ = ?

Penyelesaian : $E_m = e \times \sqrt{2} = 220 \times 1,4142 = 311 \text{ Volt}$

$$E_m = N \cdot \Phi_m \cdot \omega \cdot 10^{-8}$$

$$311 = 100 \cdot \Phi_m \cdot 376,8 \times 10^{-8}$$

$$\Phi = \frac{311}{100 \times 376,8 \times 10^{-8}} = \frac{311 \times 10^8}{100 \times 376,8}$$

$$= \frac{311 \times 10^6}{376,8} = 825369 \text{ Maxwell}$$

atau 825000 Maxwell (dibulatkan)

2. Antara kutub utara dan kutub selatan dari sebuah generator terdapat medan magnit yang serba homogen sebesar 100 oersted. Rotornya diperlengkapi dengan 50 lilitan yang mempunyai luas 150 cm^2 . Kecepatan berputarnya adalah 2400 put/menit.

Diminta menghitung :

a. Banyaknya frekuensi putar

b. Harga puncak dan harga faedah dari tegangan induksi yang dibangkitkan oleh generator tersebut.

Jawab :

Diketahui : H = 100 oersted

N = 50 lilitan

F = 150 cm^2

n = 2400 put/menit

Ditanyakan : a. ω = ?

b. E_m = ?

c. e = ?

Penyelesaian

$$f = \frac{n \cdot p}{60} \quad 2p = 2 \quad p = \frac{2}{2} = 1$$

$$f = \frac{2400}{60} = 40 \text{ Hz}$$

$$a) \omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 40 = 80 \times 3,14 \\ = 251,2 \text{ rad/detik}$$

$$\Phi_m = H \times F = 100 \times 150 = 15.000 \text{ Maxwell}$$

$$b) E_m = N \cdot \Phi_m \cdot \omega \cdot 10^{-8} \text{ Volt} \\ = 50 \cdot 15.000 \cdot 251,2 \cdot 10^{-8}$$

$$E_m = 5 \cdot 10 \times 15 \cdot 10^3 \times 251,2 \times 10^{-8} \\ = 75 \times 10^4 \times 251,2 \times 10^{-8} \\ = 75 \times 251,2 \times 10^{-4} \\ = \frac{75 \times 251,2}{10^4} \\ = 1,884 \text{ volt}$$

Harga faedahnya :

$$c) E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \\ = \frac{1,884}{1,4142} = 1,33 \text{ volt}$$

3. Daftar Ikhtisar tentang Bermacam-macam dari Harga Tegangan dan Kuat Arus Bolak Balik

Harga	Singkatan	Rumus	penetapan
Maksimum ataupun cak	I_m E_m	— —	Harga paling besar dalam arah positif maupun negatif
Saat	i e	$i = I_m \cdot \sin \alpha$ $e = E_m \cdot \sin \alpha$ $\alpha = \omega t = 2\pi ft$	Harga saat dari kuat arus dan tegangan
Rata-rata	i_r e_r	$i_r = \frac{2}{\pi} \cdot I_m$ $e_r = \frac{2}{\pi} E_m$	Harga tetap dari suatu aliran rata yang selama setengah masa $1/2 T$ yang dapat memindahkan sejumlah elektron yang sama besarnya dengan elektron yang dipindahkan oleh a.b.b
Faedah	I_a E_a	$I_a = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ $E_a = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$	Harga tetap dari suatu kuat arus yang selama waktu t melakukan sejumlah usaha yang besarnya sama dengan jumlah usaha yang dilakukan oleh arus bolak balik selama waktu t .

4. Harga Rata-rata dari Arus Bolak Balik Bentuk Sinus

Gambar di bawah ini menunjukkan gambar lengkung dari arus bolak balik berbentuk Sinus selama waktu 1 masa T . Untuk semua harga saat dari arus ini akan memenuhi rumus :

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

Pada saat arus itu mengalir di dalam arah positif, maka banyaknya elektron yang dipindahkan dalam arah tersebut akan ditentukan oleh luas daerah (ruangan) yang bertanda garis horizontal. Selanjutnya untuk selama setengah periode berikutnya kuat arus tadi memindahkan sejumlah elektron ke arah negatif dan ditentukan oleh luas daerah (ruangan) yang bertanda garis vertikal. Jumlah muatan yang dipindahkan ke arah positif diberi simbol Q positif, dan jumlah muatan yang dipindahkan ke arah negatif diberi simbol Q negatif. Dengan demikian selama satu masa T , jumlah elektron yang dipindahkan secara tetap adalah nol. Jadi :

$$Q_{\text{pos}} + (-Q_{\text{neg}}) = 0$$

$$Q_{\text{pos}} - Q_{\text{neg}} = 0$$

Angkat 0 (nol) yang merupakan hasil jumlah dari kedua elektron tersebut, ini menunjukkan bahwa luas antara daerah positif dan negatif adalah sama besar.

Tetapi sebaliknya keadaan tadi akan menjadi sebaliknya jika Q_{pos} mempunyai harga yang lebih besar bila dibandingkan dengan Q negatif atau $Q_{\text{pos}} > Q_{\text{neg}}$, sehingga jumlah elektron yang dipindahkan akan menjadi :

$$Q_{\text{pos}} + (-Q_{\text{neg}}) = Q \text{ resultante} (Q_r)$$

$$Q_{\text{pos}} - Q_{\text{neg}} = Q \text{ resultante} (Q_r)$$

Jumlah elektron sebesar Q_r Coulomb ini tidak dikembalikan ke tempat asalnya, arus bolak balik tersebut mengandung arus searah yang selama 1 masa T memindahkan Q_r secara tetap dari satu tempat ke tempat lain. Selama setengah masa $T/2$, arus searah tersebut memindahkan elektron sebesar :

$$\frac{Q_r}{2} \text{ Coulomb}$$

Jika jumlah elektron yang tetap dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain sebesar Q_r dibagi oleh panjang waktu selama satu masa T maka akan terdapat harga kuat arus (I) yang tercampur di dalam arus bolak balik, yaitu :

$$I = \frac{Q_r}{T}$$

Arus bolak balik yang mempunyai bentuk seperti ini biasanya disebut arus bolak balik yang tidak murni. Oleh karena itu harga kuat arus searah di atas dinamakan harga rata-rata dari arus bolak balik tidak murni.

