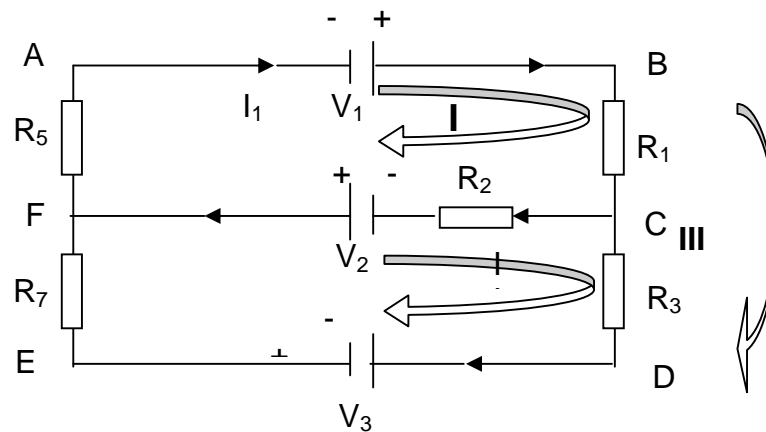




RANGKAIAN LISTRIK



Penyusun :

Drs. Margiono Abd.
NIP. 19660104 199103 1 007

PEMERINTAH KOTA PONTIANAK
DINAS PENDIDIKAN KOTA PONTIANAK
SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN NEGERI 2 PONTIANAK
TAHUN 2012

KATA PENGANTAR

Modul “RANGKAIAN LISTRIK” merupakan bahan ajar yang digunakan sebagai panduan praktikum peserta diklat Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) untuk membentuk salah satu bagian dari Dasar Kompetensi Kejuruan (DKK) dengan standar kompetensi Menganalisis Rangkaian Listrik pada Program Keahlian Teknik Ketenagalistrikan.

Modul ini menekankan pada hukum-hukum kelistrikan yang terdiri dari arus dan penghantar, hukum Ohm dan hukum Kirchoff, sambungan-sambungan resistor, serta analisis rangkaian baik rangkaian arus searah (DC) maupun rangkaian arus bolak-balik (AC) yang terdiri dari listrik AC 1 fase dan 3 fase. Kegiatan Belajar yang ada pada modul ini terdiri dari 14 kegiatan belajar, yang masing-masing kegiatan belajar dilengkapi dengan lembar informasi dan lembar latihan.

Modul ini terkait dengan modul lain yang membahas tentang konsep dasar kelistrikan, sehingga sebelum menggunakan modul ini peserta diklat diwajibkan telah memahami prinsip dasar elektrostatika dan prinsip dasar kemagnetan.

Pontianak, Juli 2012

Penyusun.

KEGIATAN BELAJAR 1

ARUS LISTRIK DAN PENGHANTAR

A. Lembar Informasi

1. Muatan Listrik

Ada dua jenis muatan listrik yaitu muatan positif dan negatif. Dengan menggosokkan sisir dengan kain maka muatan negatif dihasilkan pada sisir dan muatan positif pada kain.

2. Teori Atom

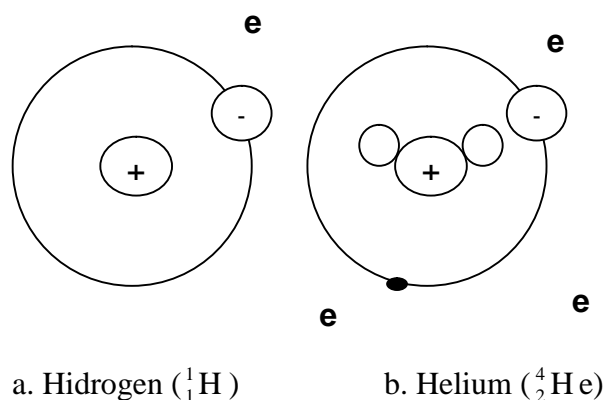
Bagian yang sangat kecil dari suatu benda (baik padat, cair maupun gas) dan masih memiliki sifat benda tersebut disebut molekul. Tiap molekul terdiri dari beberapa atom sejenis yang disebut unsur dan bila atomnya berbeda disebut senyawa. Sebuah atom terdiri dari :

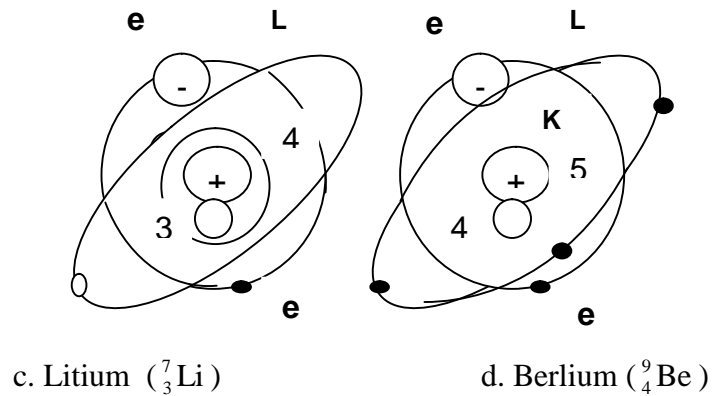
- Inti yang disebut nukleus. Inti atom mempunyai dua jenis partikel yaitu proton yang bermuatan listrik positif dan neutron yang tidak bermuatan listrik. Masa proton hampir sama dengan massa neutron.
- Di sekitar inti atom terdapat partikel yang selalui bergerak mengelilingi inti atom dengan lintasan berbentuk elips yang disebut elektron. Elektron bermuatan listrik negatif. Masa elektron dapat diabaikan karena massanya mendekati $1/1840$ massa proton.

Beberapa hal penting yang perlu diketahui tentang struktur atom:

- Massa proton adalah $1,66 \times 10^{-27}$ kg dan massa electron $9,1 \times 10^{-31}$ kg dan muatan elektron $1,602 \times 10^{-19}$ coulomb.
- Elektron bergerak pada lintasan tertentu, membentuk kulit atom K, L, M, N dan seterusnya yang diberi nomor $n = 1, 2, 3, 4$ dan seterusnya. Jumlah elektron maksimal untuk tiap lintasan dinyatakan dalam $2n^2$.
- Gaya sentripetal menyebabkan elektron tetap bergerak pada lintasannya. Elektron pada kulit terluar yang disebut elektron valensi mendapat gaya yang paling lemah. Pada logam, elektron valensi ini bebas bergerak dan membentuk lautan elektron. Elektron yang bergerak bebas inilah yang bersifat menghantarkan arus listrik.

Gambar 1.1 di bawah ini menggambarkan model atom hidrogen, helium, litium dan berilium.





Gambar 1.1 Model Atom

3. Kepadatan Arus

Jumlah muatan yang bergerak melalui penampang suatu penghantar untuk setiap satuan waktu merupakan arus listrik, jika muatan dinyatakan q , arus listrik a dan waktu t

maka: $I = \frac{dq}{dt}$

Satuan arus listrik dalam SI adalah $\frac{\text{Coulum(C)}}{\text{detik(S)}} = \text{Amper (A)}$.

Menurut konvensi, arus listrik mengalir dari potensial yang lebih tinggi ke potensial yang lebih rendah atau arah mengalirnya muatan positif. Pada penghantar logam arus listrik merupakan gerakan-gerakan elektron bebas. Muatan positif dalam penghantar logam tidak dapat bergerak, dengan demikian arah gerakan elektron berlawanan dengan arah arus listrik.

Misalkan suatu penghantar yang panjangnya L dan luas penghantar A terdapat N elektron yang terdistribusi secara merata seperti pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Penghantar untuk Menentukan Kepadatan Arus

Jika medan listrik E menyebabkan elektron bergerak sepanjang L dalam waktu T detik maka kecepatan elektron adalah L/T . arus listrik I berdasarkan definisi merupakan jumlah muatan listrik yang melalui penampang A setiap satuan waktu. Sedangkan jumlah muatan listrik merupakan jumlah elektron dikalikan dengan muatan elektron q sehingga :

$$I = \frac{qN}{T} \cdot \frac{L}{L} = \frac{q \cdot N \cdot V_d}{L} \text{ ampere}$$

di mana V_d adalah kecepatan elektron. Kepadatan arus yang dinyatakan dalam J adalah besar arus listrik untuk setiap satuan luas penampang dalam medium penghantar.

$$J = \frac{I}{A} \cdot \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

Jika I diganti dengan $\frac{q \cdot N \cdot V_d}{L}$ maka: $J = \frac{q \cdot N \cdot V_d}{LA}$

LA merupakan volume penghantar yang berisikan N elektron maka konsentrasi elektron dalam penghantar adalah: $N = \frac{N}{LA} \text{ m}^{-3}$

$$\text{Jika nilai } n \text{ disubstitusikan maka: } J = qn V_d = \rho v \cdot V_d \cdot \frac{A}{\text{m}^2}$$

Dimana ρv adalah kepadatan muatan, dalam satuan per meter kubik.

4. Resistansi (Hambatan Listrik)

Resistansi (hambatan) dapat diartikan sebagai kemampuan menghambat arus listrik. Sedangkan resistivitas ialah nilai hambat jenis yang merupakan besaran resistansi yang ada pada suatu penghantar yang panjangnya 1 meter dalam penampang 1 mm^2 .

Pada umumnya, logam merupakan penghantar listrik. Hal ini disebabkan oleh elektron-elektron bebas pada logam. Logam elektronnya sulit bergerak akan sulit mengalirkan arus listrik. Logam demikian mempunyai resistansi (hambatan) yang besar. Sedangkan logam yang elektronnya mudah bergerak akan mudah pula mengalirkan arus listrik. Logam ini disebut mempunyai resistansi yang kecil. Di samping itu pada jenis logam yang sama, makin besar luas permukaannya, makin besar elektron bergerak. Hal ini berarti makin kecil nilai resistansinya.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa nilai resistansi dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu :

a. Jenis penghantar

Besi mempunyai resistansi lebih besar dari pada tembaga sehingga penghantar tembaga lebih baik dari pada besi.

b. Panjang penghantar

Semakin panjang suatu penghantar semakin besar resistansinya. Oleh karena itu, dalam praktek, penggunaan penghantar yang terlalu panjang (melampaui perhitungan) selain akan memperbesar resistansi (akan terjadi rugi tegangan) juga tidak ekonomis.

c. Luas penampang penghantarnya

Makin besar penampang penghantar, maka makin kecil resistansi penghantar tersebut. Berarti arus yang dapat dialirkan makin besar (kuat). Dalam praktek, harus digunakan penghantar yang irisan penampang memadai.

d. Suhu / temperatur

Setiap logam yang dapat mendapat perubahan temperature maka volume/bentuk yang berubah. Berarti jika suatu penghantar mendapat perubahan temperatur (naik), maka harga resistansinya juga ikut berubah (besar), demikian sebaliknya. Kecuali, karbon (arang) adalah sebaliknya. Dalam hal ini, jika temperatur naik maka resistansinya turun.

Besaran resistansi (R) dinyatakan dalam ohm (lazim ditulis dalam huruf Yunani Ω (omega) ; Kilo ohm ($K\Omega$); mega ohm ($M\Omega$)

$$1 K\Omega = 1000 \Omega$$

$$1 M\Omega = 1000 000 \Omega$$

$$1\Omega = 0,001 K\Omega = 0,0000001 M\Omega$$

Dalam praktek sehari – hari, besarnya resistansi dapat diukur dengan alat yang disebut ohm meter.

Resistivitas adalah besaran resistansi yang ada pada suatu penghantar yang panjangnya 1 meter dan penampang 1 mm^2 . Jadi, besarnya resistansi (R) dari suatu penghantar dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \frac{L \cdot \rho}{A}$$

R = resistansi ohm

L = panjang penghantar dalam meter

P (dibaca rho) = resistivitas dalam meter

A = Luas penampang penghantar / irisan dalam m^2

Jika irisan penghantar berbentuk segi empat, maka luas irisanya : $A = \text{panjang} \times \text{lebar}$

Jika irisan penghantar segi tiga maka luas irisanya : $A = \frac{1}{2} \times \text{alas} \times \text{tinggi}$

Jika irisan penghantar bulat dan diketahui ukuran garis tengahnya (D), maka luas irisanya :

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

Kecepatan elektron dalam penghantar berbanding lurus dengan medan listrik E .

$$V_d = \mu E$$

V_d = Kecepatan Elektron

μ = Mobilitas Elektron

E = Medan Listrik

Jika persamaan ini disubstitusikan ke dalam persamaan kepadatan arus maka:

$$J = q n V_d = q n \mu E = \sigma E$$

Dimana $\sigma = q n \mu$ (Ωm)⁻¹ merupakan daya hantar dari penghantar.

Besarnya tegangan listrik dari penghantar yang panjangnya L dan medan listrik E adalah

$V = EL$, sedangkan arus listrik yang mengalir pada penghantar : $I = J.A = \sigma E A$

$$\frac{L}{L} = \frac{\sigma A}{L} \cdot V = \frac{V}{R} \text{ ampere.}$$

Di mana R merupakan resistansi yang besarnya adalah : $R = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A}$

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

ρ = Resistivitas atau hambat jenis

σ = Konduktivitas atau daya hantar.

Dengan demikian resistivitas suatu penghantar.

1. Berbanding lurus dengan panjang penghantar..
2. Berbanding terbalik dengan penampang penghantar.
3. Tergantung dari jenis penghantar

Satuan resistivitas dalam SI adalah: $\rho = \frac{L}{\sigma A} = \rho \frac{L}{A}$

5. Konduktansi

Konduktansi merupakan kebalikan dari resistansi, jika resistansi mempunyai

persamaan : $R = \rho \frac{L}{A}$ maka konduktansinya adalah : $G = \frac{1}{R} = \frac{1}{\rho} \frac{A}{L} = \frac{\sigma A}{L}$

di mana σ merupakan daya hantar atau konduktivitas dari penghantar. Satuan konduktivitas adalah mho.

Dari uraian tersebut, kita dapat menarik kesimpulan bahwa jika suatu penghantar mempunyai resistansi besar maka daya hantar (konduktansi) suatu penghantar akan kecil. Sebaliknya, jika resistansi kecil maka konduktansi suatu penghantar akan besar. Jadi resistansi adalah kebalikan dari konduktansi. Hal ini dapat dirumuskan :

$$\text{Resistansi} = \frac{1}{\text{Konduktansi}} \quad \text{atau} \quad R = \frac{1}{G}$$

6. Pengaruh Suhu Terhadap Resistansi

Resistansi tergantung dari panjang penghantar, penampang penghantar dan jenis bahan penghantar serta suhu penghantar. Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi antara lain :

1. Meningkatkan nilai resistansi pada logam dan alloy.
2. Menurunkan nilai resistansi seperti pada elektrolit, isolator misalnya kertas, karet, gelas, mika, dan sebagainya.

Jika suatu logam mempunyai resistansi R_0 pada 0°C , kemudian suhunya dinaikkan Δt dan resistansi menjadi R_t maka kenaikan resistansi : $\Delta R = R_t - R_0$ yang tergantung dari nilai resistansi awal, kenaikan temperatur, serta jenis bahan penghantar.

Secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan: $\Delta R = \alpha R_0 \Delta t$

$$R_t - R_0 = \alpha R_0 \Delta t$$

$$R_t = R_0 + \alpha R_0 \Delta t = R_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

dimana α merupakan suatu konstanta yang disebut koefisien temperatur dari resistansi

$$\text{yang besarnya : } \alpha = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta t}$$

Dalam praktik, koefisien temperatur untuk berbagai temperatur dianggap tetap. Padahal telah ditemukan bahwa nilai α tidak tetap untuk temperatur yang berbeda. Jika α pada temperatur 0°C disebut α_0 dan α pada temperatur $t^\circ\text{C}$ disebut α_t dan resistansi pada $t^\circ\text{C}$ besarnya R_t maka : $R_0 = R_t (1 - \alpha_t \Delta t)$ dan sebaliknya,

$R_t = R_0 (1 + \alpha_0 \Delta t)$ Berdasarkan persamaan di atas,

$$\alpha_t = \frac{R_t - R_0}{R_t \cdot \Delta t} \quad \alpha_t = \frac{R_0 (1 + \alpha_0 \Delta t) - R_0}{R_0 (1 + \alpha_0 \Delta t) \cdot t} \quad \alpha_t = \frac{\alpha_0}{1 + \alpha_0 t}$$

Secara umum jika α_1 = koefisien temperatur pada t_1

α_2 = koefisien temperatur pada t_2

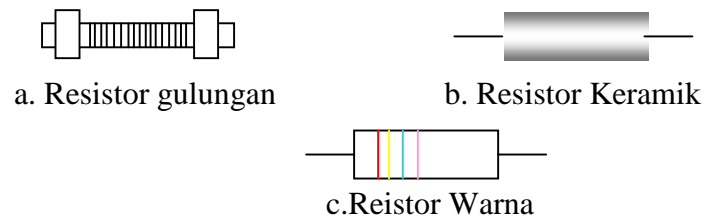
$$\text{maka, } \alpha_2 = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)} \quad \alpha_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + (t_2 - t_1)}$$

7. Resistor Linier dan Non Linier

Resistor biasanya terbuat dari logam atau campuran beberapa logam. Resistor dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu resistor linier dan resistor non linier. Resistor linier yaitu besarnya arus yang mengalir sebanding secara proporsional dengan besar tegangan yang diberikan pada resistor. Pada resistor linier besarnya resistansi tetap. Sedangkan resistor non linier adalah arus yang mengalir tidak sebanding proporsional dengan tegangan.

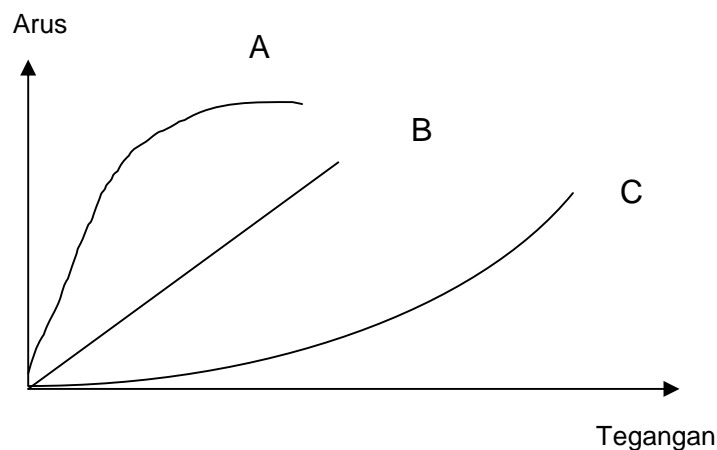
Resistor atau hambatan banyak dipakai pada teknik listrik dan elektronika. Resistor dibuat dengan berbagai cara, misalnya ada yang dibuat dari kawat tertentu (diantaranya nekalin) yang digulung sedemikian rupa dalam suatu kerangka. Seperti gambar 1.3a Resistor ini tahan terhadap temperature tinggi sehingga dapat digunakan untuk instalasi arus besar.

Selain resistor Janis kawat gulung, ada juga resistor yang dibuat dari keramik (semacam tanah liat) atau dari karbon yang disemperotkan pada keramik. Resistor semacam ini kurang tahan terhadap temperature sehingga hanya digunakan untuk arus yang kecil-kecil (banyak digunakan untuk alat-alat elektronika) seperti gambar 1.3b.



Gambar 1.3 Jenis-Jenis Resistor

Besarnya resistansi pada resistor non linier tidak tetap. Grafik arus sebagai fungsi tegangan ditunjukkan oleh Gambar 1.4.

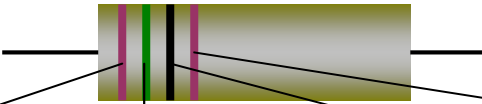


Gambar 1.4 Grafik Arus sebagai Fungsi Tegangan

8. Kode warna Resistor

Harga ohm dari suatu resistor dapat dibaca langsung pada badanya, yaitu dengan melihat angka- angka yang ditulis langsung pada badan. Akan tetapi, yang paling lazim dengan cara memberi lukisan gelang-gelang berwarna (4 buah gelang) biasanya disebut kode warna.

Contoh : Pemakaian kode warna Resistor



| Cincin warna Ke 1 Digit ke -1 | Cincin warna Ke 2 Digit Ke -2 | Cincin warna Ke 3 Banyaknya nol | Cincin warna Ke 4 Toleransi |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Hitam 0 | Hitam 0 | Hitam 0 | Emas 5% |
| Coklat 1 | Coklat 1 | Coklat 1 | Perak 10% |
| Merah 2 | Merah 2 | Merah 2 | |
| Jingga 3 | Jingga 3 | Jingga 3 | |
| Kuning 4 | Kuning 4 | Kuning 4 | |
| Hijau 5 | Hijau 5 | Hijau 5 | |
| Biru 6 | Biru 6 | Biru 6 | |
| Ungu 7 | Ungu 7 | Ungu 7 | |
| Abu-abu 8 | Abu-abu 8 | Abu-abu 8 | |
| Putih 9 | Putih 9 | Putih 9 | |

Contoh :

Gelang 1 warna merah = 2

Gelang 2 warna kuning = 4

Gelang 3 warna hijau = 10^5

Gelang 4 warna emas = 5%

Jadi, Nilai ideal resistor tersebut adalah 2.400.000 ohm dengan nilai toleransi 5%.

B. Lembar Latihan 1

1. Hitunglah jumlah elektron yang mengalir melalui penampang kawat selama 1 detik dengan arus listrik 1 A!
2. Hitunglah kepadatan arus dari suatu kawat aluminium yang mempunyai diameter 4 mm dan arus listrik yang mengalir 10 A!
3. Hitunglah resistansi suatu kawat manganin dengan panjang 100 m, yang mempunyai luas penampang $0,1 \text{ mm}^2$. dan hambatan jenisnya 50×10^{-8} ohm meter!
4. Hitunglah resistansi tembaga pada 62°C jika α tembaga $4,28 \times 10^{-3}$ per $^\circ\text{C}$ dan lilitan shunt dari generator DC mempunyai resistansi 135 ohm pada suhu 25°C !
5. Hitunglah tahanan awal sebuah lampu 230 V, 60 watt yang mempunyai filamen dengan suhu kerja normal 2020°C . jika α filamen = 0,0045 per $^\circ\text{C}$ dan suhu awal 20°C !

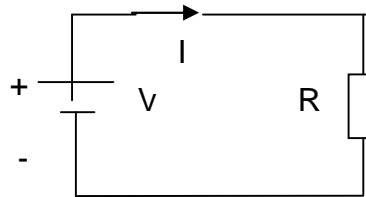
KEGIATAN BELAJAR 2

HUKUM OHM DAN KIRCHHOFF

A. Lembar Informasi

1. Hukum Ohm

Apabila sebuah penghantar R dihubungkan dengan sumber tegangan maka arus listrik akan mengalir dari kutub positif ke kutub negatif melewati hambatan R. Hal ini dapat ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Gambar yang Menjelaskan Hukum Ohm.

Besarnya arus listrik yang mengalir tergantung dari besarnya tegangan V dan hambatan R yang terpasang.

Hubungan antara arus dan tegangan pada sebuah hambatan, dinyatakan oleh hukum ohm yang berbunyi “tegangan pada sebuah hambatan sama dengan besarnya arus yang mengalir pada hambatan tersebut dikalikan dengan besarnya harga hambatan tersebut.” Dirumuskan sebagai berikut :

$$V = I \cdot R \text{ atau } I = V/R$$

V = tegangan (volt)

I = arus yang mengalir (ampere)

R = hambatan (ohm)

Hukum ohm berlaku untuk rangkaian listrik searah (DC) maupun rangkaian listrik arus boak-balik (AC).

2. Daya dan Energi

Berdasarkan hukum Ohm : $I = \frac{V}{R}$

Sedangkan daya listrik yang diserap oleh resistor : $P = I^2 R$ watt

$$P = I^2 R = V I = \frac{V^2}{R}$$

Energi yang diserap resistor selama t adalah : $W = P t = I^2 R t$

Jika t dalam satuan detik, I dalam ampere dan R dalam ohm, maka $W = I^2 R t$ Joule

Jika semua energi listrik berubah menjadi panas, maka $W = 0,24 I^2 R t$ kalori

1 kalori = 4,186 joule, sehingga: 1 joule = 0,24 kalori

3. Hukum Kirchoff

Untuk memecahkan persoalan-persoalan rangkaian yang rumit; yaitu rangkaian yang terdiri dari beberapa buah sumber tegangan atau sumber arus serta beberapa buah hambatan/beban maka dipergunakan hukum-hukum rangkaian, diantaranya hukum Kirchoff.

Hukum Kirchoff I

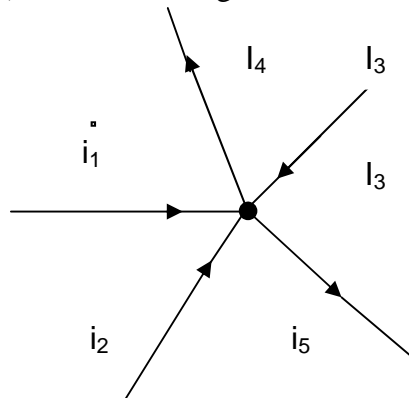
Hukum Kirchoff I berbunyi “jumlah aljabar dari arus yang menuju/ masuk dengan arus yang meninggalkan/keluar pada satu titik sambungan/cabang sama dengan nol “

Hal ini dapat digambarkan melalui Gambar 2.2 berikut ini. Hukum tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut : $\sum i = 0$

$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 - i_5 = 0$$

dimana:

- Arus yang masuk (i_1, i_2, i_3) diberi tanda positif.
- Arus yang keluar (i_4 dan i_5) diberi tanda negatif



Gambar 2.2 Gambar yang Menjelaskan Hukum Kirchoff I

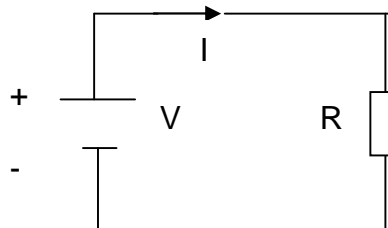
Hukum Kirchoff II

Hukum Kirchoff II ini berbunyi “di dalam satu rangkaian listrik tertutup jumlah aljabar antara sumber tegangan dengan kerugian-kerugian tegangan selalu sama dengan nol.”

Dirumuskan : $\sum V + \sum IR = 0$

Yang dimaksud dengan kerugian tegangan yaitu besarnya tegangan dari hasil kali antara besarnya arus dengan hambatan yang dilalui.

Secara mudah untuk memahami rumus di atas (lihat Gambar 2.3), apabila tegangan V diberi tanda positif, maka besarnya tegangan IR harus diberi tanda negatif. Sehingga : $+V - IR = 0$



Gambar 2.3 Gambar Penjelasan Hukum Kirchoff II

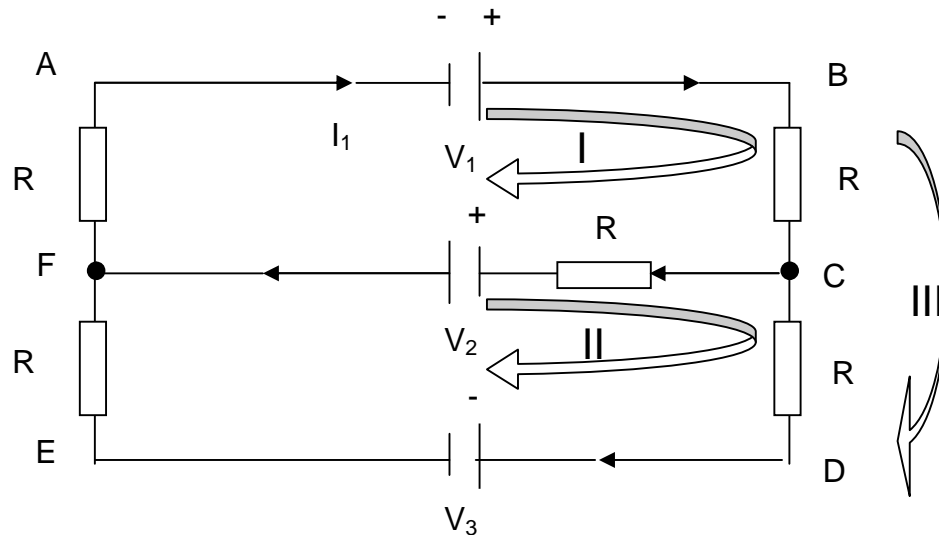
Harus dipahami bahwa penggunaan hukum Kirchoff ini berlaku pada rangkaian tertutup. Jika rangkaian listrik terdiri dari beberapa rangkaian tertutup, maka dalam analisisnya dibuat persamaan menurut rangkaian tertutup satu per satu. Untuk pemahaman diberikan ilustrasi dengan Gambar 2.4 berikut ini .

Analisis menurut Hukum Kirchoff I, rangkaian ini mempunyai dua titik pertemuan yaitu titik C dan F, maka pada titik ini berlaku :

Titik C : $I_1 - I_2 - I_3 = 0$

Titik F : $I_2 + I_3 - I_1 = 0$

Untuk memahami Hukum Kirchoff II, rangkaian di atas dapat dibuat tiga lingkaran tertutup yaitu : I, II dan III.



Gambar 2.4 Rangkaian Listrik dengan Beberapa Rangkaian Tertutup.

Pada lingkaran I, yaitu lingkaran A – B – C – F – A: terjadi $V_1 - I_1R_1 - I_2R_2 + V_2 - I_1R_5 = 0$

Pada lingkaran II yaitu lingkaran F – C – D – E – F: terjadi $-V_2 + I_2R_2 - I_3R_3 - V_3 - I_3R_4 = 0$

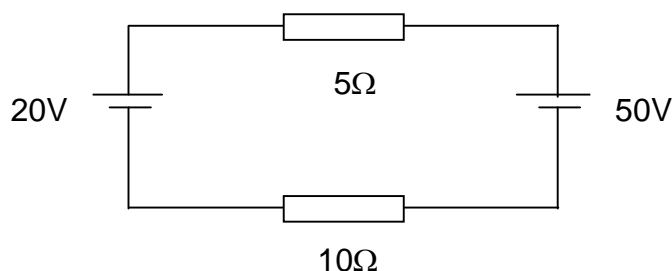
Pada lingkaran III yaitu A – B – C – D – E – F – A: terjadi $V_1 - I_1R_1 - I_3R_3 - V_3 - I_3R_4 - I_1R_5 = 0$

Untuk mempermudah penggunaan hukum Kirchoff perlu diketahui:

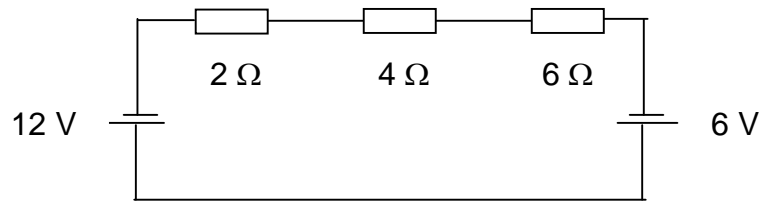
1. Dalam menentukan arah arus pada tiap cabang bebas tetapi harus diingat bahwa arah arus pada tiap-tiap percabangan harus ada yang masuk dan keluar.
2. Tentukan arah tiap kelompok secara bebas (pada contoh di atas ada tiga). Sebaiknya semuanya searah (seperti contoh di atas). Arah arus dari kelompok lingkaran digunakan sebagai dasar untuk memberikan tanda positif atau negatif pada sumber tegangan (V) maupun rugi tegangan (IR) dalam persamaan nantinya.
3. Setelah ditentukan arah arus kelompok, maka dibuat persamaan terhadap tiap kelompok, arah arus listrik tiap cabang yang searah dengan arah arus yang menuju kutub sumber tegangan, maka harga sumber tegangan tersebut positif. (lihat contoh untuk lingkaran I).
4. Bahwa arus listrik yang mengalir dalam satu cabang besarnya sama (pada contoh: arus yang mengalir pada R_3 dan R_4 adalah sama yaitu I_3).
5. Apabila nantinya setelah dihitung ternyata harga arus pada cabang tertentu berharga negatif, ini menunjukkan bahwa arah arus yang ditentukan semula adalah salah, oleh karenanya perlu dibalik.

B. Lembar latihan 2

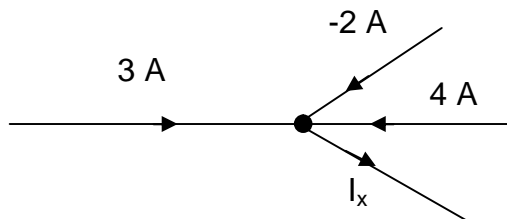
1. Hitunglah arus dan daya yang diserap oleh setiap resistor dalam rangkaian di bawah ini:



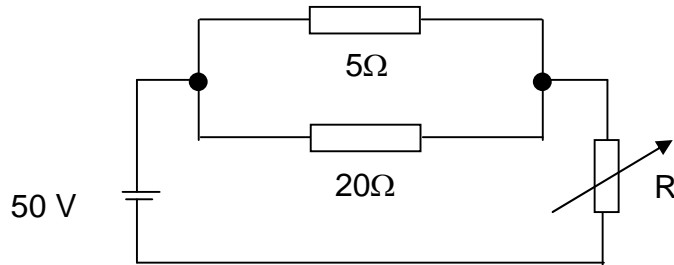
2. Hitunglah arus, daya dan tegangan setiap resistor dari rangkaian di bawah ini.



3. Hitung I_x dari cabang di bawah ini!



4. Resistor R diatur sehingga daya pada tahanan 5Ω adalah 20 W. 5Ω adalah 20 W



KEGIATAN BELAJAR III

RESISTOR SERI DAN PARALEL

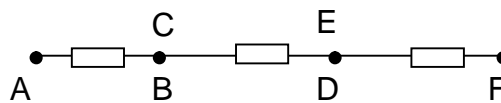
A. Lembar Informasi

Ada tiga macam sambungan hambatan / resistor, yaitu sambungan seri, sambungan paralel dan sambungan campuran (seri-paralel). Dari beberapa resistor yang disambung dengan jalan di atas, dapat ditentukan satu buah hambatan pengganti.

1. Sambungan Seri

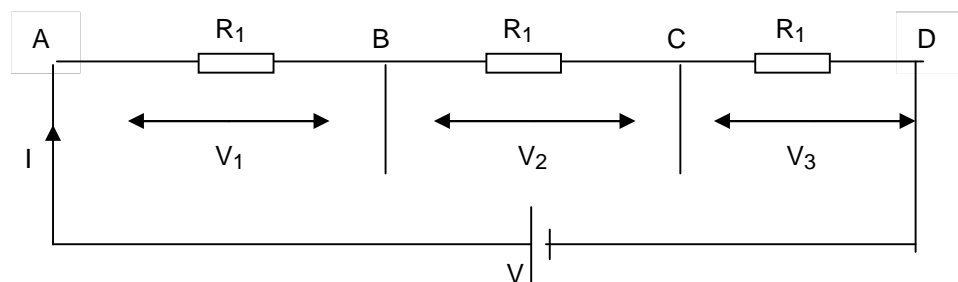
Sambungan seri disebut juga sambungan deret. Resistor-resistor dikatakan sambungan seri apabila dua resistor atau lebih disambung dengan cara ujung akhir dari resistor pertama disambungkan dengan ujung awal dari resistor kedua, ujung akhir resistor kedua disambungkan dengan ujung awal resistor ketiga dan seterusnya..

Contoh pada Gambar 3.1 tiga buah hambatan yaitu: AB, CD, EF disambung seri



Gambar 3.1 Rangkaian Seri

Rangkaian di atas menunjukkan, ujung B disambung dengan ujung C dan ujung D disambung dengan ujung E. Untuk mengetahui berapa besar satu hambatan pengganti dari sambungan seri dari beberapa hambatan, dapat dibuktikan dengan menggunakan hukum Ohm dan Kirchoff. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Resistor Seri

Pada rangkaian resistor seri di atas ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Arus listrik yang mengalir pada ketiga resistor sama.
2. Drop tegangan pada tiap resistor berbeda jika besar resistansi sama.
3. Jumlah dari ketiga drop tegangan sama dengan tegangan sumber.

Untuk menghitung resistansi ekuivalen dari ketiga resistor adalah sebagai berikut.

$$V_1 = IR_1 \quad V_2 = IR_2 \quad V_3 = IR_3$$

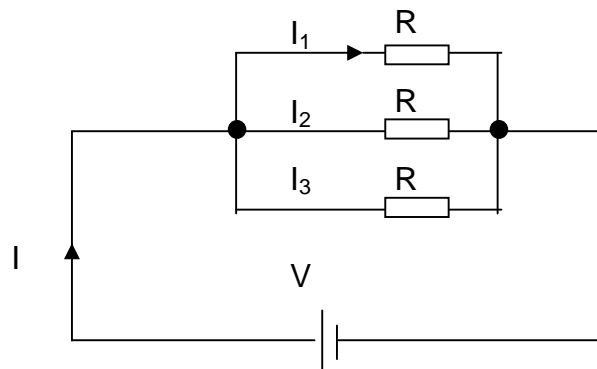
$$V = V_1 + V_2 + V_3 = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$$

$$\frac{V}{I} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$\frac{V}{I} \text{ merupakan resistansi ekuivalen } R \text{ sehingga } R = R_1 + R_2 + R_3.$$

2. Sambungan Paralel

Jika resistor R_1, R_2, R_3 disusun seperti gambar 3.3 maka disebut dengan susunan paralel.



Gambar 3.3 Resistor Paralel

Pada rangkaian resistor paralel ada beberapa hal yang perlu diperhatikan diantaranya :

1. Drop tegangan pada setiap resistor sama.
2. Arus pada setiap resistor berbeda sesuai hukum ohm.
3. Arus total merupakan jumlah dari ketiga arus cabang.

Untuk menghitung resistansi ekivalen dari susunan resistor paralel sebagai berikut :

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$$

$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \frac{I}{V} = \frac{1}{R} \text{ sehingga } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

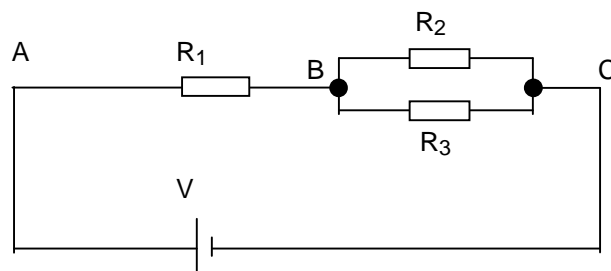
Jika resistor hanya dua buah disusun paralel maka

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

3. Sambungan Seri dan Paralel

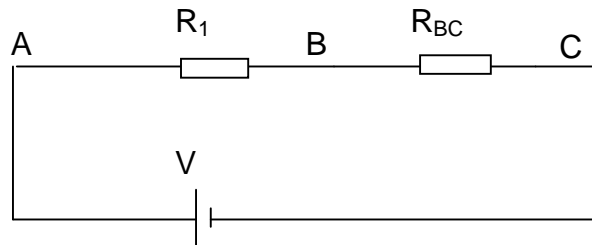
Sambungan seri-paralel merupakan sambungan atau rangkaian yang terdiri dari resistor-resistor yang tersambung dalam “sistem seri” maupun “sistem paralel”. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3.4 Rangkaian Sambungan Seri dan Paralel

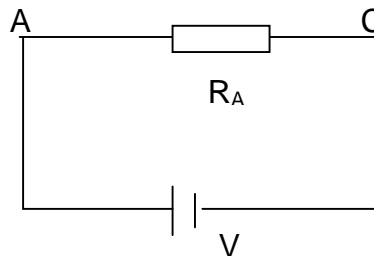
Dalam rangkaian/sambungan ini, R_2 paralel dengan R_3 , kemudian hambatan penggantinya (R_{BC}) disambung seri dengan R_1 .

Untuk mencari hambatan pengganti dari sambungan di atas yaitu besarnya hambatan antara titik A – C dapat dilakukan dengan terlebih dahulu mencari hambatan pengganti antara titik B – C, yaitu R_{BC} yang diseri dengan R_1 dan R_2 dengan R_3 . Selanjutnya R_{BC} ini diseri dengan R_1 yang hasilnya merupakan hambatan pengganti antara titik A – C yang disebut R_{AC} . Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 3.5 dan 3.6 di bawah ini.



Gambar 3.5 Gambar Hasil Penyederhanaan

$$R_{BC} = R_1 // R_2 \quad R_{AC} = R_1 + R_{BC} \quad R_{BC} = R_2 // R_3$$

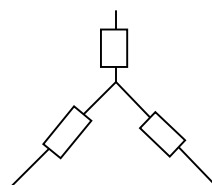


Gambar 3.6 Gambar Hasil Penyederhanaan

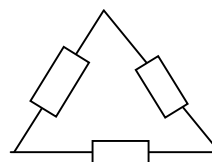
4. Sambungan “Bintang” dan “Segitiga”

Apabila tiga buah resistor disambung dengan jalan ketiga ujungnya disambung menjadi satu, sambungan ini disebut sambungan “bintang” (Y)”; jenis sambungan ini ditunjukkan oleh Gambar 3.7.a. Tetapi apabila ketiga resistor disambung dengan jalan ujung yang satu disambung dengan ujung hambatan yang lain seperti pada Gambar 3.7.b sambungan ini disebut sambungan “segitiga” atau delta.