Gambar di bawah ini menunjukkan lengkung harga rata-rata dari arus bolak balik yang diambil waktu setengah masa $T/2$

Harga rata-rata sering juga disebut nilai rata-rata, untuk dapat mencari harga rata-rata dari arus dan tegangan bolak balik, diambil arus dan tegangan pada setengah gelombang dengan batas antara A sampai B atau 0 sampai π ($0 - 180^\circ$), sedangkan waktu yang diperlukan $1/2 T$ ($1/2$ masa).

Kita misalkan dalam $1/2$ perioda arus listrik tersebut dialirkan ke dalam sepotong penghantar $P - Q$, maka arus tersebut akan membangkitkan sejumlah muatan listrik sebesar Q Coulomb.

Kuat arus yang mengalir berbentuk sinus ini, pada setiap saat akan mengalami perubahan dalam bentuk demikian pula besarnya. Sebagai contoh kita ambil sebagian dari harga kuat arus ini dalam waktu yang sangat kecil (Δt atau dt). Maka dalam masa $1/2$ perioda muatan listrik yang dibangkitkan adalah :

$$Q = i_1 dt + i_2 dt + i_3 dt \dots \dots \text{ dan seterusnya atau } Q = \sum i dt$$

Jika kuat arus yang mengalir di dalam penghantar $P - Q$ adalah arus searah (i_s), dalam waktu yang sama ($1/2 T$) maka jumlah muatan listrik yang dihasilkan adalah :

$$Q = i_s \cdot 1/2 T \text{ karena } Q = \sum i \cdot dt$$

$$\text{maka } i_s = \frac{Q}{1/2 T} = \sum \frac{idt}{1/2 T}$$

Hasil perkalian antara i dan dt (idt) adalah luas bidang yang dibatasi oleh garis lengkung sinus dengan sumbu A - B. Sedangkan lengkung sinus dengan batas A - B merupakan sumbu waktu $1/2 T$, jadi :

$\sum \frac{idt}{1/2 T}$ dan ini merupakan tinggi rata-rata dari bidang tersebut sedangkan i dinamakan harga rata-rata dari arus sinusoida, dengan diberi simbol $I_{\text{rata-rata}}$ (I_r) sehingga :

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum idt}{1/2 T}$$

Karena harga saat dari arus bolak balik memenuhi rumus :

$$i = I_m \sin \omega t, \text{ sedangkan } AB = 1/2 T$$

atau $1/2T = \pi$ dan $\omega t = \alpha$. Apabila harga tersebut di atas diselesaikan dengan hitung integral maka didapatkan :

$$I_{er} = \frac{\sum i dt}{1/2 T} \quad \text{karena } 1/2 T = \pi$$

$$I_{rt} = \frac{\sum I_m \sin \omega t \cdot dt}{0}$$

$$\text{atau } I_{rt} = \frac{\sum I_m \sin \alpha \cdot d\alpha}{\pi}$$

$$I_{rt} = \int_0^\pi \frac{I_m \sin \alpha \cdot d\alpha}{\pi}$$

$$I_{rt} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sum I_m \sin \alpha \cdot d\alpha$$

$$I_{rt} = \frac{I_m}{\pi} (-\cos \alpha) = \int_0^\pi \frac{2}{\pi}$$

$$\text{Jadi } I_{rt} = \frac{2}{\pi} I_m$$

$$\text{atau } I_{rt} = 0,637 I_m$$

Dengan cara yang sama akan diperoleh

$$E_{rt} = \frac{2}{\pi} E_m$$

$$\text{atau } E_{rt} = 0,637 E_m$$

5. Harga Efektif (Guna)

Harga efektif (harga guna) dari arus bolak balik yang berbentuk sinus adalah suatu harga arus yang lebih penting jika dibandingkan dengan harga arus rata-rata. Arus rata (I) yang mengalir di dalam tahanan "R" selama waktu t , akan melakukan sejumlah usaha menurut rumus :

$$A = I^2 R t \text{ joule}$$

Usaha ini berbentuk panas. Jika tahanan R itu dilalui oleh arus bolak balik $i = I_m \sin \omega t$

dan di dalam waktu t yang sama, arus bolak balik tersebut melakukan sejumlah pekerjaan yang sama besarnya dengan $I^2 R t$ joule.

Harga efektif arus bolak balik adalah harga tetap dari arus rata yang di dalam waktu yang sama melakukan sejumlah usaha ($I^2 R t$) yang sama besarnya dengan usaha yang dilakukan oleh arus bolak balik.

Selanjutnya kuat arus dan tegangan bolak balik untuk harga efektif diberi tanda dengan huruf I dan E.

Untuk mengetahui besarnya usaha yang dilakukan oleh arus bolak balik $i = I_m \sin \omega t$, semua harga saat i selama satu masa harus dikuadratkan dan kemudian dikalikan dengan t dan R .