Untuk menyelesaikan persoalan model sambungan tersebut, perlu diubah menjadi sambungan jenis lain tetapi mempunyai nilai yang sama. Sehingga sambungan yang semula berbentuk bintang dapat diganti menjadi sambungan segitiga dan sebaliknya, yaitu sambungan berbentuk segitiga dapat diubah menjadi bentuk bintang.



a. Sambungan bintang



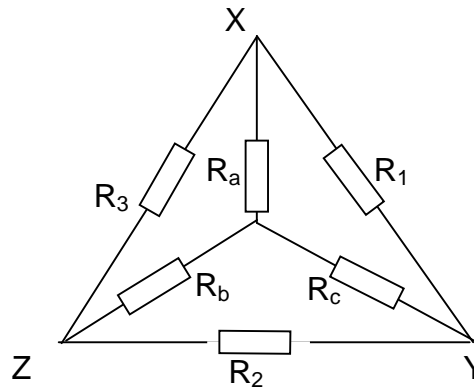
b. Sambungan segitiga

Gambar 3.7 Resistor Sambungan Segitiga dan Bintang

a. Sambungan segitiga diubah menjadi sambungan bintang

Untuk mengganti sambungan segitiga menjadi sambungan bintang dapat ditunjukkan oleh Gambar 3.8 di bawah ini:

Hambatan R_1 , R_2 dan R_3 merupakan hambatan semula yang tersambung segitiga, sedang R_a , R_b dan R_c merupakan hambatan pengganti yang tersambung bintang.



Gambar 3.8 Sambungan Segitiga yang Diubah Menjadi Sambungan Bintang

Untuk mempermudah maka kita besarnya hambatan diukur dari titik X dan Y, maka besarnya hambatan ditinjau terhadap sambungan segitiga (sambungan semula)

$$\text{yaitu : } R_{XY} = R_1 // R_2 + R_3 = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Besarnya hambatan ditinjau terhadap sambungan bintang: $R_{XY} = R_a + R_b$

$$\begin{aligned} R_{XY} &= R_1 // R_2 + R_3 \\ &= \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \end{aligned}$$

Besarnya hambatan ditinjau terhadap sambungan bintang : $R_{XY} = R_A + R_B$

Jadi ditinjau terhadap titik X – Y didapat persamaan :

$$R_a + R_b = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(1)$$

Analog jalan diatas dipandang terhadap titik Y – Z didapat :

$$R_b + R_c = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(2)$$

Begitu juga dipandang terhadap titik Z – X didapat :

$$R_c + R_a = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(3)$$

Bila persamaan (1) dikurangi dengan persamaan (2) didapat :

$$R_a - R_c = \frac{R_1 R_2 - R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \text{ (hasil ini ditambah persamaan (3))}$$

$$R_a + R_c = \frac{R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

----- +

$$2R_a = \frac{2R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_a = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Selanjutnya bila pers. (1) dikurangi dengan pers. (3) kemudian hasilnya ditambah

$$\text{dengan pers. (2), didapatkan : } R_b = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Begitu pula pers. (2) dikurangi dengan pers. (1) dan kemudian hasilnya ditambah

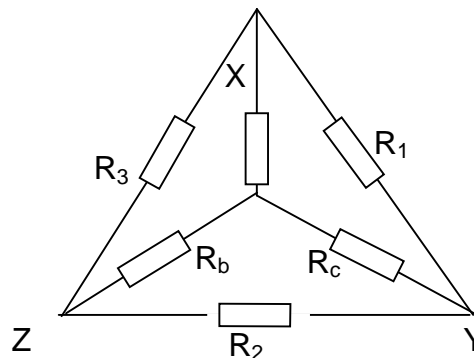
dengan pers. (3) didapatkan : $R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$

Dapat disimpulkan, jika sambungan segitiga diubah menjadi sambungan bintang, maka besarnya hambatan pada sambungan bintang memenuhi harga:

$$R_s = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_2 + R_3} \quad R_b = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad R_c = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

b. Sambungan bintang diubah menjadi sambungan segitiga

Pada Gambar 3.9 di bawah, R_a , R_b dan R_c merupakan hambatan yang tersambung bintang, sedangkan R_1 , R_2 dan R_3 merupakan hambatan-hambatan pengganti yang terhubung segitiga.



Gambar 3.9 Sambungan Bintang diubah Menjadi Sambungan Segitiga

Untuk mencari besarnya hambatan pengganti (R_1 , R_2 , R_3) dapat diperoleh dengan cara sebagai berikut :

- Kalikan R_a dengan R_b ; R_b dan R_c , R_a dengan R_c (menggunakan persamaan-persamaan yang didapat dari sambungan segitiga diubah menjadi sambungan bintang).
- Jumlahkan hasil-hasil persamaan tersebut.

$$R_a R_b = \frac{R_1^2 R_2 R_3}{(R_1 + R_2 + R_3)^2} \quad R_b R_c = \frac{R_2^2 R_1 R_3}{(R_1 + R_2 + R_3)^2} \quad R_a R_c = \frac{R_3^2 R_1 R_2}{(R_1 + R_2 + R_3)^2}$$

Hasil-hasil diatas dijumlahkan sehingga akan didapatkan :

$$R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c = \frac{R_1^2 R_2 R_3 + R_2^2 R_1 R_3 + R_3^2 R_1 R_2}{(R_1 + R_2 + R_3)^2} \\ = \frac{R_1 R_2 R_3 (R_1 + R_2 + R_3)}{(R_1 + R_2 + R_3)^2} = R_1 \frac{R_2 R_3}{(R_1 + R_2 + R_3)}$$

Kemungkinan variasi persamaan.

- $R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c = R_1 \frac{R_2 R_3}{(R_1 + R_2 + R_3)} = R_1 R_c$
- $R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c = R_2 \frac{R_2 R_3}{(R_1 + R_2 + R_3)} = R_2 R_a$

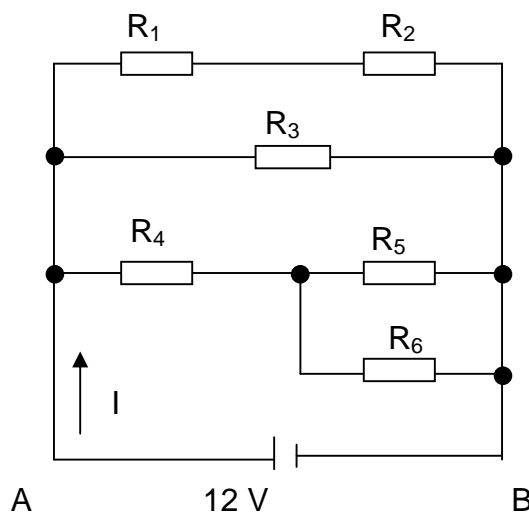
$$\blacksquare R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c = R_3 \frac{R_2 R_3}{(R_1 + R_2 + R_3)} = R_3 R_b$$

Dari persamaan-persamaan di atas didapat harga hambatan pengganti dari sambungan bintang yang diubah ke segitiga, yaitu:

$$R_1 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_c} \quad R_2 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_a} \quad R_3 = \frac{R_a R_b + R_b R_c + R_a R_c}{R_b}$$

B. Lembar Latihan 3

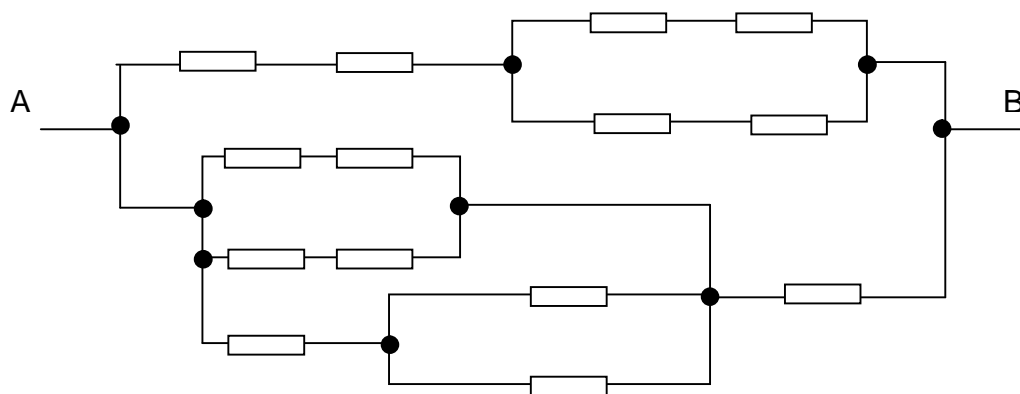
1. Hitunglah besarnya R_{AB} dan I dari rangkaian di bawah ini !



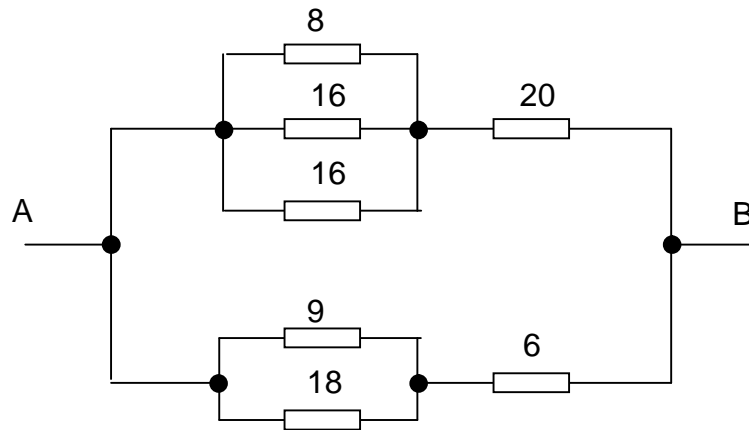
Diketahui besarnya masing-masing R adalah sebagai berikut :

$R_1 = 2 \text{ Ohm}$, $R_2 = 10 \text{ Ohm}$, $R_3 = 15 \text{ Ohm}$,
 $R_4 = 6 \text{ Ohm}$, $R_5 = 60 \text{ Ohm}$ dan $R_6 = 40 \text{ Ohm}$.

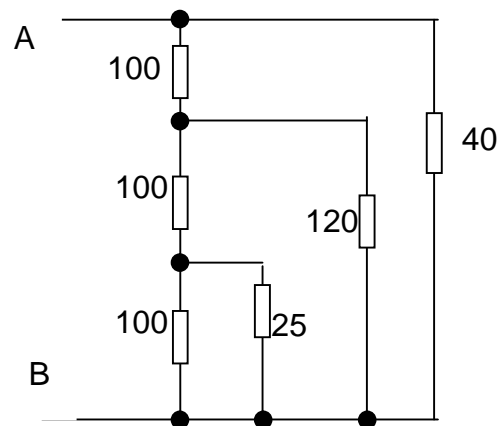
2. Berapakah besar hambatan pengganti antara A dan B, bila besarnya hambatan yang terpasang masing-masing adalah 20 Ohm !



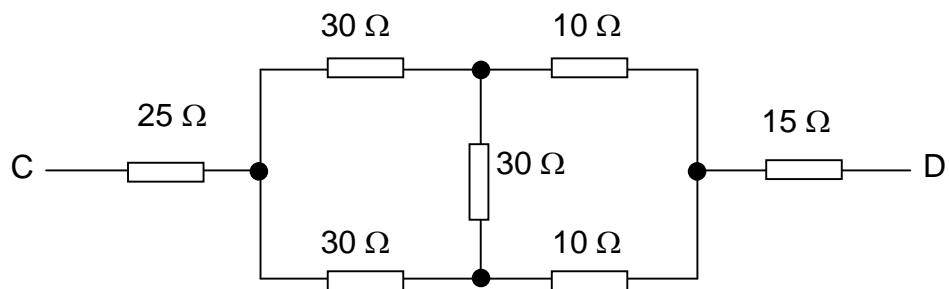
3. Hitunglah hambatan ekuivalen antara A dan B dari rangkaian di bawah ini dalam !



4. Hitunglah besarnya hambatan ekivalen antara A dan B dari rangkaian di bawah ini !



5. Hitunglah hambatan ekivalen anantara C dan D dari rangkaian di bawah ini!



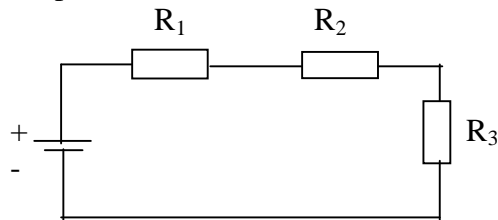
KEGIATAN BELAJAR 4

TEGANGAN DAN DAYA LISTRIK DC

A. Lembar Informasi

1. Penerapan Hukum Ohm

Untuk menghitung besar arus atau tegangan pada suatu rangkaian sederhana dapat menggunakan hukum ohm dan hukum Kirchoff secara bersama-sama. Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Contoh Rangkaian

Menurut hukum ohm, tegangan pada masing-masing tahanan adalah sebagai berikut :

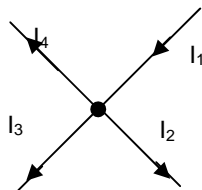
$$R_1 \text{ disebut } V_{R1} = IR_1$$

$$R_2 \text{ disebut } V_{R2} = IR_2$$

$$R_3 \text{ disebut } V_{R3} = IR_3$$

2. Penerapan Hukum Kirchoff

Seorang ahli ilmu dari Jerman, Gustav Kirchhoff, telah menemukan cara untuk menyelesaikan perhitungan rangkaian listrik atau jala – jala yang tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan hukum ohm, yaitu ketentuan – ketentuan rangkaian seri, parallel, maupun seri – parallel. Selanjutnya, cara ini disebut Hukum Kirchhoff pertama, yang berbunyi : “jumlah aljabar dari arus – arus listrik pada suatu titik pertemuan dari lingkaran listrik selalu sama dengan nol “.



Hukum Kirchhoff kedua, hubungan dengan lingkaran listrik tertutup dan berbunyi :

“ Dalam suatu lingkaran tertutup, jumlah antara GGL – GGL dengan kehilangan tegangan selalu sama dengan nol “

Berdasarkan hukum Kirchhoff II tentang tegangan bahwa jumlah tegangan dalam rangkaian tertutup sama dengan nol. Berdasarkan rangkaian di atas hukum Kirchhoff II persamaan tegangan dapat ditulis sebagai berikut :

$$-V + IR_1 + IR_2 + IR_3 = 0$$

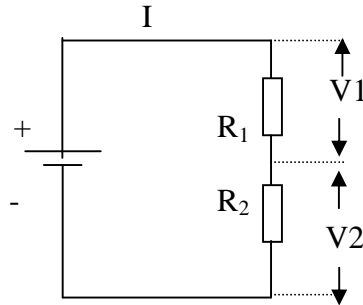
$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = V$$

$$I(R_1 + R_2 + R_3) = V$$

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2 + R_3}$$

3. Rangkaian Pembagi Tegangan

Dalam rangkain listrik arus searah untuk meperoleh suatu tegangan tertentu dapat menggunakan suatu kombinasi tahanan tertentu , rangkaian seperti ini disebut rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi Tegangan yang sederhana dapat ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Rangkaian Pembagi Tegangan

Besarnya arus yang mengalir dalam rangkaian adalah : $I = \frac{V}{R_1 + R_2}$

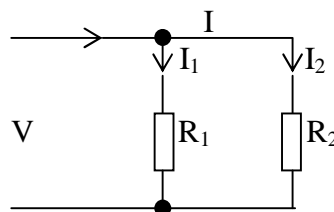
Tegangan pada R_2 adalah : $V_2 = I \cdot R_2$

$$= \frac{V}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \quad V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V$$

Dengan cara yang sama tegangan pada R_1 diperoleh : $V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V$

4. Rangkaian Pembagi Arus

Dalam rangkaian pembagi tegangan tahanan disusun secara seri, sedangkan dalam rangkaian pembagi arus tahanan disusun secara paralel. Rangkaian pembagi arus ditunjukkan oleh Gambar 4.3.

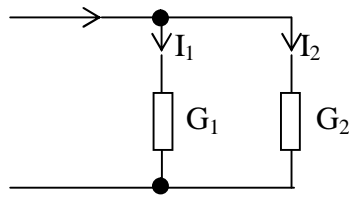


Gambar 4.3 Gambar Rangkaian Pembagi Arus

Persamaan-persamaan yang didapatkan dari rangkaian di atas adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} I_1 R_1 &= I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} & V &= I \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} & V &= I_1 \cdot R_1 = I_2 \cdot R_2 \\ I_2 R_2 &= I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} & I_2 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot I & I_1 &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \\ V_1 &= \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot V & R_{ek} &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned}$$

Jika dinyatakan dalam konduktansi (lihat Gambar 4.4)



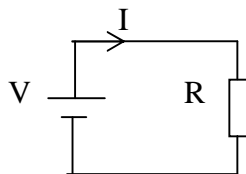
$$I_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} I$$

$$I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I$$

Gambar 4.4 Rangkaian dengan Konduktansi.

5. Daya dan Energi Arus Searah

Jika suatu sumber tegangan V diberikan beban R sehingga arus yang mengalir pada I , maka sumber tegangan menyalurkan daya listrik sedangkan R menyerap daya listrik. Kedua daya ini besarnya sama. Perhatikan Gambar 4.5 di bawah ini.



Besarnya Daya: $P = V \cdot I$
 P = daya (watt)
 V = tegangan (volt)
 I = arus (ampere)

Gambar 4.5 Rangkaian Dengan Sumber Tegangan V dengan Beban R

Karena $V = I \cdot R$, maka jika V diganti dengan IR diperoleh : $P = IR \cdot I = I^2 R$

Jika I diganti dengan V/R pada persamaan : $P = V \cdot I = V \cdot V/R = V^2/R$

sehingga diperoleh :

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = V^2 / R$$

Energi listrik yang disalurkan oleh sumber tegangan sama dengan energi listrik yang diserap oleh R . Besar energi listrik yang disalurkan sama dengan daya dikalikan waktu.

$$W = P \cdot t = V \cdot I \cdot t = I^2 R T = (V^2 / R) \cdot t$$

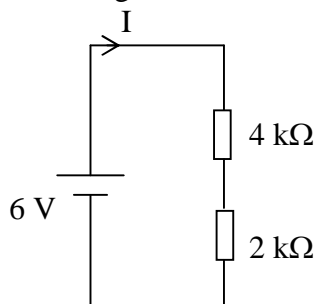
Dalam Sistem Internasional satuan daya adalah watt, satuan waktu adalah detik sehingga satuan energi (W) adalah Watt detik = joule

Dalam sehari – hari satuan energi listrik dinyatakan dengan kwh (kilo watt jam)

$$1 \text{ kwh} = 3,6 \times 10^6 \text{ joule}$$

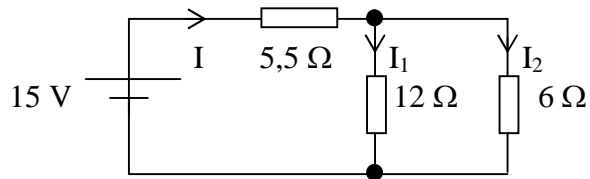
B. Lembar Latihan 4

1. Dua buah tahanan 50 ohm dan 100 ohm disusun seri dihubungkan dengan dua buah baterai yang diseri masing–masing 1,5 volt. Hitunglah arus yang mengalir dan tegangan pada tiap–tiap tahanan!
2. Sebuah aki 6 V mempunyai tahanan dalam 0,5 ohm dihubungkan dengan tahanan 5,5 ohm. Hitunglah arus yang mengalir dan tegangan pada tahanan!
3. Perhatikan rangkaian di bawah ini!



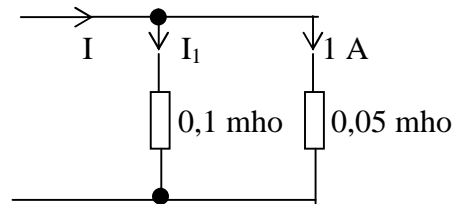
Hitunglah arus yang mengalir dan tegangan pada setiap tahanan!

4. Perhatikan rangkaian dibawah ini !

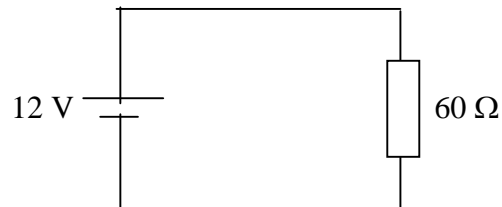


Hitunglah I , I_1 , I_2

5. Hitunglah tegangan pada setiap tahanan pada soal no. 4!
 6. Hitunglah arus pada setiap cabang dibawah ini!



7. Hitunglah daya total yang diserap pada soal no.6!
 8. Perhatikan rangkaian dibawah ini !



Hitunglah !

- Daya yang diserap tahanan
- Energi listrik yang diserap dalam 1 jam
- Panas yang dilepas tahanan dalam 1 jam

KEGIATAN BELAJAR 5

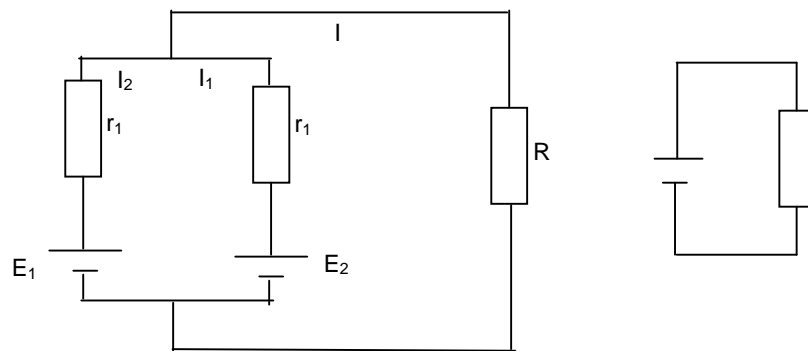
TEORI SUPERPOSISI, THEVENIN DAN NORTON

A. Lembar Informasi

1. Teori Superposisi

Teorema superposisi mengatakan arus pada salah satu cabang dalam rangkaian adalah akibat dari semua sumber tegangan dalam seluruh rangkaian tersebut, sehingga harga tegangan antara dua titik disebabkan oleh sumber – sumber tegangan dalam seluruh rangkaian.

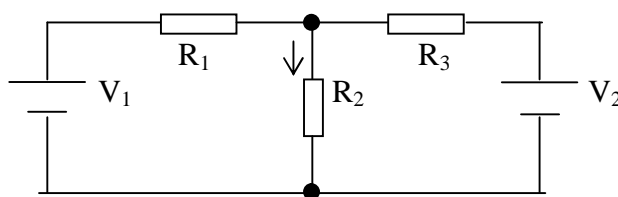
Untuk menghitung arus ini dengan cara menganggap bahwa arus rangkaian hanya disuplai dari salah satu sumber dengan menganggap sumber lain bertegangan nol. Akan tetapi perlawanan (resistansi) dalam sumber arus itu tetap dalam sirkuit listrik, Sehingga didapat persamaan : $I = a \cdot E_1 + b \cdot E_2$



Gambar 5.1 Teorema Superposisi

Teori superposisi digunakan untuk menganalisa rangkaian yang terdiri dari beberapa sumber dan tahanan. Sumber dapat berupa tegangan atau sumber arus. Teori superposisi memudahkan menentukan arus pada suatu cabang dengan menganggap sumber bekerja satu per satu. Arus total pada cabang tersebut merupakan jumlah aljabar dari arus tiap-tiap sumber dengan memperhatikan arah arus.

Apabila mengerjakan satu sumber, maka sumber yang lain dihubungkan singkat (untuk sumber tegangan) dan dihubungkan terbuka untuk sumber arus. Untuk lebih jelasnya perhatikan rangkaian pada Gambar 5.2 di bawah ini.

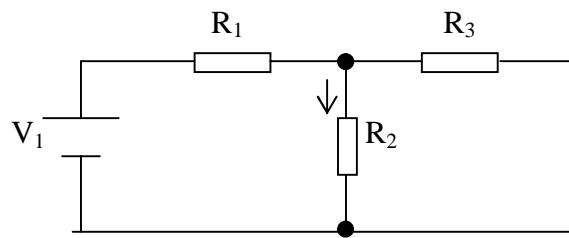


Gambar 5.2 Rangkaian dengan Dua Sumber

Untuk menghitung arus pada R_2 dapat dilakukan dengan menghitung arus yang disebabkan V_1 dan V_2 secara bergantian kemudian dijumlahkan .

Langkah – langkah menghitung arus pada R_2 adalah sebagai berikut :

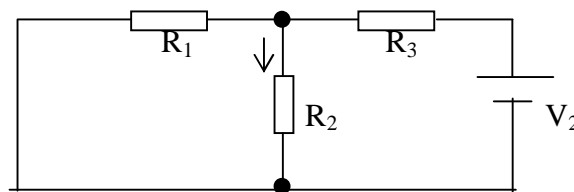
1. Arus oleh sumber tegangan V_1 adalah I_1 , rangkaian ekivalen seperti Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Rangkaian Ekivalen

Dalam hal ini V_2 dihubung singkat. $I_1 = \frac{V_1}{R_1 + R_2 // R_3} \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3}$

2. Menghitung arus oleh sumber tegangan V_2 , V_1 dihubung singkat maka rangkaian ekivalen sebagai berikut (Gambar 5.4) :

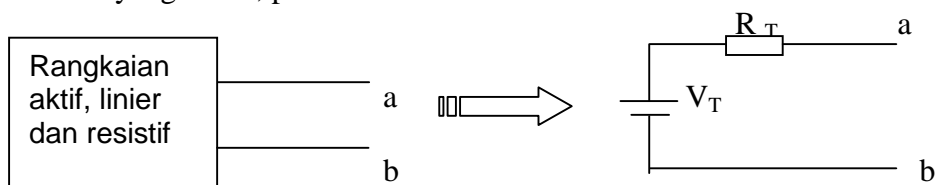
Gambar 5.4 Sumber Tegangan V_1 Dihubung Singkat.

$$I_2 = \frac{V_2}{R_3 + R_2 // R_1} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

3. Arus yang mengalir pada R_2 yaitu I merupakan jumlah dari I_1 dan I_2 karena arahnya sama, yaitu : $I = I_1 + I_2$

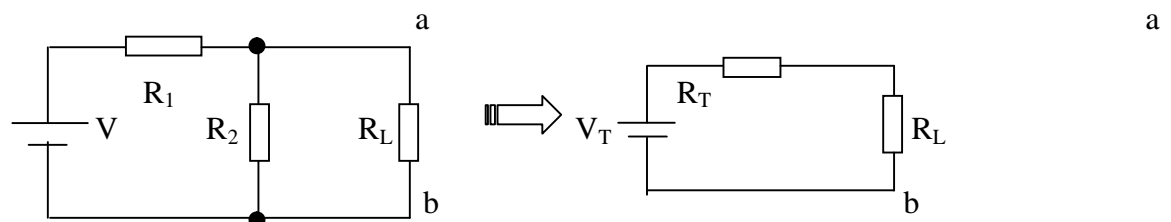
2. Teori Thevenin

Suatu rangkaian aktif, linier dan resistif yang mengandung satu atau lebih sumber tegangan atau sumber arus dapat diganti dengan sebuah sumber tegangan dan sebuah tahanan yang diseri, perhatikan Gambar 5.5.



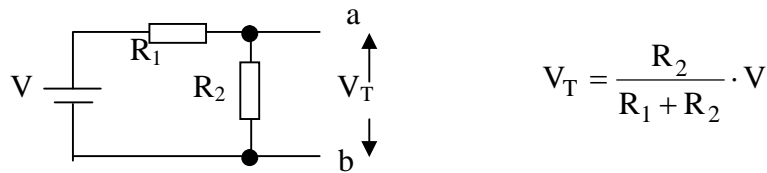
Gambar 5.5 Rangkaian Dengan Sumber Tegangan Pengganti

V_T disebut tegangan pengganti Thevenin, R_T disebut tahanan pengganti Thevenin. Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar 5.6 di bawah ini.



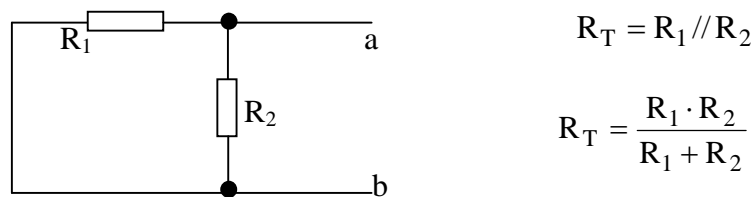
Gambar 5.6 Rangkaian dengan R Pengganti

Untuk menghitung V_T beban R_L dilepas, tegangan antara a dan b tanpa R_L merupakan tegangan V_T . (perhatikan Gambar 5.7)



Gambar 5.7 Rangkaian Untuk Menghitung V_T

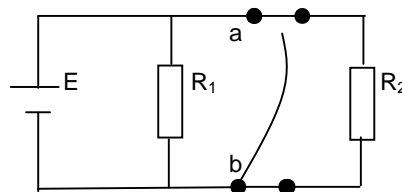
Untuk menghitung R_T dengan mencari tahanan antara a dan b (dengan sumber tegangan dihubungkan singkat). Hal ini dapat diperjelas dengan melihat Gambar 5.8 di bawah ini.



Gambar 5.8 Menghitung R_T Dengan Sumber Tegangan Dihubung Singkat

3. Teori Norton

Teorema Norton menggunakan cara memotong rangkaian seperti gambar 5.9, sehingga saluran terpisah di a. selanjutnya, dengan cara mentransformer/mengubah sumber tenaga listrik menjadi sumber arus.



Gambar 5.9 Teorema Norton

Dalam gambar terlihat bahwa besar sumber arus dapat dinyatakan dengan : $I = \frac{E_{ab}}{R_1}$

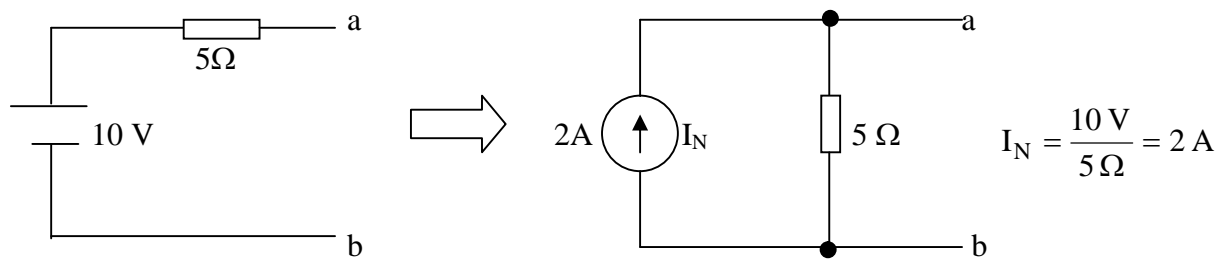
Selanjutnya arus pada R_2 setelah dipasang adalah susut tegangan a – b dibagi R_2

$$I = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Dimana : E_{ab} = Tegangan klem sebelum ada beban
 R = Resistansi dalam sumber tegangan baru

Suatu rangkaian aktif, linier dan resistif yang mengandung satu atau lebih sumber tegangan atau sumber arus dapat diganti dengan sebuah sumber arus dan sebuah tahanan yang diparalel dengan sumber arus.

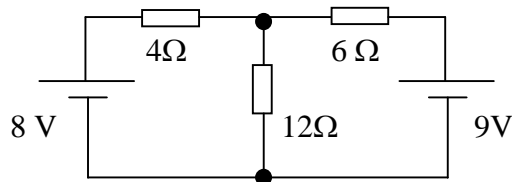
Untuk menghitung sumber arus beban dilepas lalu dicari arus hubung singkat. Sedangkan untuk menghitung tahanan pengganti caranya sama dengan mencari tahanan pengganti Thevenin. Antara teori Thevenin dan Norton mempunyai hubungan yang sangat erat. Jika rangkaian pengganti Thevenin sudah dihitung maka rangkaian pengganti Norton mudah ditentukan. Misalnya rangkaian pengganti Thevenin di atas diganti Norton menjadi seperti Gambar 5.10 berikut ini.



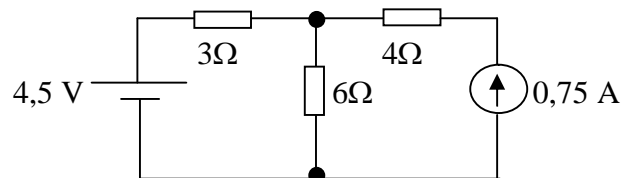
Gambar 5.10 Gambar Ekivalen Teori Norton

B. Lembar Latihan 5

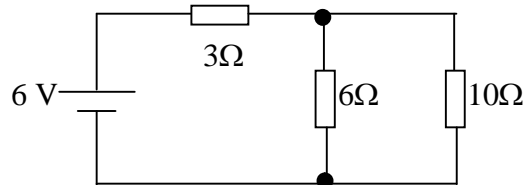
1. Hitung arus yang mengalir pada tahanan 12 ohm dengan menggunakan teori superposisi !



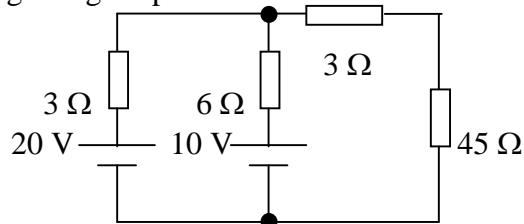
2. Hitunglah arus yang mengalir pada tahanan 6 ohm dari rangkaian di bawah ini!



3. Hitunglah daya yang diserap tahanan 10 ohm dengan menggunakan teori Thevenin!



4. Hitunglah arus yang mengalir pada tahanan 45 ohm dari rangkaian di bawah ini!



5. Hitunglah energi yang diserap tahanan 45 ohm pada soal no. 4 selama 5 menit!

KEGIATAN BELAJAR 6

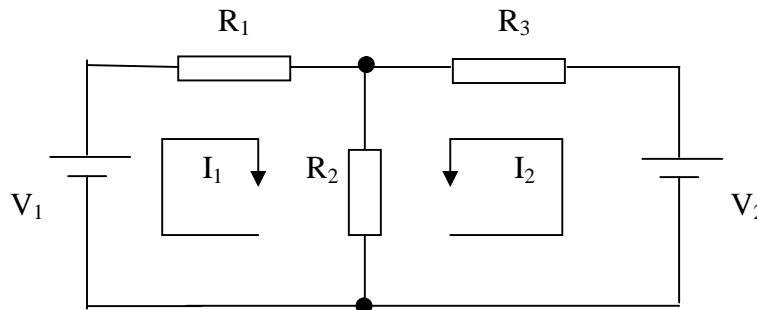
ANALISIS LOOP

A. Lembar Informasi

Teknik menganalisis rangkaian listrik dengan menggunakan analisis loop merupakan pengembangan dari penggunaan hukum Kirchoff II tentang tegangan. Persamaan-persamaan loop merupakan persamaan tegangan dalam rangkaian tertutup. Langkah-langkah dalam analisis loop ini untuk menentukan arus loop, persamaan tegangan, dan metode penyelesaian persamaan tegangan.

1. Arus Loop

Arus dalam rangkaian tertutup digambarkan dengan arus loop yang dapat diberi arah sembarang. Jika hasil perhitungan menghasilkan nilai negatif maka arah arus terbalik. Jika pada suatu cabang rangkaian ada dua arus loop maka arus riil dari cabang tersebut merupakan jumlah dari arus loop sesuai dengan tandanya. Perhatikan Gambar 6.1 berikut.



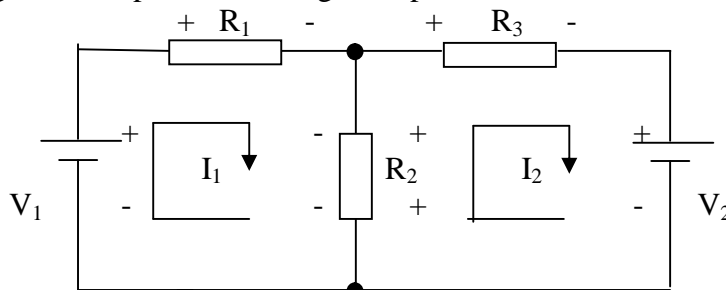
Gambar 6.1 Cabang Rangkaian Dengan Arus Loop.

2. Persamaan Tegangan

Persamaan tegangan diuraikan berdasarkan hukum Kirchoff tentang tegangan, yaitu jumlah tegangan dalam suatu rangkaian tertutup sama dengan nol. Dalam menuliskan persamaan tegangan perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Untuk sumber tegangan arus masuk polaritas negatif persamaan tegangan ditulis negatif, masuk polaritas positif ditulis positif.
- Untuk tahanan ujung tempat arus loop polaritas positif dan tempat keluar polaritas negatif.

Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar 6.2 di bawah ini.



Gambar 6.2 Contoh Rangkaian Untuk Menguraikan Persamaan Tegangan

Persamaan tegangan loop I

$$- V_1 + I_1 R_1 + (I_1 - I_2) R_2 = 0$$

$$- V_1 + I_1 R_1 + I_1 R_2 + I_2 R_2 = 0$$

$$I_1 (R_1 + R_2) - I_2 R_2 = V_1 \dots \dots \dots (1)$$

Persamaan tegangan loop II

$$V_2 + (I_2 - I_1) R_2 + I_2 R_3 = 0$$

$$V_2 + I_2 R_2 - I_1 R_2 + I_2 R_3 = 0$$

$$-I_1 R_2 + I_2 (R_2 + R_3) = -V_2 \dots \dots \dots (2)$$

Jika persamaan (1) dan (2) ditulis kembali :

$$I_1 (R_1 + R_2) - I_2 R_2 = V_1$$

$$-I_1 R_2 + I_2 (R_2 + R_3) = -V_2$$

Kedua persamaan di atas merupakan dua persamaan linier dengan dua variabel, yaitu I_1 dan I_2 . Kedua persamaan di atas dapat ditulis menjadi persamaan matrik.

$$\begin{bmatrix} R_1 + R_2 & -R_2 \\ -R_2 & R_2 + R_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 \\ -V_2 \end{bmatrix}$$

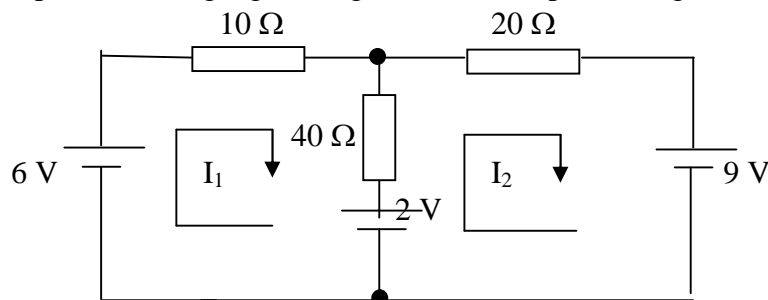
3. Penyelesaian Persamaan Tegangan

Untuk menghitung arus loop pada persamaan di atas dapat dilakukan dengan dua cara yaitu

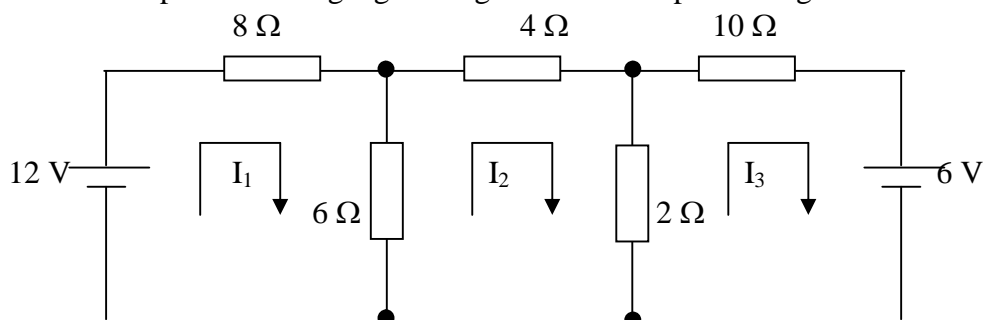
- Metode Eliminasi
- Metode Determinan

B. Lembar Latihan 6

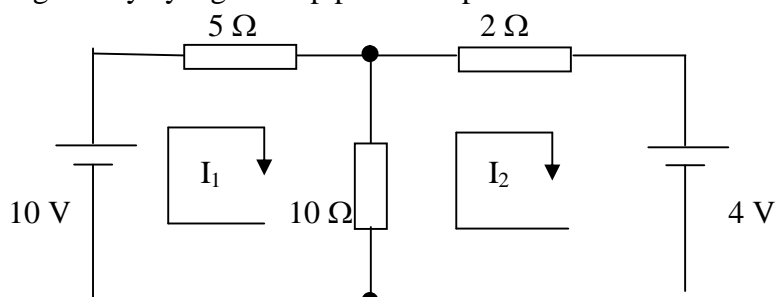
1. Tuliskan persamaan tegangan dengan analisis loop dari rangkaian di bawah ini!