Jika harga puncak dari kuat arus ($I_m = 3A$) sehingga semua harga saat memenuhi rumus di bawah :

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

$$i = 3 \cdot \sin \omega t$$

Semua harga saat dikuadratkan, terdapatlah garis lengkung a-b-c-d-e sehingga harga tertinggi pada garis lengkung ini adalah :

$$I_m^2 = 3^2 = 9A$$

Sedangkan harga paling rendah adalah 0 Amper. Dalam gambar garis lengkung tersebut berada di atas sumbu waktu "t" atau ini berarti bahwa semua harga tersebut adalah positif. Harga positif diperoleh dari hasil kuadrat harga saat positif maupun harga saat negatif.

Untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang usaha dari arus bolak balik, maka garis lengkung dari gambar tersebut di atas harus diratakan, sehingga menjadi garis lurus dengan ukuran tinggi (harga) yang tetap. selanjutnya sebelum menjawab uraian di atas terlebih dahulu kita tinjau sifat fungsi garis lengkung i^2 itu.

Setiap titik yang terletak pada garis lengkung i^2 harus memenuhi syarat rumus :

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

$$i^2 = (I_m \sin \omega t)^2$$

$$i^2 = I_m^2 \sin^2 \omega t$$

Untuk dapat memecahkan bentuk matematis di atas yaitu $\sin^2 t$ terlebih dahulu bentuk ini dicari/dihitung dengan sifat-sifat ilmu ukur segitiga (goneometri)

$$\cos 2\alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha$$

$$2 \sin^2 \alpha = 1 - \cos^2 \alpha$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$$

$$\sin^2 \alpha = 1/2 - 1/2 \cos 2\alpha$$

Sehingga bentuk persamaan di atas diubah menjadi sebagai berikut :

$$i^2 = I_m^2 \sin^2 \omega t$$

$$i^2 = I_m^2 (1/2 - 1/2 \cos 2\omega t)$$

$$i^2 = 1/2 I_m^2 - 1/2 I_m^2 \cos 2\omega t$$

Kuat arus i^2 merupakan arus campuran yang terdiri atas dua bagian yaitu :

- Bagian yang rata dengan harga $1/2 I_m^2 = 4,5 A$ dalam gambar ditunjukkan dengan garis PQ setinggi 4,5 A
- Bagian yang berubah-ubah menurut garis Cosinus :

$$1/2 I_m^2 \cos 2\omega t$$

Harga puncak dari bagian yang berubah-ubah adalah

$$1/2 I_m^2 = 4,5 A$$

Harga tersebut di atas atau juga disebut tinggi jajaran siku yaitu $1/2 I_m^2$ merupakan harga rata-rata dari i^2 , jika harga puncak itu ditarik di bawah tanda akar maka akar didapat harga efektif (guna) sehingga terdapatlah rumus untuk kuat arus dan tegangan efektif dari arus bolak balik :

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}}$$

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{I_m^2}{\sqrt{2}}}$$

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Untuk menyederhanakan bentuk irasional ini pembilang dan penyebutnya harus dikalikan

$$\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}}$$
 sehingga

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 1/2 I_m \sqrt{2}$$

$$\text{atau } I_{ef} = 1/2 \sqrt{2 I_m} \rightarrow \sqrt{2} = 1,4142 \text{ (lihat daftar log)}$$

$$I_{ef} = 0,7071 I_m$$

$$\text{dan } E_{ef} = 1/2 \sqrt{2 E_m}$$

$$\text{atau } E_{ef} = 0,7071 E_m$$

6. Faktor Bentuk dan Faktor Puncak

Faktor bentuk adalah suatu bilangan hasil perbandingan antara harga efektif dengan harga rata-rata. Faktor bentuk ini di dalam praktik diberi simbol dengan huruf F_b atau f_b

rumusnya sebagai berikut :

$$F_b \text{ atau } f_b = \frac{I_{ef}}{I_rata} = \frac{0,7071}{0,637} = 1,11$$

Faktor bentuk ini sangat penting sekali pada pembangkitan tegangan bolak balik, sebab perubahan-perubahan yang didapat ini harus diartikan rata-rata. Jadi harga tegangan efektif yang dibangkitkan oleh generator sama dengan ggl generator dikalikan faktor bentuk.

$$E_{ef} = f_b \times ggl$$

Sedangkan harga faktor puncak ialah suatu perbandingan antara harga maksimum (I_m) dengan harga efektif (I_{ef})

$$\text{Jadi : } f_p = \frac{I_m}{I_{ef}} = \frac{I_m}{\frac{I_m}{\sqrt{2}}} = I_m \times \frac{\sqrt{2}}{I_m} = \sqrt{2}$$

$$f_p = 1,4142$$

Dalam mana :

I_r = Kuat arus harga rata-rata dari arus bolak balik dalam satuan amper.

I_m = Kuat arus harga puncak (maksimum) dari arus bolak balik dalam satuan amper

I_{ef} = Kuat arus harga guna (efektif) dari arus bolak-balik dalam satuan amper.

E_{r} = Harga rata-rata tegangan dari arus bolak-balik dalam satuan Volt.

E_{m} = Harga puncak (maksimum) tegangan dari arus bolak-balik dalam satuan Volt.

E_{ef} = Harga guna (efektif) tegangan dari arus bolak-balik dalam satuan Volt.

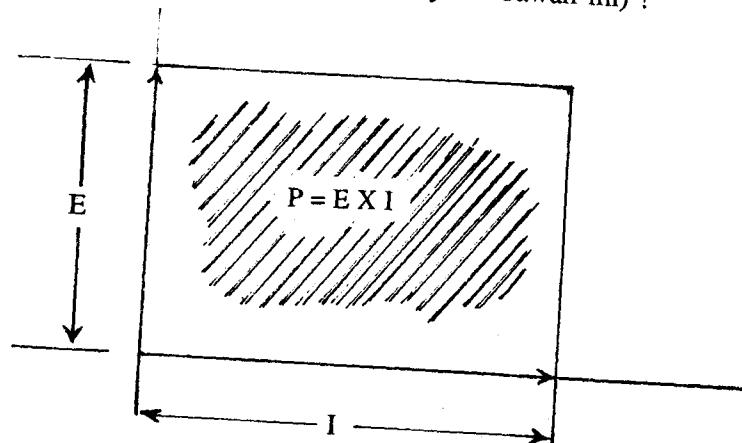
Bab 15

Daya Listrik Arus Bolak Balik

Sebagaimana telah kita ketahui bahwa besarnya daya listrik untuk arus searah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P \text{ (W)} = E \times I$$

(Perhatikanlah diagram daya di bawah ini) !



Begitu juga daya listrik bolak balik dapat dihitung dengan rumus $P(W) = E \times I$ di mana kuat arus (I) dan tegangan (E) merupakan harga efektif. Dalam teknik arus bolak balik hal-hal yang bertalian dengan daya listrik tidak dapat dianggap begitu mudah seperti halnya menghitung daya listrik pada arus searah, sebab kuat arus (I) dan tegangan (E) arus bolak balik harus betul-betul diperhatikan, karena kemungkinan akan terjadi pergeseran fasa (faktor kerja) antara tegangan (E) dan kuat arus (I). Sehingga harga E dan I tidak dikalikan begitu saja.

Terlebih dahulu kita harus menyelidiki daya listrik dari arus bolak balik (I) yang sefasa dengan tegangan bolak balik (E). Pada bab terdahulu telah dibahas tentang besarnya kuat arus (i). Pada teknik arus bolak balik harus memenuhi rumus di bawah ini yaitu :

$$i = I_m \sin \omega t \text{ (disebut harga saat untuk kuat arus)}$$

dan untuk tegangan bolak baliknya :

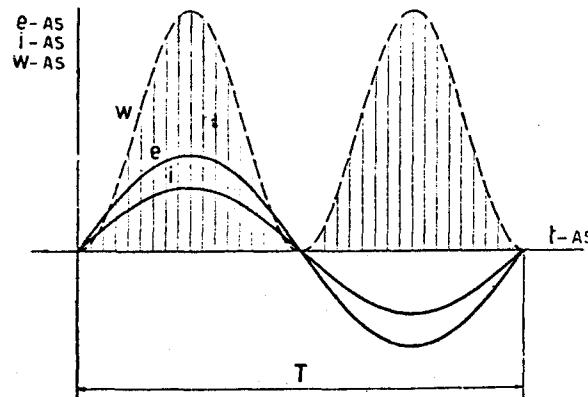
$$e = E_m \sin \omega t \text{ (disebut harga saat untuk tegangan)}$$

Di mana kedua besaran listrik ini sefasa satu sama lain.

Dengan mengalikan kedua besaran tersebut di atas akan diperoleh rumus daya listrik arus bolak balik

$$P(W) = e \times i$$

Gambar di bawah ini menunjukkan garis lengkung (kurva) yang merupakan hasil kali dari kedua besaran tadi.



Jika garis lengkung abcde itu dikalikan dengan faktor waktu (t), maka akan terdapat ukuran luas yang ditunjukkan dengan tanda garis horizontal (diarsir). Ruangan tersebut memberi gambaran tentang besarnya jumlah usaha yang dilakukan oleh i dan e selama waktu t yaitu :

$$A = i \times e \times t \text{ dalam satuan joule}$$

Kalau arus (i) dan tegangan (e) yang terdapat di dalam rumus di atas adalah harga-harga saat.

Untuk dapat memecahkan persoalan di atas, terlebih dahulu kita tinjau sifat garis lengkung abcde yang merupakan hasil kali antara i dan e (ixe).

Bentuk perkalian antara i dan e dapat diubah menjadi sebagai berikut :

$$P(W) = i \times e$$

Karena $i = I_m \sin \omega t$ dan $e = E_m \sin \omega t$ maka

$$P(W) = I_m \sin \omega t \times E_m \sin \omega t \text{ atau}$$

$$P(W) = I_m E_m \sin^2 \omega t$$

Menurut rumus ilmu ukur segitiga (tri gonometri)

$$\cos 2\alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha$$

$$2 \sin^2 \alpha = \cos 2\alpha - 1$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{\cos 2\alpha - 1}{2}$$

$$\sin^2 \alpha = 1/2 \cos 2\alpha - 1/2$$

sehingga bentuk rumus $P(W)$ di atas dapat diselesaikan sebagai berikut :

$$P(W) = I_m \cdot E_m \sin^2 \omega t$$

karena $\sin^2 \alpha = 1/2 \cos 2\alpha - 1/2$

maka $\sin^2 \omega t = 1/2 \cos 2\omega t - 1/2$

$$P(W) = I_m \cdot E_m (1/2 \cos 2\omega t - 1/2)$$

$$= 1/2 I_m \cdot E_m \cos 2\omega t - 1/2 I_m \cdot E_m$$

Dengan memperhatikan gambar di atas bahwa garis lengkung $P(W)$ terdiri dari dua bagian yang rata, yaitu :

$$\frac{I_m \cdot E_m}{2}$$

Bagian yang rata merupakan garis lurus AB dari bagian yang berubah-ubah menurut garis cosinus yaitu :