2. Hitunglah I_1 dan I_2 pada soal nomor 1!
3. Tuliskan persamaan tegangan dengan analisis loop dari rangkaian di bawah ini!



4. Hitunglah daya yang diserap pada setiap tahanan di bawah ini!



KEGIATAN BELAJAR 7

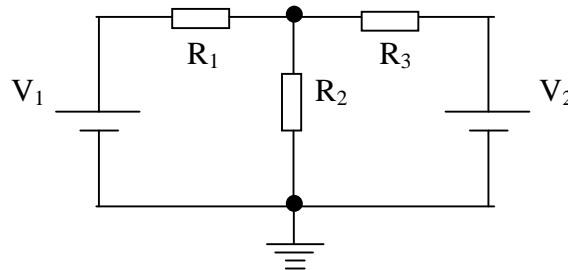
ANALISIS SIMPUL

A. Lembar Informasi

Teknik menganalisa rangkaian listrik dengan menggunakan analisis simpul merupakan pengembangan dari hukum Kirchoff I tentang arus. Jumlah aljabar arus di titik simpul atau titik cabang sama dengan nol atau arus yang masuk titik simpul sama dengan arus dari titik simpul. Langkah-langkah dalam analisis simpul adalah menentukan jumlah titik simpul dan simpul referensi, menentukan persamaan arus di titik simpul dan menyelesaikan persamaan arus yang menghasilkan tegangan di titik simpul. Dengan mengetahui tegangan pada setiap simpul maka arus di setiap cabang mudah dihitung.

1. Menentukan jumlah simpul dan simpul referensi.

Titik simpul merupakan tempat bertemunya arus dari beberapa cabang. Salah satu dari titik simpul dijadikan simpul referensi. Simpul referensi dianggap mempunyai tegangan sama dengan nol. Sebagai contoh perhatikan rangkaian pada Gambar 7.1 di bawah ini.

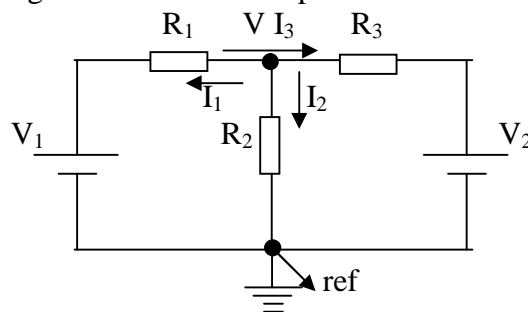


Gambar 7.1 Rangkaian Dengan 2 (dua) Simpul

Rangkaian di atas memiliki dua simpul, salah satu dijadikan referensi dan mempunyai tegangan nol yaitu simpul di bawah

2. Persamaan arus di titik simpul

Untuk dapat menuliskan persamaan arus di titik simpul harus dapat menentukan titik simpul dengan benar dan menentukan salah satu sebagai simpul referensi. Di samping itu perlu ditetapkan perjanjian awal yaitu arus yang keluar dari simpul diberi tanda positif dan arus yang masuk diberi tanda negatif. Arah arus yang belum diketahui ditentukan sembarang. Untuk memahami perhatikan Gambar 7.2 di bawah ini.



Gambar 7.2 Penentuan Arah Arus

Persamaan arus di simpul atas : $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

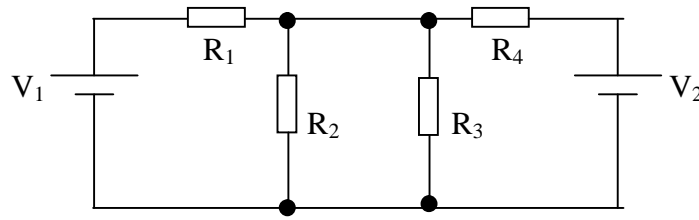
$$I_1 = \frac{V - V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V - 0}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V - V_2}{R_2}$$

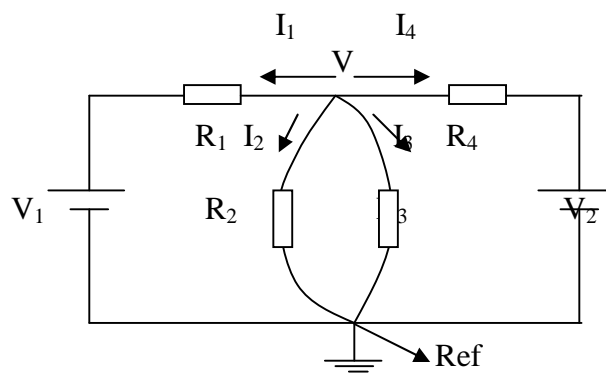
Sehingga persamaan arus menjadi : $\frac{V - V_1}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V - V_2}{R_3} = 0$

Untuk lebih memahami menentukan titik simpul perhatikan Gambar 7.3 di bawah ini.



Gambar 7.3 Pemahaman Penentuan Titik Simpul

Rangkaian di atas hanya memiliki dua simpul yang disederhanakan, perhatikan Gambar 7.4 berikut ini.



Gambar 7.4 Rangkaian Hasil Penyederhanaan

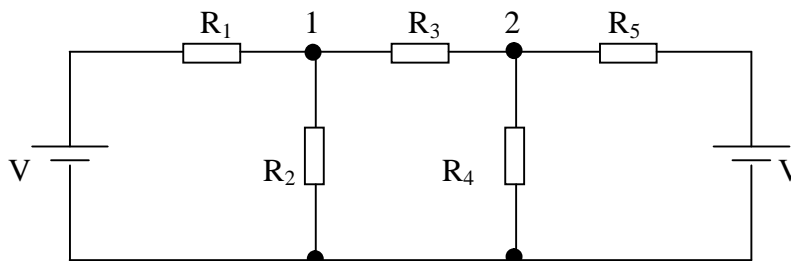
Persamaan arus di titik simpul tersebut adalah sebagai berikut : $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$

$$I_1 = \frac{V - V_1}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} \quad I_4 = \frac{V - V_2}{R_4}$$

$$\frac{V - V_1}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \frac{V - V_2}{R_4} = 0$$

Rangkaian pada Gambar 7.5 di bawah ini mempunyai 3 buah simpul salah satu dijadikan referensi.



Gambar 7.5 Rangkaian Dengan 3 (tiga) Buah Simpul.

Misalkan sumber sama ($= V$)

Tegangan di simpul 1 = V_1

Tegangan di simpul 2 = V_2

Persamaan arus di simpul 1 adalah :

$$\frac{V_1 - V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V_1 - V_2}{R_3} = 0$$

Persamaan arus di simpul 2 adalah :

$$\frac{V_2 - V}{R_5} + \frac{V_2}{R_4} + \frac{V_2 - V_1}{R_3} = 0$$

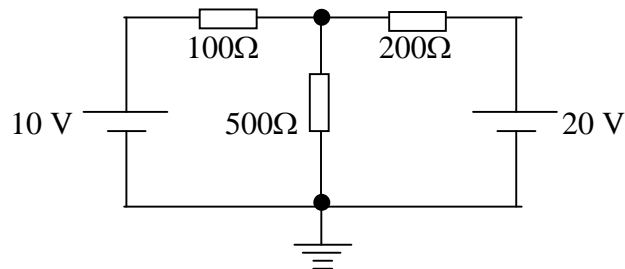
3. Menyelesaikan Persamaan Arus

Untuk menyelesaikan persamaan arus pada analisis loop dapat dilakukan dengan :

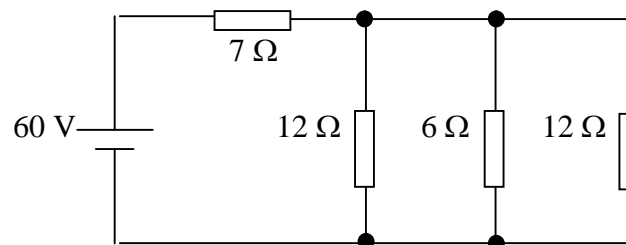
1. Metode eliminasi
2. Metode determinasi

B. Lembar Latihan 7

1. Tuliskan persamaan arus pada simpul 1!



2. Hitunglah arus tiap cabang pada soal no. 1!
3. Hitunglah arus setiap cabang dari rangkaian dibawah ini!



KEGIATAN BELAJAR 8 RANGKAIAN TRANSIEN

A. Lembar Informasi

1. Kapasitansi

Sifat dari kapasitor yang dapat menyimpan energi listrik disebut kapasitansi. Medan listrik antara pelat besarnya sebanding dengan jumlah muatan dan juga beda potensial antara pelat kapasitor sebanding dengan jumlah muatan.

Kapasitansi (C) dari sebuah kapasitor didefinisikan sebagai perbandingan jumlah muatan (Q) dengan beda potensial (V) antara konduktor. Atau dengan kata lain kapasitansi adalah jumlah muatan dibagi dengan beda potensial. Yang dirumuskan sebagai berikut :

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

Berdasarkan definisi satuan dari kapasitansi adalah coulomb/volt yang disebut farad.

1 farad = 1 coulomb / volt

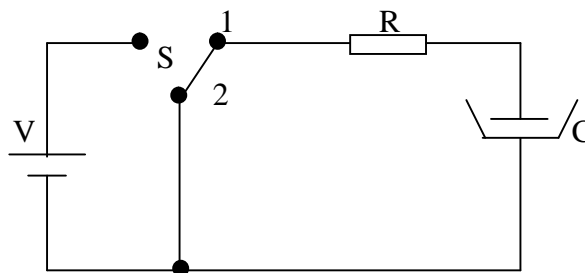
Satu farad didefinisikan kapasitansi sebuah kapasitor yang memerlukan muatan 1 coulomb agar beda potensial 1 volt pada kedua pelat. Satu farad merupakan satuan yang sangat besar, dalam praktek digunakan satuan yang lebih kecil mikrofarad dan pikofarad.

1 farad = 10^6 mikrofarad (μF) = 10^{12} pikofarad (pF)

Kapasitor merupakan komponen pasif yang dapat menyimpan energi listrik sesaat kemudian melepaskannya. Sifat kapasitor inilah yang menghasilkan suatu tegangan transien atau tegangan peralihan bila digunakan sumber arus searah.

2. Pengisian Kapasitor

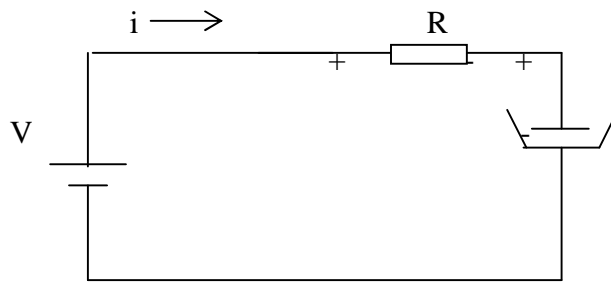
Suatu rangkaian R - C dengan sumber tegangan searah seperti Gambar 8.1 di bawah ini.



Gambar 8.1 Rangkaian R–C Dengan Sumber Tegangan Searah

Saklar S dalam waktu yang lama berada pada posisi 2 sehingga tidak ada muatan sama sekali pada kapasitor atau dikatakan kapasitor kosong.

Jika pada waktu $t = 0$ saklar dipindah ke posisi 1 maka akan ada arus mengalir untuk mengisi kapasitor, sampai kapasitor penuh. Arus yang mengalir makin kecil sedangkan tegangan kapasitor makin besar. Proses ini disebut proses pengisian kapasitor. Untuk menentukan besar arus dan tegangan dapat dibuat rangkaian ekuivalen seperti Gambar 8.2 sebagai berikut :



Gambar 8.2 Rangkaian ekivalen Untuk Menentukan Arus dan Tagangan

Sesuai dengan hukum Kirchoff II tentang tegangan maka jumlah tegangan dalam rangkaian tertutup sama dengan nol, atau : $-V + V_R + V_C = 0$

$$V_R = iR \quad i = dq / dt$$

$$V_C = q / C$$

$$-V + iR + q / C = 0$$

Jika V tetap maka arus menjadi $i = V / R - q / RC$

Pada saat $t = 0$, $q = 0$, arus pada $t = 0$ disebut arus awal $I_0 = V / R$. Karena muatan q makin besar maka q / RC makin besar dan arus makin kecil, ketika arus $i = 0$, maka

$$\frac{V}{R} = \frac{q}{RC}$$

$$q = CV = Q_f ; Q_f = \text{muatan akhir kapasitor}$$

Untuk menghitung i maka i diganti dengan dq / dt

$$\frac{dq}{dt} = \frac{V}{R} - \frac{q}{RC}$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{VC - q}{RC}$$

$$\frac{dq}{VC - q} = \frac{dt}{RC}$$

Kedua ruas diintegrasikan $\int \frac{dq}{VC - q} = \int \frac{dt}{RC}$

$$-\ln(VC - Q) = \frac{t}{RC} + k ; k = \text{konstanta}$$

Pada saat $t = 0$, $q = 0$ maka besar k : $k = -\ln VC$

$$-\ln(VC - 0) = 0 + k ; k = \text{konstanta}$$

$$-\ln(VC - q) = \frac{t}{RC} - \ln VC$$

$$\ln(VC - q) - \ln VC = -\frac{t}{RC}$$

$$1 - \frac{q}{VC} = e^{-t/RC}$$

$$q = VC(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC})$$

Dengan mengganti $q = CV_c$ maka didapat :

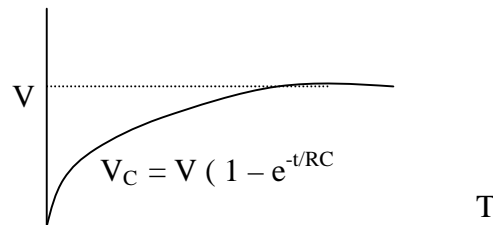
$$V_C = V(1 - e^{-t/RC})$$

Sedangkan arus i adalah : $i = \frac{dq}{dt}$

$$i = I_0 e^{-t/RC}$$

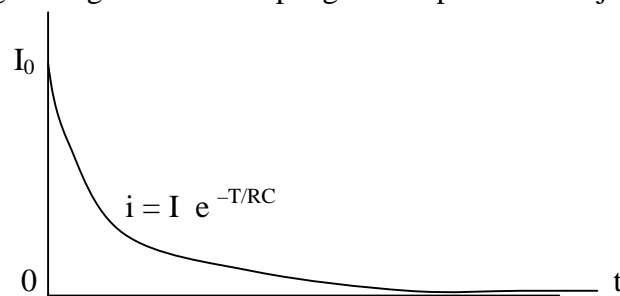
$$i = \frac{V}{R} \cdot e^{-t/RC}$$

Jika tegangan dan arus pengisian kapasitor dibuat grafik t diperoleh seperti dalam Gambar 8.3 berikut ini.



Gambar 8.3. Grafik $V = f(T)$ dari Pengisian Kapasitor

Grafik tegangan fungsi waktu dari pengisian kapasitor ditunjukkan oleh Gambar 8.4.



Gambar 8.4 Grafik Arus Fungsi Waktu Pengisian Kapasitor

3. Konstanta Waktu

Tetapan RC pada proses pengisian kapasitor disebut dengan konstanta waktu. Waktu untuk pengisian kapasitor sangat tergantung dari konstanta waktu,

$$\sigma = RC = \text{konstanta waktu}$$

Berdasarkan persamaan tegangan dan arus pengisian, agar tegangan kapasitor sama dengan tegangan sumber maka diperlukan waktu tak terhingga. Tetapi dalam praktek kapasitor dianggap penuh dalam waktu 5σ

Jika konstanta waktu $\sigma = Rc$ dimasukkan pada persamaan tegangan dan persamaan arus pengisian diperoleh.

$$V_C = V(1 - e^{-t/\sigma})$$

$$i = \frac{V}{R} \cdot e^{-t/\sigma}$$

Jika persamaan tegangan dan arus pengisian dihubungkan dengan konstanta waktu diperoleh sebagai berikut :

- Tegangan pengisian

| | |
|---------------|-----------------|
| $t = \sigma$ | $V_c = 0,632 V$ |
| $t = 2\sigma$ | $V_c = 0,865 V$ |
| $t = 3\sigma$ | $V_c = 0,95 V$ |
| $t = 4\sigma$ | $V_c = 0,982 V$ |

$$t = 5\sigma \quad V_c = 0,993 \text{ V}$$

▪ Arus pengisian

$$t = \sigma \quad i = 0,368 I_0$$

$$t = 2\sigma \quad i = 0,135 I_0$$

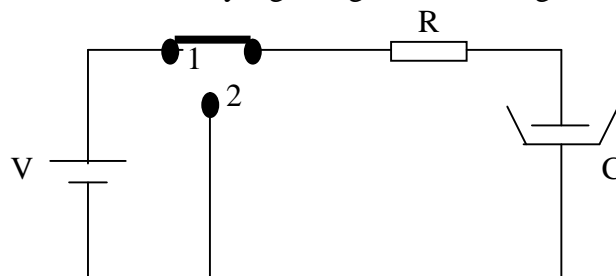
$$t = 3\sigma \quad i = 0,050 I_0$$

$$t = 4\sigma \quad i = 0,018 I_0$$

$$t = 5\sigma \quad i = 0,007 I_0$$

4. Pengosongan Kapasitor

Rangkaian RC pada Gambar 8.5 berada pada posisi 1 dalam waktu lama, sehingga kapasitor dianggap penuh. Dalam kondisi penuh ini tegangan kapasitor sama dengan tegangan sumber dan arus yang mengalir sama dengan nol.



Gambar 8.5 Rangkaian R-C (Pengisian)

Saat $t = 0$ saklar dipindahkan pada posisi 2 maka terjadi proses pengosongan kapasitor. Dengan cara yang sama seperti proses pengisian maka diperoleh persamaan tegangan dan arus pengosongan.

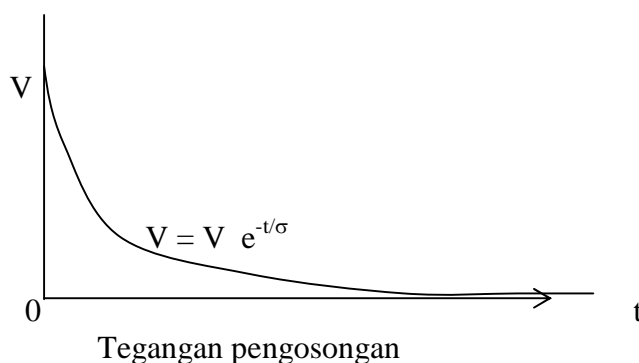
Tegangan pengosongan :

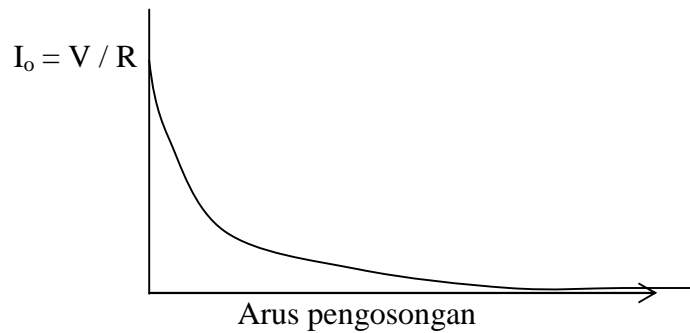
$$V_C = V \cdot e^{-t/\sigma}$$

Arus pengosongan :

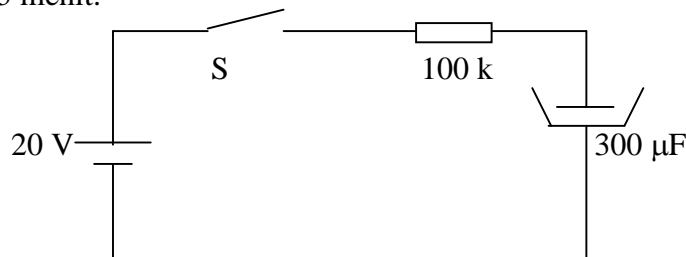
$$i = -I_0 \cdot e^{-t/\sigma}$$

Grafik tegangan dan arus pengosongan sebagai fungsi waktu ditunjukkan oleh Gambar 8.6.