$$\frac{I_m \cdot E_m}{2} \cos 2\omega t$$

Garis lengkung tersebut dapat diratakan menjadi garis AB yang sekali garis merupakan sumbu nol dari garis cosinus, sehingga terdapat jajaran siku OABC. Luas jajaran siku OABC sama dengan luas ruangan abcde dengan tinggi :

$$BC = \frac{I_m \cdot E_m}{2}$$

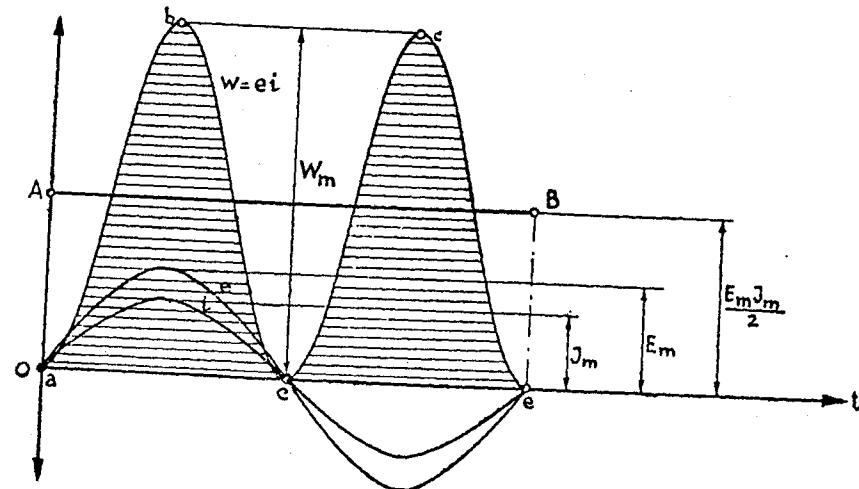
Ukuran ini adalah sama dengan hasil kali antara I dan E sebab :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ dan } E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

$$\text{Jadi } I \times E = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \times \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{I_m \cdot E_m}{2} = P(W)$$

(lihat gambar di bawah ini) !

$$W = i \times e.$$



Jika harga faedah dari kuat arus (I) sefasa dengan tegangan (E), maka akan mengeluarkan tenaga listrik yang besarnya

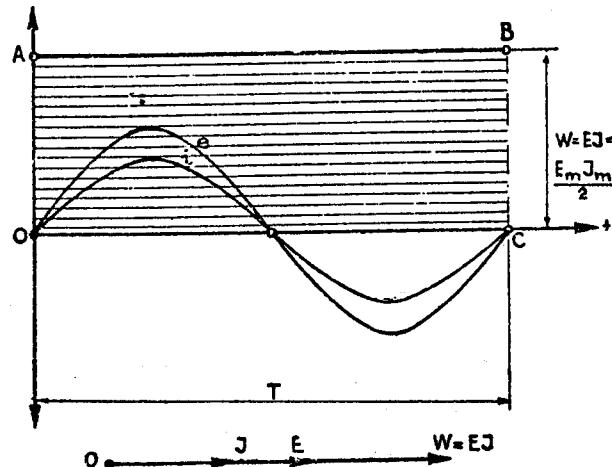
$$P(W) = I \times E \text{ dalam satuan watt}$$

dan akan melakukan usaha listrik sebanyak :

$$A = I \times E \times t \text{ dalam satuan joule}$$

Kesimpulan :

Kuat arus (I) yang sefasa dengan tegangan (E) akan menghasilkan daya listrik yang berwatt.



1. Kuat Arus dan Daya Listrik Buta

Gambar di bawah ini menunjukkan lengkung sinus dari kuat arus tukar dengan rumus :

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

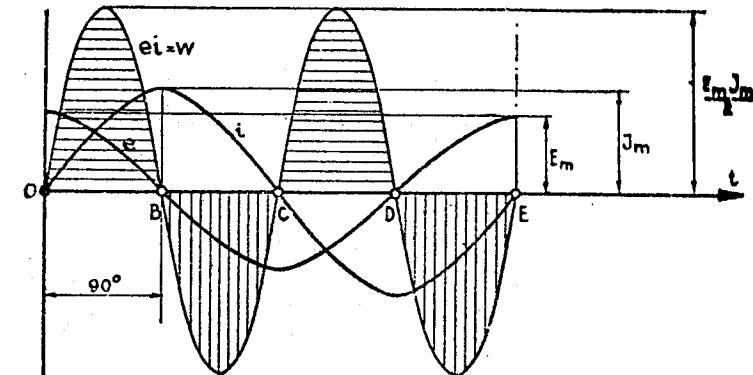
dan tegangan tukar menurut rumus :

$$e = E_m \sin (\omega t + 90^\circ)$$

Rumus tegangan e di atas karena tegangan e mendahului 90° terhadap kuat arus i , sehingga tegangan itu dapat dianggap sebagai tegangan cosinus :

$$e = E_m \cos \omega t$$

Gambar !



Hasil kali e dan i antara saat-saat $t = 0$ sampai $t = B$ memberikan garis lengkung w (P) yang positif, antara saat-saat $t = B$ sampai $t = C$ di mana hasil kali $+i$ dan $-e$ akan menghasilkan lengkung garis W (P) yang negatif, antara saat-saat $t = C$ dan $t = D$ hasil kali dari -1 dan $-e$ akan menghasilkan lengkung W positif dan antara saat-saat $t = D$ dan $t + E$, di mana hasil perkalian $+e$ dan -1 akan menghasilkan lengkung W (P) negatif. Sehingga jumlah usaha :

$$e \cdot i \cdot t = P (W) \text{ dalam satuan joule}$$

Usaha yang dihasilkan sebesar $e \cdot i \cdot t$ joule ini terdiri dari bagian-bagian yang positif dan bagian-bagian yang negatif. Jika bagian-bagian positif sama besarnya dengan bagian-bagian yang negatif maka ini berarti bila kedua bagian itu dijumlahkan akan menjadi nol. Untuk menjelaskan hal di atas maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$W = i \times e$$

$$= I_m \cdot \sin \omega t \times E_m \cos \omega t$$

$$= 1/2 I_m \cdot E_m \sin \omega t$$

Dengan demikian rumus di atas menandakan bahwa garis lengkung W berupa garis sinus dengan harga puncak :

$$EI = \frac{I_m \cdot E_m}{2}$$

$$W = 2\pi f$$

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

dengan frekuensi putar : $2\omega t$

Karena itu sumbu nol dari ~~garis~~ garis lengkung ~~garis~~ tak tepat pada sumbu waktu t, hal mana memberikan kesimpulan bahwa besarnya usaha di bagian positif sama besar dengan dibagian negatif, atau dapat dikatakan bahwa kuat arus tukar itu tidak membangkitkan tenaga yang nyata dan juga tidak melakukan usaha yang nyata.

Dengan memperhatikan gambar di atas bahwa pada 1/4 masa yang pertama yaitu $t = 0$ sampai $t = B$ maka generator mengeluarkan tenaga sebesar :

$E \times I$ dalam satuan watt

dan melakukan usaha :

$$E \times I \times \frac{T}{4} \text{ dalam satuan joule}$$

untuk 1/4 masa berikutnya yaitu : $t = B$ sampai $t = C$ maka generator diberi tenaga $E \times I$ watt dan menerima usaha sebesar

$$E \times I \times \frac{T}{4} \text{ joule dari luar}$$

Penjelasan di atas juga berlaku, bila tegangan e mengikuti 90° di belakang kuat arus i, karena itu dapat diambil suatu kesimpulan :

Arus bolak balik yang mendahului atau mengikuti tegangan bolak balik sebesar 90° , dinamakan kuat arus watt nol atau kuat arus buta disingkat dengan I_b .

Hasil perkalian dari kuat arus buta I_b dengan tegangan E dinamakan, tenaga buta yang diukur dengan watt buat atau W_b .

Jadi :

$$W_b = I_b \times E$$

dan usaha yang dilakukan oleh aliran buta adalah nol.

Untuk tenaga listrik yang nyata (wujud) yang dikeluarkan oleh arus bolak balik yang mempunyai fasa ϕ° dengan tegangan bolak balik yaitu :

$$\boxed{\text{Tenaga Watt (W)} = E \times I \times \cos \phi}$$

Dan jumlah usaha nyata/wujud yang dilakukan oleh arus dan tegangan bolak balik dengan fasa ϕ° yaitu sebesar :

$$A = E \times I \times t \cos \phi \rightarrow \text{dalam satuan joule}$$

$\cos \phi$ (dibaca cosinus phi) dinamakan faktor kerja.

Hasil perkalian dari $E \times I$ dinamakan tenaga bayangan dan diukur dengan volt amper (VA).

Perbedaan antara tenaga semu dan tenaga watt merupakan tenaga buta (Wb). Besarnya tenaga buta dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Tenaga semu} &: E \times I \text{ (volt-amper)} \\ \text{Tenaga watt} &: E \times I \times \cos \phi \text{ (watt)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka : } W_b^2 &= E^2 I^2 \cos^2 \phi \\ &= E^2 I^2 (1 - \cos^2 \phi) \\ &= E^2 I^2 \sin^2 \phi \end{aligned}$$

$$\text{Tenaga buta (Wb)} = \sqrt{E^2 I^2 \sin^2 \phi} \text{ atau}$$

$$\text{Tenaga buta } W_b = W \times I \sin \phi \text{ dengan satuan watt-butu}$$

2. Ringkasan Rumus Teknik Listrik II

a. Hukum Kirchoff II

$$1. \sum E = \sum i R$$

(definisi : Hukum Kirchoff II berbunyi jumlah aljabar hasil perkalian antara kuat arus dan tahanan sama dengan jumlah tegangan yang terdapat pada cabang itu).

2. Muatan listrik (elektro statika)

$$K = \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

atau $K = \frac{Q_1 \times Q_2}{\epsilon r^2}$

$$F = \frac{Q}{\epsilon r^2}$$

3. Bilangan khayal

$$j^2 = -1$$

$$j^3 = -j$$

$$j^4 = 1$$

4. Tahanan ohm pada rangkaian arus bolak balik

$$I_R = \frac{E}{R} \quad \dots \dots \dots \text{dalam satuan Amper}$$

Daya listrik yang dihasilkan oleh kuat arus yang mengalir ke dalam tahanan "R".