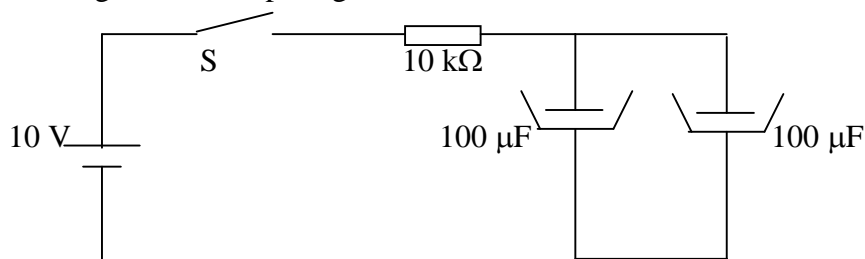


Gambar 8.6 Grafik $V = f(T)$ dan $I = f(T)$ Pengosongan Kapasitor**B. Lembar Latihan 8**

- Sebuah rangkaian RC seperti gambar di bawah diketahui kapasitor mula-mula kosong, saat $t = 0$ saklar ditutup. Hitunglah tegangan pada saat 0,5 menit, 1 menit, 1,5 menit, 2 menit, 2,5 menit.



- Hitunglah arus yang mengalir pada soal no. 1.
 - Setelah 0,5 menit
 - Setelah 1 menit
 - Setelah 1,5 menit
 - Setelah 2 menit
 - Setelah 2,5 menit
- Sebuah rangkaian RC seperti gambar di bawah



Mula-mula kapasitor kosong, saat $t = 0$ saklar ditutup.

Hitunglah tegangan pada kapasitor saat :

- 2 detik
 - 4 detik
 - 6 detik
 - 8 detik
 - 10 detik
- Hitunglah arus pada soal no. 3 pada saat :
 - 2 detik
 - 4 detik
 - 6 detik
 - 8 detik
 - 10 detik

KEGIATAN BELAJAR 9

RANGKAIAN MAGNET

A. Lembar Informasi

1. Magnet

Magnet ditemukan oleh orang Yunani (Greek) kuno berupa batu hitam yang mempunyai sifat dapat menarik benda metalis. Penemuan ini terjadi kira – kira 2000 tahun SM, di Asia kecil dekat kota Magnesia.

Sifat – sifat Magnet adalah sebagai berikut :

- a. Sebatang magnet mempunyai daya tarik terhadap besi dan baja
- b. Daya tarik yang terbesar adalah kedua ujungnya
- c. Ujung yang senama selalu tolak – menolak dan sebaliknya
- d. Jarum kompas selalu mengambil kedudukan yang tertentu

2. Kuat Medan Magnet

Kuat medan magnet (H) atau gaya magnet dapat diperoleh dari pada :

- a. Magnet permanen
- b. Elektrismagnetik

Pada tahun 1819, Hans Cristian Oersted melakukan percobaan yang menyimpulkan bahwa disekitar kawat berarus listrik terjadi medan magnet.

3. Garis Gaya Magnet (Fluksi)

Medan magnet tidak dapat dilihat, namun tanda bukti yang diakibatkan dapat kita amati. Hal ini bias dibuktikan dengan sebatang magnet. Daerah – daerah disekitar magnet yang tembus oleh garis – garis gaya magnet disebut gaya medan magnetic atau medan magnetic.

Jumlah garis garis gaya medan magnetic disebut fluksi magnetic dengan symbol (Φ). Garis – garis dalam magnet ini meninggalkan kutub utara menuju kutub selatan, jika dapat dideteksi dengan jarum kompas.

Menurut satuan internasional, besaran fluksi magnetic diukur dalam Weber (Wb) yang didefinisikan sebagai berikut : “Bila sebatang penghantar dipotongkan pada garis – garis gaya magnet tersebut selama satu detik akan menimbulkan gaya gerakan listrik (GGL) sebesar 1 Volt”.

4. Kerapatan Fluksi

Keefektifan medan magnet dalam banyak pemakaian sering ditentukan oleh besarannya “ Kerapatan Fluksi “. Artinya fluksi yang terdapat dalam permukaan yang lebih besar akan mempunyai intensitas medan yang kurang dibandingkan dengan fluksi yang dikonsentrasikan dalam permukaan yang lebih kecil yang akan menghasilkan medan yang lebih efektif.

Kerapatan Fluksi (B) atau induksi magnetic didefinisikan sebagai fluksi / satuan luas penampang kerapatan fluksi

$$B = \frac{\text{Fluksi (} \Phi \text{)}}{\text{Luas penampang (A)}}$$

Satuan internasional untuk fluksi adalah Teslah (T) yang diambil dari nama Nikola Teslah (1857 – 1943), definisi kerapatan fluksi dapat ditulis :

$$1 \text{ Tesla} = \frac{1 \text{ Weber}}{1 \text{ (meter)}}$$

5. Permeabilitas

Kerapatan fluksi yang dihasilkan oleh kuat arus medan magnet bergantung pada media yang dilewatinya karena setiap media magnet mempunyai “ permeabilitas “ atau daya hantar magnetic yang berlainan. Media atau bahan magnetic dapat diklasifikasikan dalam tiga golongan.

a. Feromagnet

Bahan ini mudah dijadikan magnet dapat menghasilkan medan magnet yang kuat. Bahan ini mempunyai permeabilitas yang lebih tinggi dari pada permeabilitas hampa udara.

b. Paramagnet

Bahan ini bila dijadikan magnet hanya akan menghasilkan medan magnet yang lemah dan mempunyai permeabilitas sedikit lebih besar dari pada permeabilitas hampa udara.

c. Diamagnet

Bahan ini bila dijadikan magnet hanya akan menghasilkan medan magnet yang lemah dan berlawanan dengan magnet yang dikenakan padanya. Bahan ini mempunyai permeabilitas yang lebih kecil dari permeabilitas hampa udara.

6. Induksi Magnetik

Menginduksikan magnet ialah memberikan sifat magnet kepada besi atau baja tanpa disentuhkannya kepadanya. Ujung besi yang terdekat pada suatu kutub magnet memperoleh kutub yang berlawanan dengan kutub magnet itu. Percobaan – percobaan yang telah dilakukan oleh Biot dan Savart juga Ampere menyimpulkan bahwa besarnya induksi magnetic di sebuah titik dalam medan magnet yang disebabkan oleh arus listrik adalah :

- Berbanding lurus dengan kuat arus listrik
- Berbanding lurus dengan panjang kawat
- Berbanding lurus dengan sinus dari sudut
- berbanding terbalik dengan kuadrat jarak – jarak antara titik tersebut ke elemen panjang kawat
- Memunyai arah tegak lurus bidang yang melalui titik tersebut dan elemen panjang kawat.

Bila suatu toroida yang mempunyai panjang lintasan magnet L meter, luas penampang $A \text{ m}^2$ dan N lilitan yang dialiri arus listrik 1 Ampere, maka kuat medan magnet pada toroida itu, adalah :

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \text{ (A/m)}$$

7. Fluksi Bocor dan Fringing

Factor – factor penting yang sering kita jumpai antara lain fluksi bocor dan fringing.

a. Fluksi Bocor

Udara merupakan isolator yang baik untuk arus listrik. Tidak demikian untuk fluksi magnetic karena udara masih bias melawatkan fluksi yang hampir baik, sehingga ada

yang mencari terpendek dengan melalui udara disekitar rangkaian magnetic tersebut, yang dikenal dengan fluksi bocor . $\Phi_{\text{total}} = \Phi_{\text{bocor}} + \Phi_{\text{efektif}}$

b. Fringing

Fringing adalah memancarkan / mengembangkannya fluksi menjadi lebih besar. Kerena itu kerapatan fluksinya menjadi berkurang. Dengan demikian mengembangkannya fluksi (Fringing) pada celah udara yang sangat sempit dapat diabaikan.

8. Kurva Magnetasi

Faktor – factor penting yang menentukan permeabilitas, antara lain :

- a. Jenis bahan
- b. Besarnya gaya gerak magnetik yang digunakan

Pada penggunaan gaya gerak magnetic ($N \cdot I$) yang kecil, perubahn kerapatan fluksi (B) sebanding dengan perubahan $N \cdot I$, dalam hal ini permeabilitas relative masih konstan. Akan tetapi, pada saat $N \cdot I$ membesar, kurva mulai menurun dan pada suatu saat akan terjadi kejenuhan. Dengan demikian, untuk menyelesaikan rangkaian magnetic diperlukan kurva magnetitas (B/H) untuk beberapa jenis baha tertentu.

9. Kurva Histeisis

Pada kurva magnetisasi dianggap bahwa sebatang besi pda permulaannya tidak mempunyai garis –garis magnetic. Kemudian, padanya diberikan pengaruh intensitas medan magnit (H) dari titik awal dinaikan secara berlahan – lahan. Ternyata bahwa kerapatan fluksi (B) yang dihasilakn pada batabf magnet tersebut tidak linier terhadap kuat medan magnetic yang diberikan padanya, bila (B) akan konstan (mencapai kejenuhan) atau satu rasi yang digambarkan sebagai kurva (OA) yauti kurva magnetisasi mula – mula.

KEGIATAN BELAJAR 10 INDUKSI ELEKTROMAGNET

A Lembar Informasi

1. Pembangkit GGL

Suatu sumber listrik, seperti generator arus searah dan baterai, dapat menimbulkan beda potensial diantarakedua ujungnya. Baik didalam baterai maupun didalam generator arus searah, terjadi pemisahan muatan listrik positif dengan muatan listrik negative. Dengan terjadinya pemisahan itu akan ada dua kutub. Kutub tersebut kita sebut dengan terminal. Satu terminal bermuatan positif dan terminal lainnya bermuatan negatif. Terminal positif mempunyai hubungan yang tinggi untuk menarik muatan negatif. Sumber energi yang dibangkitkan tegangan antara kedua ujung terminal disebut Gaya Gerak Listrik (GGL). GGL ialah suatu kemampuan yang dapat membangkitkan tegangan listrik diantara dua terminal.

2. GGL Induksi

Jika penghantar digerakan didalam medan magnet maka pada penghantar itu timbul GGL Induksi. Besar GGL induksi menurut Hukum Faraday 1 ialah : $e = H \cdot I \cdot V$ dimana :

e = GGL – Induksi dalam satuan volt

H = Kuat medan magnet dalam satuan meter

I = Panjang penghantar yang berada dalam medan magnet dalam satuan meter

V = Kecepatan gerakan dalam satuan m/ detik

Dapat ditarik kesimpulan bahwa timbulnya GGL Induksi dalam sebatang penghantar dengan persyaratan :

- Ada medan magnet
- Ada penghantar yang bergerak
- Kecepatan gerakan mempengaruhi besarnya GGL

Hukum Faraday II berbunyi “Bila didalam konduktor terdapat fluksi magnet yang berubah – ubah besar dan arahnya hingga setiap saat memotong penghantar, maka penghantar itu timbul GGL – Induksi “

3. Arah GGL – Induksi

Untuk menentukan arah GGL – Induksi dapat dilakukan dengan menggunakan kaidah tangan kanan Fleming sebagai berikut :

- Buka tangan kanan sehingga ibu jari tegak lurus dengan empat jari lainnya
- Letakkan tangan kanan tadi pada medan magnet sehingga fluksi magnet memotong tegak lurus pada telapak tangan
- Pada saat itu ibu jari menunjukkan arah gerak penghantar dan empat jari tangan menunjukkan arah GGL – Induksi

4. Hukum Lentz

Menurut Hukum Lentz, GGL – Induksi dalam suatu kumparan arahnya selalu melawan GGL yang menimbulkannya . secara sistimatis dituliskan :

$$e = - L \frac{di}{dt}$$

tanda negative itulah yang dimaksud dengan Hukum Lentz sehingga bila rumus Hukum Lentz itu diselesaikan akan dapat bahwa GGL – Induksi tersebut mendahului arus listrik sebesar 90°

5. Induksi Sendiri

Bila arus yang mengalir pada kumparan kawat diubah besarnya, kan berubah pula fluksi. Magnet yang berada dalam gumparan itu, selajutnya kerana perubahan fluksi magnet itu memotong kumparan itu sendiri maka timbul GGL – Induksi, yang disebut Induksu sendiri besarnya GGL – Induksi sendiri mengikutu rumus :

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

keterangan : L = Induktansi dalam satuan Hendry

I = Aruslistrik dalam satuan Ampere

t = Waktu dalam satuan detik

6. Induktansi Bersama (Mutual Induksi)

Dua buah kumparan L1 dan L2 saling berdekatan. L1 diberikan sumber listrik hinggga arus listrik pada L1 dibiarkan dan diperbesar, fluksi magnet masuk pada kumparan L2. kerana fluksi magnet masuk pada kumparan L2, maka fluksi magnet tersebut memotong kumparan L2 hingga pada L2 timbul GGL – Induksi

2. Koefisien Induktnasi sendiri dan Koefisien Induktansi Bersama

Menurtu HUKUM Faraday, sebuah kumparan yang diberi arus listrik dengan jumlah N kumparan dengan fluksi magnet Φ menghasilakn GGL – Induksi sebesar :

$$e = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

GGL ini juga dapat ditumbulakn sendiri sebesar :

$$e = - L \frac{di}{dt}$$

tanda negatif mengacu pada Hukum Lentz, substitusi kedua persamaan tersebut menghasilakn :

$$L = N \frac{\Phi}{I}$$

Keterangan : L = Induktansi diri dengan satuan Henry

Φ = Fluks magnet dengan satuan Weber

I = Arus listrik dengan satuan Ampere

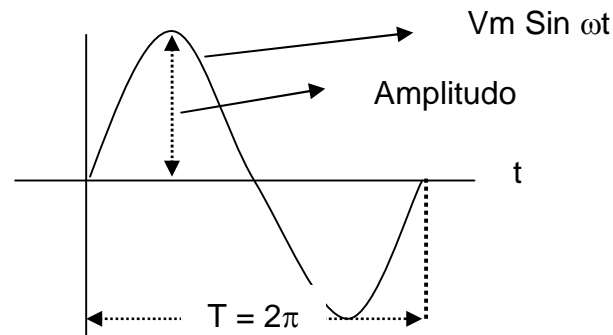
KEGIATAN BELAJAR 11

DASAR LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK (AC)

A. Lembar Informasi

1. Tegangan dan Arus Listrik Bolak-Balik

Suatu bentuk gelombang tegangan listrik bolak-balik dapat digambarkan seperti pada Gambar 11.1 di bawah ini.



Gambar 11.1 Bentuk Gelombang Tegangan Listrik Bolak-Balik.

Pesamaan tegangan sesaat

$$v = V_m \sin 2\pi ft = V_m \sin \left(\frac{2\pi}{T} \right) t = V_m \sin \omega t$$

Dimana :

- v = Tegangan sesaat
- V_m = Tegangan Maksimum
- f = Frekuensi = $1/t$ (Hz)
- T = Periode = waktu untuk satu gelombang
- ω = kecepatan sudut = $2\pi f = 2\pi/T$ = radian perdetik

Frekuensi dalam listrik AC merupakan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satu detik. Jika waktu yang diperlukan oleh satu gelombang disebut periode (T) maka.

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

jika generator mempunyai P kutub dan berputar sebanyak N kali dalam satu menit, maka frekuensi mempunyai persamaan

$$f = \frac{PN}{120}$$

P = Jumlah kutub generator

N = Jumlah putaran permenit (rpm)

2. Sudut Fase dan Beda Fase

Dalam rangkaian listrik arus bolak-balik sudut fase dan beda fase akan memberikan informasi tentang tegangan dan arus. Sedangkan beda fase antara tegangan dan arus pada listrik arus bolak-balik memberikan informasi tentang sifat beban dan penyerapan daya atau energi listrik. Dengan mengetahui beda fase antara tegangan dan arus dapat diketahui sifat beban apakah resistif, induktif atau kapasitif.

3. Tegangan Efektif dan Arus Efektif

Tegangan listrik arus bolak – balik yang diukur dengan multimeter menunjukkan tegangan efektif. Nilai tegangan dan arus efektif pada arus bolak – balik menunjukkan gejala yang sama seperti panas yang timbul jika dilewati arus searah :

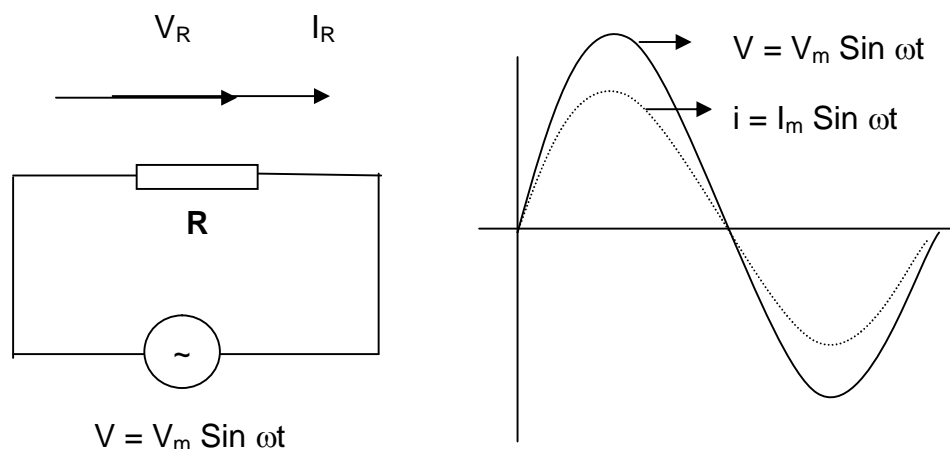
$$\text{Tegangan Efektif} = \frac{\text{Tegangan Maksimum}}{\sqrt{2}} = 0.707 \text{ Tegangan Maksimum}$$

$$\text{Arus Efektif} = \frac{I_{\text{mak}}}{\sqrt{2}} = 0.707 I_{\text{max}}$$

4. Respon Elemen

a. Resistor dalam arus bolak – balik

Rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber tegangan bolak – baliik dan sebuah resistor seperti Gambar 11.2 di bawah ini



Gambar 11.2 Rangkaian R, Bentuk Phasor dan Bentuk Gelombang Pada AC

Persamaan tegangan sumber : $v = V_m \sin \omega t$

Persamaan tegangan pada Resistor R : $v = i R$

v = tegangan sesaat

i = arus sesaat

R = resistansi

$$\text{Sehingga } i = \frac{V_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t$$

Pada beban resistor murni tegangan dan arus mempunyai fasa sama (sefase).

Daya sesaat (p)

$$\begin{aligned} P = vi &= V_m \sin \omega t \cdot I_m \sin \omega t \\ &= V_m I_m \sin^2 \omega t \\ &= \frac{V_m I_m}{2} (1 - \cos 2\omega t) \\ &= \frac{V_m I_m}{2} - \frac{V_m I_m \cos 2\omega t}{2} \end{aligned}$$

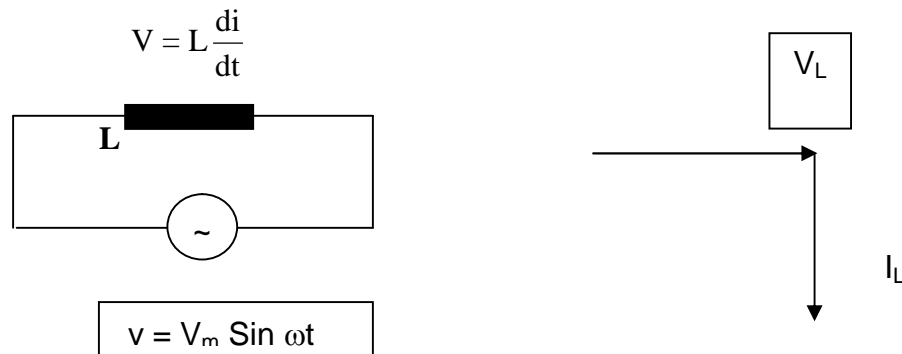
$$\text{Untuk satu gelombang nilai rata – rata : } \frac{V_m I_m}{2} \cos 2\omega t = 0$$

$$\text{sehingga daya : } P = \frac{V_m I_m}{2} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \times \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Atau : $P = V I$ watt
 V = Tegangan Efektif
 I = Arus Efektif

b. Induktor murni dalam arus bolak – balik

Bila tegangan bolak – balik dipasang pada induktor murni seperti Gambar 11.3 di bawah, maka induktor menghasilkan ggl yang melawan sumber yang besarnya



Gambar 11.3 Rangkaian L dan Bentuk Pashor Pada AC.

Tegangan Sumber : $v = V_m \sin \omega t$

Sehingga: $V_m \sin \omega t = L \frac{di}{dt}$

$$di = \frac{V_m}{L} \sin \omega t \, dt$$

$$i = \frac{V_m}{L} \int \sin \omega t$$

$$i = \frac{V_m}{\omega L} (-\cos \omega t)$$

$$i = \frac{V_m}{\omega L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

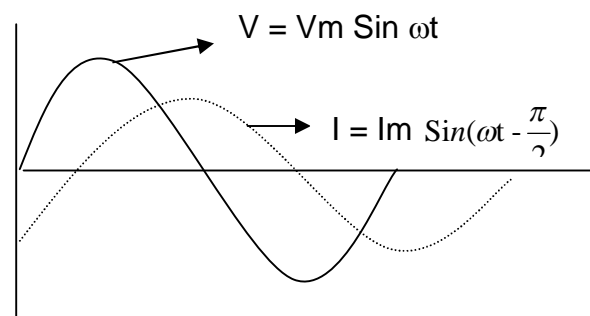
Arus sesaat (i) maksimum $I_m = \frac{V_m}{\omega L}$ jika $\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ mempunyai nilai 1 maka

persamaan arus pada Induktor menjadi : $I = I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$

Arus ketinggalan dengan sudut $\frac{\pi}{2}$ atau 90° .

Daya Sesaat

Bentuk gelombang tegangan dan arus pada induktor dapat dilihat dalam Gambar 11.4.



Gambar 11.4 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Pada Induktor

$$P = v i = V_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

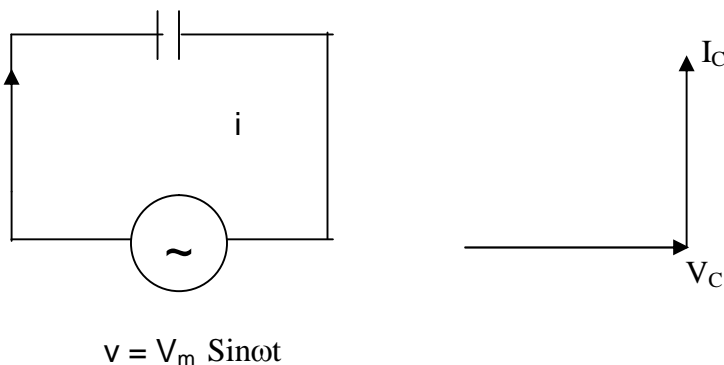
Dimana : p = daya sesaat

$$\text{Daya Untuk seluruh siklus : } P = -\frac{V_m I_m}{2} \int_0^{2\pi} \sin 2\omega t \, dt = 0$$

Dari persamaan di atas dapat dijelaskan bahwa induktor murni tidak menyerap daya listrik hanya menyimpan energi listrik sesaat dalam jumlah terbatas.

c. Kapasitor dalam arus bolak – balik

Rangkaian yang terdiri dari sebuah sumber tegangan bolak – baliik dan sebuah kapasitor seperti Gambar 11.5 di bawah.



Gambar 11.5 Rangkaian C dan Bentuk Phasor Pada AC

Tegangan sumber mempunyai persamaan : $v = V_m \sin \omega t$

Muatan pada kapasitor : $q = Cv$

q = Muatan pada plat kapasitor

C = Kapasitansi kapasitor

V = Beda potensial/tegangan

Persamaan Arus :

$$\begin{aligned} i &= \frac{dq}{dt} = \frac{dCv}{dt} \\ &= \frac{dCv_m \sin \omega t}{dt} \\ &= \omega C V_m \cos \omega t \\ &= \frac{V_m}{1/\omega C} \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \\ i &= I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{aligned}$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa arus mendahului tegangan dengan sudut $\frac{\pi}{2}$ atau 90°

Daya

$$\text{Daya sesaat pada kapasitor (} p \text{)} = v i = V_m \sin \omega t I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$= V_m I_m \sin \omega t$$

$$= \frac{1}{2} V_m I_m \sin \omega t$$

$$\text{daya untuk seluruh siklus : } P = \frac{1}{2} V_m I_m \int_0^{2\pi} \sin 2\omega t \, dt = 0$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa kapasitor tidak menyerap daya listrik.

Karakteristik tegangan dan arus dari ketiga elemen pasif tersebut dapat dilihat dalam Tabel 11.1 berikut .

Tabel 11.1 Karakteristik tegangan dan arus R, L, dan C

| Elemen | Sudut fasa arus Dan tegangan | Diagram | Impedansi |
|--------|---------------------------------------|---------|---|
| R | Fasa sama | | R |
| L | Arus ketinggalan 90° atau ½ π | | $X_L = \omega L = 2\pi$ |
| C | Arus mendahului tegangan 90° atau ½ π | | $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi}$ |

B. Lembar Latihan 11

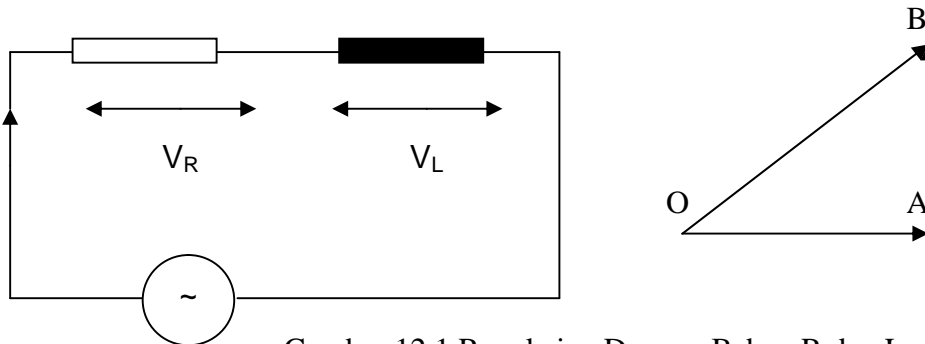
1. Hitunglah banyak putaran generator setiap detik bila diketahui sebuah pembangkit listrik tenaga air (PLTA) mempunyai generator dengan 20 kutub, untuk menghasilkan frekuensi 50 Hz !
2. Hitunglah penunjukan voltmeter dari suatu tegangan bolak – balik gelombang sinus yang menunjukkan 200 volt puncak - puncak jika dilihat CRO !
3. Hitunglah arus yang mengalir pada lampu dan tahanan lampu bila lampu pijar 220 – 230 volt, 100 watt dipasang pada tegangan 225 volt. !
4. Sebuah kompor listrik 225 volt, 900 watt mempunyai elemen pemanas 5 m. hitunglah arus dan tahanan elemen. Jika elemen pemanas putus, kemudian disambung sehingga panjangnya menjadi 4,8 m. hitunglah besar tahanan, arus dan daya kompor yang dipasang pada tegangan 225 volt !
5. Hitunglah arus dan daya yang diserap oleh kapasitor, jika dua buah kapasitor 60 μF dan 40 μF diseri dan dipasang pada tegangan 220 V, 50 HZ !

KEGIATAN BELAJAR 12

RANGKAIAN SERI AC BEBAN RESISTOR DAN INDUKTOR

A. Lembar Informasi

Sebuah resistor R ohm dan Induktor L henry diseri dan dihubungkan dengan sebuah sumber tegangan arus bolak – balik seperti Gambar 12.1 di bawah ini.



Gambar 12.1 Rangkaian Dengan Beban R dan L

Drop tegangan seperti terlihat pada ΔOAB . Drop tegangan pada R = V_R digambarkan oleh vektor OA, dan drop tegangan pada L = V_L digambarkan oleh vektor AB. Tegangan Sumber V merupakan jumlah secara vektor dari V_R dan V_L

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Besaran $\sqrt{R^2 + X_L^2}$ disebut impedansi (Z) dari rangkaian, yaitu : $Z^2 = R^2 + X_L^2$

Dari gambar di atas terlihat bahwa arus ketinggalan terhadap tegangan dengan sudut ϕ

$$\text{adalah: } \tan \phi = \frac{X_L}{R} = \frac{\omega L}{R} = \frac{\text{reaktan si}}{\text{resistan si}}$$

1. Daya (P)

Daya rata-rata yang diserap rangkaian RL merupakan hasil kali V dengan komponen I yang searah V

$$P = V I \cos \phi$$

$\cos \phi$ disebut faktor daya rangkaian

$$\text{Daya} = \text{Volt Ampere (VA)} \times \text{Faktor Daya}$$

$$\text{Watt} = \text{VA} \times \cos \phi$$

Jika daya dalam kilowatt maka

$$\text{KW} = \text{K VA} \times \cos \phi$$

$$P = VI \cos \phi = VI \times (R/Z) = V/2 \times I \times R = I^2 R = I^2 R \text{ watt}$$

2. Faktor Daya (Pf = Power Faktor)

Faktor daya dapat dirumuskan

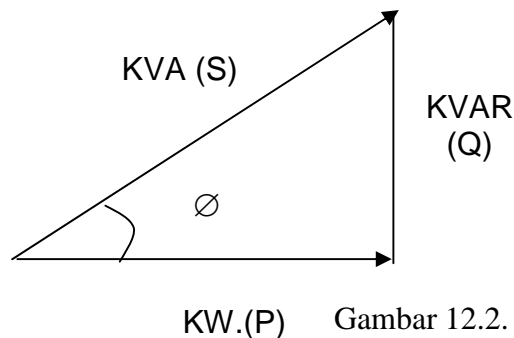
a. Kosinus beda fase antara arus dan tegangan.

$$\text{b. } \frac{\text{resistansi}}{\text{impedansi}} = \frac{R}{Z}$$

$$c. \frac{\text{watt}}{\text{Volt.Ampere}} = \frac{W}{VA} = \frac{kW}{kVA}$$

$$\text{Sehingga : } \text{Pf} = \cos \phi = \frac{R}{Z} = \frac{W}{VA} = \frac{kW}{kVA}$$

Jika digambarkan dengan segitiga daya seperti ditunjukkan oleh Gambar 12.2 berikut ini.



Daya dapat dibedakan menjadi :

- Daya aktif = $P = kW$
- Daya reaktif = $Q = kVAR$
- Daya semu = $S = kVA$
- Hubungan ketiga jenis daya

Gambar 12.2. Segitiga Daya

Hubungan Ketiga jenis daya adalah sebagai berikut :

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

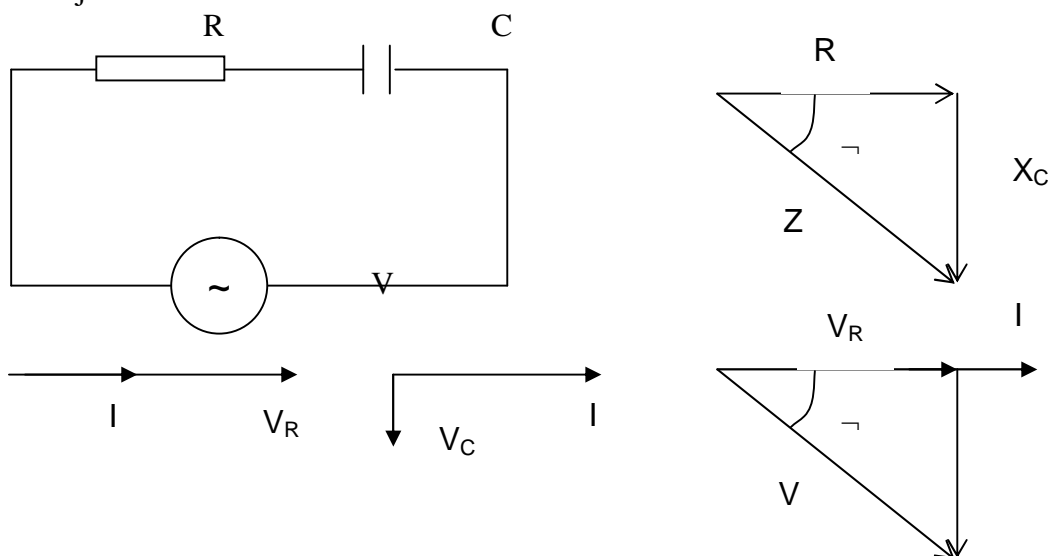
$$kVA^2 = kW^2 + kVAR^2$$

$$kW = kVA \cos \phi$$

$$kVAR = kVA \sin \phi$$

3. Beban Resistor dan Kapasitor

Sebuah resistor R dan kapasitor C diseri dan diberi tegangan bolak-balik, seperti ditunjukkan oleh Gambar 12.3.



Gambar 12.3 Rangkaian RC Seri dan Diagram Fasornya.

$$V_R = IR \quad = \text{drop tegangan pada R (fasa sama dengan nol).}$$

$$V_C = I X_C \quad = \text{drop tegangan pada C (ketinggalan terhadap I dengan sudut } \pi/2)$$

$$X_C \quad = \text{reaktansi kapasitif (diberi tanda negatif) karena arah } V_C \text{ pada sudut negatif Y.}$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

$$V = \sqrt{(IR)^2 + (-IX_C)^2} = I\sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$Z^2 = R^2 + X_C^2$ disebut impedensi rangkaian.

Dari gambar di atas terlihat bahwa I mendahului V dengan sudut $-\phi$ di mana

$$\tan \phi = \frac{-X_C}{R}$$

Jika tegangan sumber dinyatakan dengan

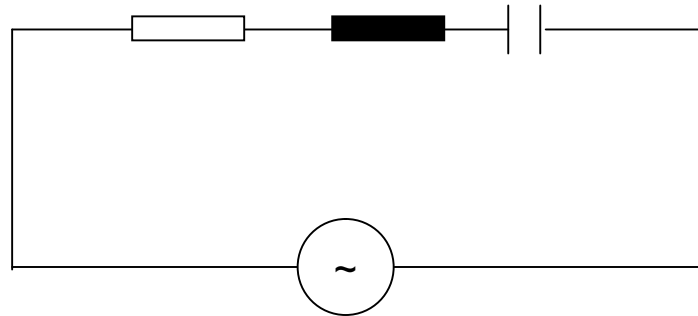
$$V = V_m \sin \omega t$$

Maka arus dalam rangkaian R – C seri dapat dinyatakan dengan

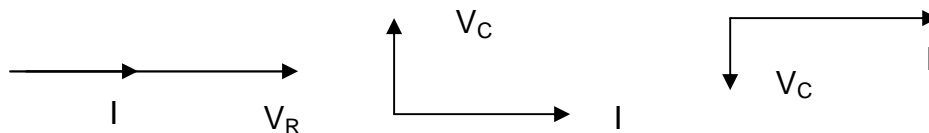
$$I = I_m \sin (\omega t + \phi)$$

4. Beban R – L – C Seri

Sebuah rangkaian seri R-L-C diberi tegangan V seperti Gambar 12.4 di bawah ini.



Gambar 12.4 Gambar R-L-C Seri



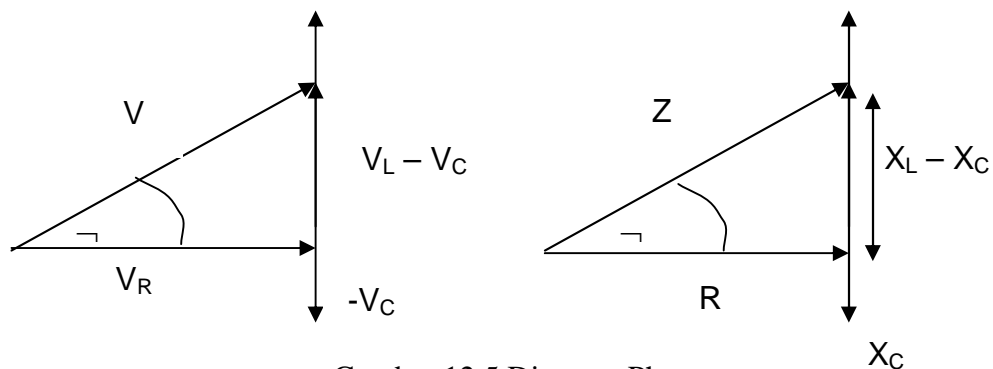
$V_R = I R$ = drop tegangan pada R sefasa dengan I

$V_L = I X_L$ = drop tegangan pada L mendahului I dengan sudut 90°

$V_C = I X_C$ = drop tegangan pada C ketinggalan terhadap dengan sudut 90°

V = tegangan sumber yang merupakan jumlah secara vektor dari V_R , V_L dan V_C

V_C , seperti terlihat dalam Gambar 12.5 berikut ini.



Gambar 12.5 Diagram Phasor

$$V = \sqrt{V_R + (V_L - V_C)^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\text{Beda fasa antara tegangan dan arus : } \text{Tg } \varphi = \frac{(X_L - X_C)}{R} = \frac{X}{R}$$

$$\text{Sedangkan faktor daya : } \cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

Jika sumber tegangan diberikan : $V = V_m \sin \omega t$

Sehingga arus mempunyai persamaan : $I = I_m \sin (\omega t \pm \varphi)$

Tanda negatif bila arus ketinggalan terhadap tegangan, $X_L > X_C$ atau beban bersifat induktif, sedangkan tanda positif bila arus mendahului tegangan, $X_L < X_C$ atau beban bersifat kapasitif.

5. Resonansi RLC Seri.

Resonansi pada rangkaian RLC seri terjadi jika reaktansi sama dengan nol. Hal ini terjadi bila $X_L = X_C$. Frekuensi saat resonansi disebut f_0 , maka : $X_L = X_C$

$$2\pi f_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

6. Faktor Kualitas (Q)

Faktor kualitas dalam rangkaian seri RLC adalah tegangan magnetisasi saat rangkaian beresonansi. Pada saat resonansi arus maksimum :

$$I_m = \frac{V}{R}$$

Tegangan pada induktor atau kapasitor = $I_m X_L$

Tegangan sumber adalah $V = I_m R$

Jadi tegangan magnetisasi adalah sebagai berikut : $\frac{I_m X_L}{I_m R} = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi f_0 L}{R}$

$$\text{Faktor kualitas : } Q = \frac{2\pi f_0 L}{R} \quad \text{di mana} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

$$\text{Sehingga : } Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Faktor kualitas juga dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$Q = 2\pi \frac{\text{energi maksimal yang disimpan}}{\text{energi yang diserap dalam 1 perioda}}$$

$$\text{Sedangkan lebar band : } \beta = \frac{\omega_0}{Q_0}$$

B. Lembar Latihan 12

1. Sebuah kumparan mempunyai resistansi $80 \, \Omega$ dan induktor $0,192 \, \text{H}$ dipasang pada tegangan $225 \, \text{V}$, $50 \, \text{Hz}$. Hitunglah :
 - a. Arus yang mengalir
 - b. Faktor daya
 - c. Daya aktif, reaktif dan daya semu.

2. Sebuah rangkaian seri jika dihubungkan dengan tegangan 100 V DC menyerap daya 500 W jika dihubungkan dengan 100 V AC, 50 Hz menyerap daya 200 watt. Hitung besar resistensi dan induktansi.
3. Sebuah kapasitor 10 μF diseri dengan resistor 120 Ω dan dipasang pada tegangan 100 V, 50 Hz.
Hitunglah :
 - a. Arus
 - b. Beda fasa antara arus dan tegangan.
 - c. Daya yang diserap
4. Hitunglah besar R dan C dari suatu rangkaian seri R – c yang dihubungkan dengan tegangan 125 V, 60 Hz. Arus yang mengalir 2,2 A dan daya yang diserap 96,8 watt !
5. Hitunglah besar C agar lampu pijar 750 watt, 100 V mendapat tegangan yang sesuai, bila lampu tersebut digunakan pada tegangan 230 V, 60 Hz diseri dengan kapasitor. !
6. Hitunglah kapasitansi kapasitor, induktansi, dan resistansi, jika diketahui sebuah resistor, kapasitor dan induktor variabel diseri dan dihubungkan dengan sumber tegangan 200 V, 50 Hz. Arus maksimum 314 mA dan tegangan pada kapasitor 300 V !

KEGIATAN BELAJAR 13

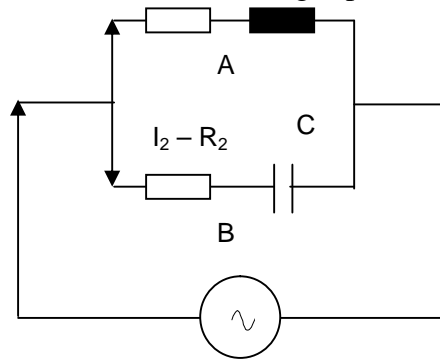
RANGKAIAN PARALEL LISTRIK AC

A. Lembar Informasi

Dalam rangkaian arus bolak-balik apabila beban diparalel maka untuk menganalisis rangkaian tersebut dapat diselesaikan dengan beberapa cara, antara lain :

1. Metode Vektor

Misalkan rangkaian paralel terdiri dari dua cabang seperti Gambar 13.1 di bawah ini



Gambar 13.1 Rangkaian AC dengan Beban Diparalel.