$$I^2 R \quad \dots \dots \dots \text{dalam satuan watt}$$

5. Tahanan Induktif (Reaktansi Induktif)

$$E = I \cdot X_L \quad \dots \dots \text{dalam satuan volt}$$

$$X_L = \frac{E}{I} \quad \dots \dots \text{dalam satuan ohm}$$

$$I = \frac{E}{X_L} \quad \dots \dots \text{dalam satuan amper}$$

$$X_L = \omega L \quad \dots \dots \text{dalam satuan ohm}$$

$$\omega = 2 \pi f \quad \dots \dots \text{dalam satuan rad/detik}$$

$$f = \frac{n \cdot p}{60} \quad \dots \dots \text{dalam satuan Hertz}$$

6. Tahanan kapasitif (Reaktansi kapasitif)

$$X_c = \frac{1}{\omega c} \quad \dots \dots \text{dalam satuan ohm}$$

$$\omega = 2 \pi f \quad \dots \dots \text{dalam satuan rad/detik}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi f c} \quad \dots \dots \text{dalam satuan ohm}$$

$$E = 1 \cdot X_c \quad \dots \dots \text{dalam satuan volt}$$

$$I = \frac{E}{X_c} \quad \dots \dots \text{dalam satuan Amper}$$

$$X_c = \frac{E}{I} \quad \dots \dots \text{dalam satuan ohm}$$

7. Hubungan deret antara X_L dan R

$$Z_s = R^2 + X_L^2 \quad \dots \quad \text{dalam satuan ohm}$$

$$\text{atau } Z_s = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$\omega = 2\pi f \quad \dots \quad \text{dalam satuan rad/detik}$$

$$E = I \times Z_s \quad \dots \quad \text{dalam satuan volt}$$

$$I = \frac{E}{Z_s} = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad \text{atau}$$

$$= \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$I \quad \dots \quad \text{dalam satuan amper}$$

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{X_L}{R} \quad (\text{secara grafis})$$

8. Hubungan deret antara X_c dan R

$$Z_s = \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad \dots \quad \text{dalam satuan ohm}$$

atau :

$$Z_s = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega c)^2}}$$

$$I = \frac{E}{Z_s} \longrightarrow Z_s = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_c^2}}$$

$$\text{atau } I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega c)^2}}} \quad \dots \quad \text{dalam satuan amper}$$

$$E = I \times Z_s$$

$$= I \times \sqrt{R^2 + X_c^2} \quad \dots \quad \text{dalam satuan volt}$$

$$\operatorname{tg} \phi = - \frac{X_c}{R}$$

9. Hubungan deret antara X_L dan X_c

$$jX = j(\omega L - \frac{1}{\omega c})$$

$$I = \frac{jE}{jX} \quad \dots \quad \text{dalam satuan Amper}$$

$$\text{atau } I = \frac{E}{(\omega L - \frac{1}{\omega c})}$$

$$E = I (\omega L - \frac{1}{\omega c}) \quad \text{dalam satuan volt}$$

Rumus frekuensi Resonansi

$$X_L = X_c$$

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

$$2\pi f L = \frac{1}{2\pi f c}$$

$$fr^2 = \frac{1}{2^2 \pi^2 L c}$$

$$fr^2 = \frac{1}{4\pi^2 L C}$$

$$fr = \frac{1}{\sqrt{4\pi^2 L C}}$$

$$fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ dalam satuan Hertz}$$

10. Hubungan deret antara X_L , X_c dan R

$$Z_s = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega c})^2} \text{ dalam satuan ohm}$$

$$X = X_L - X_c$$

$$\operatorname{tg}\phi \pm \frac{X}{R}$$

$$I = \frac{E}{Z_s} \dots \text{dalam satuan Amper}$$

$$I = \sqrt{\frac{E}{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega c})^2}}$$

$$E = I \times Z_s \rightarrow \text{dalam satuan Volt}$$

$$E = I \times \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega c})^2}$$

11. Tegangan bolak balik berbentuk Sinus

$$E_m = \Phi_m \cdot \omega \cdot 10^{-8} \text{ volt}$$

(rumus ini berlaku untuk belitan $N = 1$)

Bentuk umum dari rumus di atas sebagai berikut :

$$E_m = N \cdot \Phi_m \omega \cdot 10^{-8} \text{ Volt} \rightarrow \text{dalam satuan volt}$$

b. Harga tegangan dan kuat arus bolak balik

$$i = I_m \sin \alpha \dots \text{dalam satuan Amper.}$$

$$e = E_m \sin \alpha \dots \text{dalam satuan Volt}$$

$$\alpha = \omega t = 2\pi ft$$

i : harga saat dari kuat arus

e : harga saat dari tegangan.

$$i_r = \frac{2}{\pi} I_m \text{ atau } 0,637 I_m \text{ (dalam satuan Amper).}$$

$$e_r = \frac{2}{\pi} E_m \text{ atau } 0,637 E_m \text{ (dalam satuan Volt).}$$

i_r : harga rata-rata dari kuat arus.

e_r : harga rata-rata dari tegangan.

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ atau } I_{ef} = 0,7071 I_m \text{ (dalam satuan Amper)}$$

$$E_{ef} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \text{ atau } E_{ef} = 0,7071 E_m \text{ (dalam satuan Volt)}$$

c. Daya Listrik Arus Bolak Balik.

Daya Semu : W_s (P_s)

$W_s = E \times I$ dalam satuan Volt amper (VA)

Daya Sebenarnya: W_b (P_b)

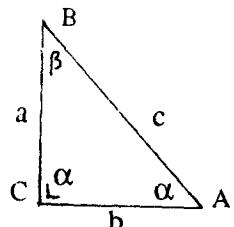
$E \times I \times \cos \phi$ dalam satuan Watt

Daya Buta W_b (P_b)

$W_b = E \times I \times \sin \phi$ dalam satuan Watt buta

3. Beberapa Rumus Penting Ilmu Goniometri

Perbandingan goniometri yang berlaku di dalam segitiga siku-siku (lihat gambar) !



$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \quad \text{kebalikannya } \operatorname{cosec} \alpha = \frac{c}{a}$$

$$\cos \alpha = \frac{b}{c} \quad \text{kebalikannya } \sec \alpha = \frac{c}{b}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b} \quad \text{kebalikannya } \operatorname{cotg} \alpha = \frac{b}{a}$$

Daftar nilai dari sudut-sudut lancip yang terpenting di dalam ilmu goniometri :

Sudut	Sinus	Cosinus	Tangens	Cotangens
0°	0	1	0	± ∞
30°	1/2	1/2 3	1/3 3	3
45°	1/2 2	1/2 2	1	1
60°	1/2 3	1/2	3	1/3 3
90°	1	0	± ∞	0

∞ Tanda besarnya tak terhingga

Jika sudut-sudut itu lebih besar daripada 90°, maka harus dikembalikan menjadi sudut-sudut yang lebih kecil daripada 90°.

Sudut α	Sinus	Cosinus	Tangens	Cotangens
$90^\circ - \alpha$	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	$\operatorname{cotg} \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$
$90^\circ + \alpha$	$\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$-\operatorname{cotg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$
$180^\circ - \alpha$	$\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{cotg} \alpha$
$180^\circ + \alpha$	$-\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\operatorname{cotg} \alpha$
$270^\circ - \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$\operatorname{cotg} \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$
$270^\circ + \alpha$	$-\cos \alpha$	$\sin \alpha$	$-\operatorname{cotg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$

$360^\circ - \alpha$	$-\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{cotg} \alpha$
$360^\circ + \alpha$	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$\operatorname{tg} \alpha$	$\operatorname{cotg} \alpha$
$- \alpha$	$-\sin \alpha$	$\cos \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{cotg} \alpha$

Rumus goniometri antara satu sudut :

$$\sin \alpha \cdot \operatorname{cosec} \alpha = \sin \alpha \cdot \frac{1}{\sin \alpha} = 1$$

$$\cos \alpha \cdot \sec \alpha = \cos \alpha \cdot \frac{1}{\cos \alpha} = 1$$

$$\operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{cotg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = 1$$

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1$$

$$\operatorname{tg}^2 \alpha + 1 = \sec^2 \alpha$$

$$\operatorname{cotg}^2 \alpha + 1 = \operatorname{cosec}^2 \alpha$$

$$\sin \alpha + \cos \alpha = \sqrt{2} \cdot \sin(45^\circ + \alpha)$$

$$\cos \alpha - \sin \alpha = \sqrt{2} \cdot \cos(45^\circ + \alpha)$$

$$\operatorname{cotg} \alpha + \operatorname{tg} \alpha = \frac{2}{\sin 2 \alpha}$$

$$\operatorname{cotg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha = 2 \cdot \operatorname{cotg} 2 \alpha$$

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{cotg}^2 \alpha}}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} = \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \alpha}{\cos \alpha}} = \frac{1}{\operatorname{cotg} \alpha}$$

4. Rumus Goniometri Hubungan antara 2 Buah Sudut

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

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

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{1 \pm \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg} \alpha \mp \operatorname{tg} \beta}$$

$$\operatorname{cotg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{cotg} \alpha \cdot \operatorname{cotg} \beta \mp 1}{\operatorname{cotg} \beta \pm \operatorname{cotg} \alpha}$$

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cdot \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cdot \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cdot \cos \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{1}{2}(\alpha + \beta) \cdot \sin \frac{1}{2}(\alpha - \beta)$$

$$\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cdot \cos \beta}$$

$$\operatorname{cotg} \alpha \pm \operatorname{cotg} \beta = \frac{\sin(\beta \pm \alpha)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}$$

$$\sin \alpha \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) - \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$$

$$\cos \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta)$$

$$\sin \alpha \cdot \cos \beta = \frac{1}{2} \sin(\alpha + \beta) + \frac{1}{2} \sin(\alpha - \beta)$$

$$\begin{aligned} \sin^2 \alpha - \sin^2 \beta &= \cos^2 \beta - \cos^2 \alpha \\ &= \sin(\alpha + \beta) \cdot \sin(\alpha - \beta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos^2 \alpha - \sin^2 \beta &= \cos^2 \beta - \sin^2 \alpha \\ &= \cos(\alpha + \beta) \cdot \cos(\alpha - \beta) \end{aligned}$$

3
3
5. Rumus Go

$$\sin 2\alpha = 2$$

$$\begin{aligned}\cos 2\alpha &= \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \\&= \cos^2 \alpha - (1 - \cos^2 \alpha) \\&= \cos^2 \alpha - 1 + \cos^2 \alpha \\&= 2 \cos^2 \alpha - 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\cos 2\alpha &= \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha \\&= (1 - \sin^2 \alpha) - \sin^2 \alpha \\&= 1 - \sin^2 \alpha - \sin^2 \alpha \\&= 1 - 2 \sin^2 \alpha\end{aligned}$$

$$\sin \alpha = 2 \sin 1/2 \alpha \cdot \cos 1/2 \alpha$$

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \cos^2 1/2 \alpha - \sin^2 1/2 \alpha \\&= \cos^2 1/2 \alpha - (1 - \cos^2 1/2 \alpha) \\&= \cos^2 1/2 \alpha - 1 + \cos^2 1/2 \alpha \\&= 2 \cos^2 1/2 \alpha - 1\end{aligned}$$

atau :

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \cos^2 1/2 \alpha - \sin^2 1/2 \alpha \\&= (1 - \sin^2 1/2 \alpha) - \sin^2 1/2 \alpha \\&= 1 - \sin^2 1/2 \alpha - \sin^2 1/2 \alpha \\&= 1 - 2 \sin^2 1/2 \alpha\end{aligned}$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{2}{\operatorname{cotg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha}$$

621.3

SUR SURYATMO, B
d Dasar-dasar teknik
listrik.

84.970 /FD/R/96

13. 38398