Dari Cabang A diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$I_1 = \frac{V}{Z_1} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$\cos \phi_1 = \frac{R_1}{Z_1} \text{ atau } \phi_1 = \cos^{-1}\left(\frac{R_1}{Z_1}\right)$$

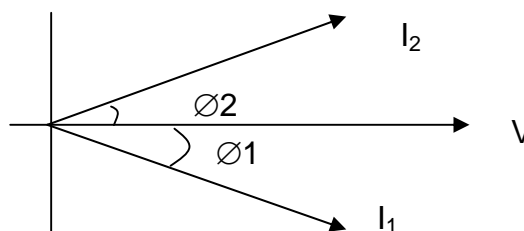
Dari cabang B diperoleh persamaan :

$$Z_2 = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$I_2 = \frac{V}{Z_2} = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$$\cos \phi_2 = \frac{R_2}{Z_2} \text{ atau } \phi_2 = \cos^{-1}\left(\frac{R_2}{Z_2}\right)$$

Pada cabang A arus ketinggalan terhadap tegangan dengan sudut ϕ_1 . Sedangkan pada cabang B arus mendahului tegangan dengan sudut ϕ_2 dan arus I merupakan jumlah vektor dari I_1 dan dapat dijelaskan dengan Gambar 13.2 berikut ini.



Gambar 13.2 Gambar Vektor dari Rangkaian RLC Paralel.

Arus I_1 dan I_2 mempunyai komponen ke sumber X (komponen aktif) dan komponen ke sumber Y (komponen reaktif).

Jumlah komponen aktif I_1 dan $I_2 = I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2$

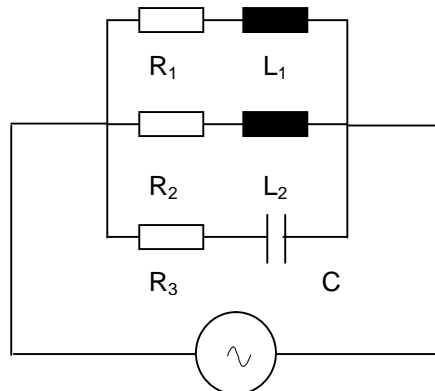
Jumlah komponen reaktif $= I_2 \sin \phi_2 - I_1 \sin \phi_1$

Sehingga arus total $I : I = \sqrt{(I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2)^2 + (I_2 \sin \phi_2 - I_1 \sin \phi_1)^2}$

Sedangkan sudut fase antara V dan I : $\Phi = \tan^{-1} \frac{I_2 \sin \phi_2 - I_1 \sin \phi_1}{I_1 \cos \phi_1 + I_2 \cos \phi_2}$

2. Metode Admitansi.

Rangkaian seperti Gambar 13.3 dapat dianalisis dengan metode admintasi.



Gambar 13.3 Rangkaian dengan Beban Paralel.

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_L^2}$$

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1} = \sqrt{g_1^2 + (-b_1)^2}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L2}^2}$$

$$Y_1 = \frac{1}{Z_2} = \sqrt{g_2^2 + (-b_2)^2}$$

$$Z_3 = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

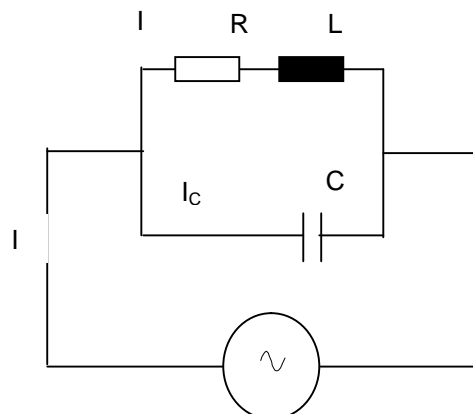
$$Y_1 = \frac{1}{Z_3} = \sqrt{g_3^2 + (b_3)^2}$$

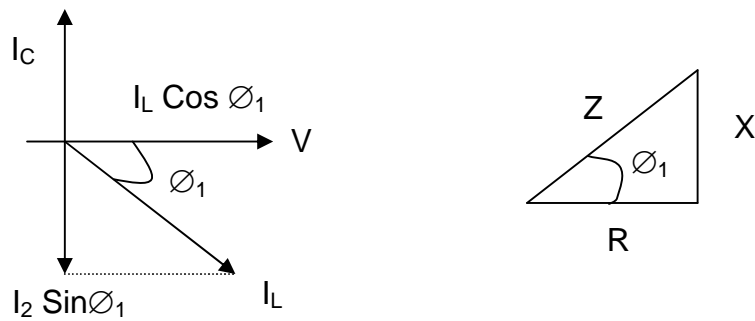
$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

$$Z = \frac{1}{Y}$$

3. Resonansi Pada Rangkaian Paralel

Jika rangkaian paralel dihubungkan dengan sumber yang frekuensinya berubah-ubah, maka pada frekuensi tertentu komponen arus reaktif jumlahnya akan nol. Pada kondisi ini rangkaian disebut beresonansi. Perhatikan Gambar 13.4 berikut ini.





Gambar 13.4 Rangkaian RLC Paralel dan Diagram Phasor.

Rangkaian beresonansi saat $I_C - I_L \sin \phi = 0$

$$I_L \sin \phi = I_C$$

$$I_L = \frac{V}{Z} \sin \phi = \frac{X_L}{Z}$$

$$I_C = \frac{V}{X_C}$$

$$\frac{V}{Z} \times \frac{X_L}{Z} = \frac{V}{X_C} \text{ atau } X_L \times X_C = Z^2$$

$$X_L = \omega L \quad \text{dan} \quad X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{maka} \quad \frac{\omega L}{\omega C} = Z^2$$

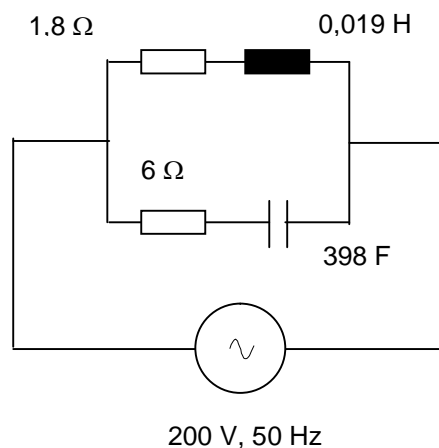
$$\frac{L}{C} = R^2 + X_L^2 = R^2 + (2\pi f_0 L)^2$$

$$2\pi f_0 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} \quad \text{sehingga} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

Jika R diabaikan maka frekuensi resonansi menjadi : $f = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi}$ sama seperti Resonansi Seri.

B. Lembar Latihan 13

1. Sebuah kumparan mempunyai resistansi $8 \, \Omega$ dan induktansi $0,0191 \, \text{H}$ diparalel dengan kapasitor $398 \, \mu\text{F}$ dan resistansi $6 \, \Omega$ serta dihubungkan dengan tegangan $200 \, \text{V}$, $50 \, \text{Hz}$.

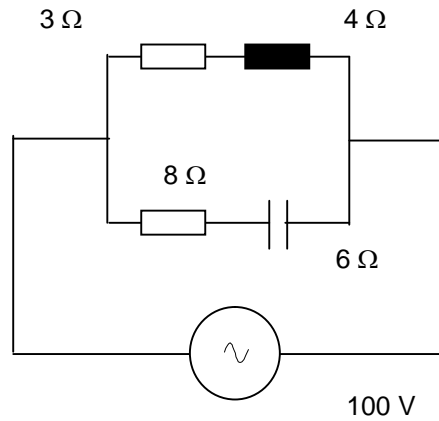


Hitunglah:

- a. Arus masing-masing cabang.

- b. Daya masing-masing cabang
- c. Arus total
- d. Sudut fase antara arus dan tegangan

2. Hitunglah arus total dan faktor daya dari rangkaian di bawah ini !



3. Hitunglah frekuensi resonansi dari sebuah induktor yang mempunyai induktansi 0,25 H dan resistansi 50 ohm dan di paralel dengan kapasitor 4 μF

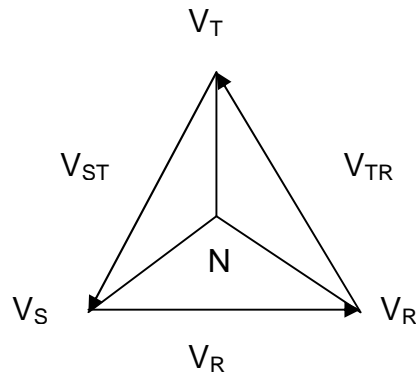
KEGIATAN BELAJAR 14

RANGKAIAN LISTRIK TIGA FASE

A. Lembar Informasi

1. Tegangan dan Arus pada Hubungan Bintang (Y)

Tegangan sistem tiga fase hubungan bintang terdiri dari empat terminal salah satunya titik nol. Urutan fase ada yang menyebut RST , a b c , atau fase I , II , III. Dalam hubungan bintang sumber tegangan tiga fase ditunjukkan oleh Gambar 14.1 di bawah ini.



$$V_R = V_{ef} \angle 0$$

$$V_S = V_{ef} \angle -120^\circ$$

$$V_T = V_{ef} \angle +120^\circ$$

V_R , V_S dan V_T disebut dengan tegangan fase

Gambar 14.1 Diagram Phasor Sambungan Bintang

Sedangkan $V_{RS} = V_R - V_S$

$$V_{ST} = V_S - V_T$$

$$V_{TR} = V_T - V_R$$

Disebut dengan tegangan line : $V_L = V_{fase} \times \sqrt{3}$

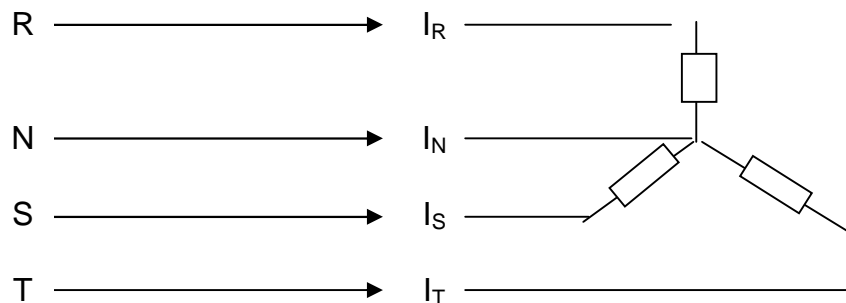
Berdasarkan gambar phasor di atas

$$V_{RS} = V_L \angle 30^\circ$$

$$V_{TR} = V_L \angle 150^\circ$$

$$V_{ST} = V_L \angle 90^\circ$$

Jika sumber tiga fase hubungan bintang dihubungkan dengan beban seimbang, sambungan bintang dapat digambarkan sebagai berikut (Gambar 14.2).



Gambar 14.2 Hubungan Bintang dengan Beban Seimbang

Pada Hubungan Y – Y

$$V_L = V_f \times \sqrt{3}$$

$$I = I_f$$

Pada beban seimbang $I_R + I_S + I_T = I_N = 0$

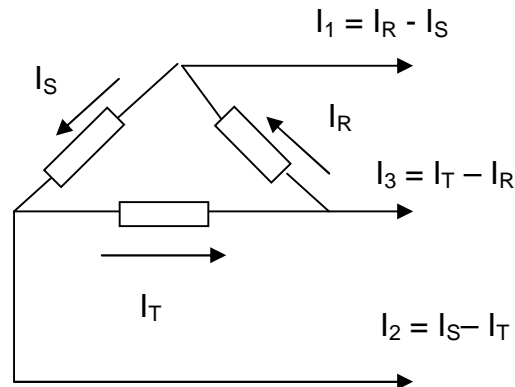
$$P = 3 \times V_f I_f \cos \phi$$

Daya total $V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}} \quad I_f = I_L$

sehingga $P = 3 \times \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \phi$

2. Arus dan Tegangan pada Sambungan Segitiga (Δ)

Sambungan segitiga dapat ditunjukkan oleh Gambar 14.3 di bawah.



Gambar 14.3 Sambungan Segitiga.

Pada sambungan segitiga Tegangan line = tegangan fase

$$V_L = V_f$$

Arus line = $\sqrt{3}$ arus fase

$$I_L = \sqrt{3} I_f$$

Jika beban seimbang besar arus line akan sama : $I_1 = I_2 = I_3 = I_L$ tetapi sudut fase berbeda 120° listrik.

Daya pada sambungan segitiga

Daya setiap fase : $P_f = V_f I_f \cos \phi$

$$P = 3 \times V_f I_f \cos \phi$$

Daya total : karena $V_f = V_L \quad I_f = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$ maka

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi$$

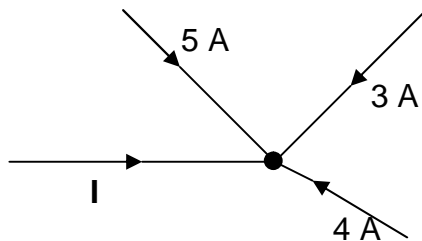
B. Lembar Latihan 14

1. Bagaimanakah hubungan antara tegangan phasa dengan tegangan line dari data yang diperoleh ?
2. Bagaimanakah hubungan antara arus phasa dengan arus line untuk percobaan di atas ?
3. Sumber tegangan tiga fase hubungan bintang dengan tegangan line 400 V dihubungkan dgn beban seimbang sambungan bintang yg setiap fase terdiri dari $R=40\Omega$ dan $X_L=30\Omega$. Hitunglah : a. Arus line , b.Total daya yang diserap
4. Tiga buah kumparan yang sama masing-masing mempunyai resistansi 20Ω dan induktansi 5 H
 - a. Hitunglah arus dan daya yang diserap jika kumparan disambung bintang dan dihubungkan dengan tegangan tiga fase dengan tegangan line 400 V, 50 Hz. !
 - b. Hitunglah arus dan daya yang diserap jika kumparan disambung segitiga !

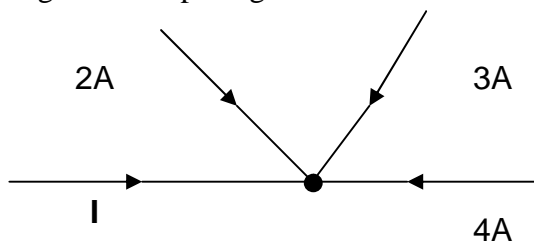
LEMBAR EVALUASI

A. Pertanyaan

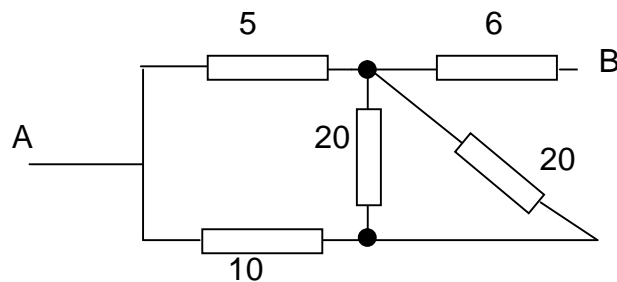
1. Tentukan jumlah elektron yang melewati penampang penghantar setiap detik dan hitung kepadatan arus dalam suatu penghantar yang berdiameter 1 mm dan mengalir arus listrik sebesar 1 mA!
2. Sebuah lampu pijar 225 V, 75 watt, filamennya terbuat dari tungstan. Dengan menggunakan jembatan Wheatstone resistansi pada suhu 25°C , 40 Ohm. Berapakah temperatur tungstan 5×10^{-3} per $^{\circ}\text{C}$ pada 25°C ?
3. Hitunglah resistivitas tembaga bila diketahui resistansi kawat tembaga yang panjang 200 m adalah 21Ω dan jika diameter kawat adalah 0,44 mm!
4. Hitunglah arus I_x dari gambar di bawah ini !



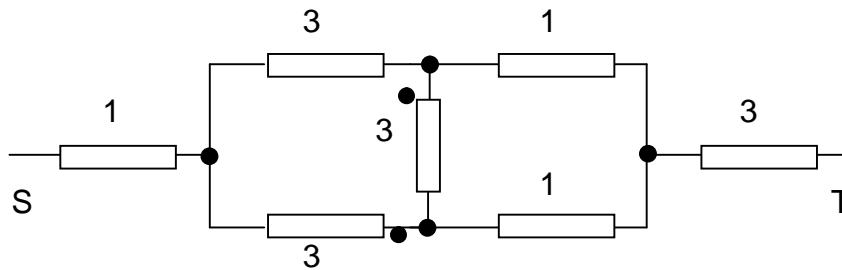
5. Hitunglah arus I pada gambar di bawah ini !



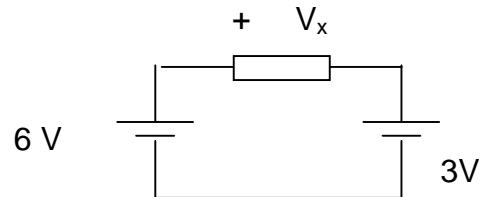
6. Hitunglah resistansi masing-masing kawat jika diketahui resistansi dua kawat adalah 25 ohm pada saat disusun seri dan 6Ω pada saat disusun paralel !
7. Kawat nikelin panjang 2 meter mempunyai tahanan 50 ohm. Jika arus yang mengalir pada kawat 200 mA maka hitunglah :
 - a. tegangan antara ujung kawat
 - b. tegangan kawat sepanjang 1 meter
 - c. tegangan kawat sepanjang 40 cm
8. Hitunglah R_{AB} dari susunan tahanan di bawah ini !



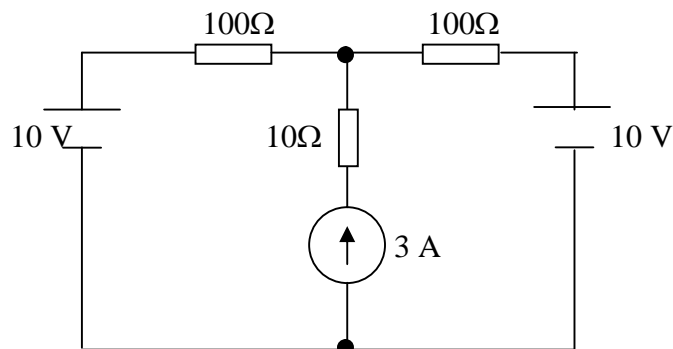
9. Hitunglah R_{st} dari susunan tahanan di bawah ini !



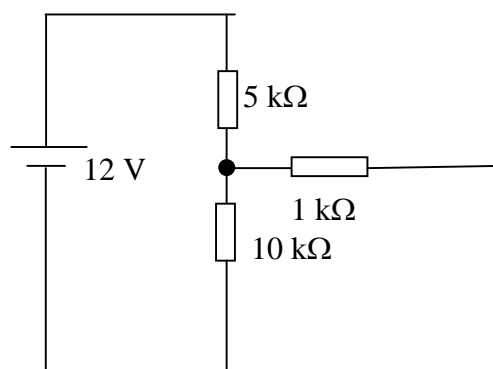
10. Hitunglah tegangan V_x dari rangkaian di bawah ini !



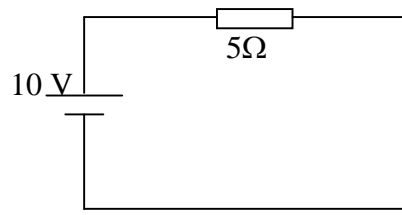
11. Hitunglah arus dan daya yang disalurkan baterai serta daya yang diserap tahanan jika diketahui baterai 1,5 V mempunyai tahanan dalam 0,5 ohm dan disambung dengan sebuah tahanan 9,5 ohm !
12. Sebuah aki 12 v digunakan untuk motor starter sepeda motor, arus yang mengalir pada motor 15 amprer. Hitunglah daya motor dan energi yang diserap motor selama 5 detik !
13. Hitunglah arus dan daya dari tiap tahanan rangkaian dibawah ini, dengan teori superposisi!



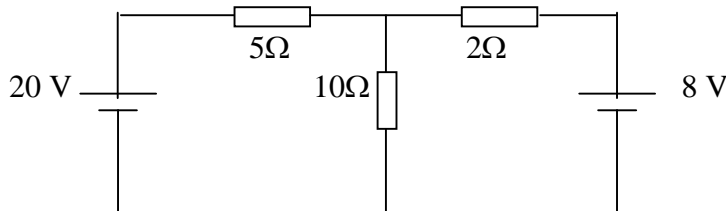
14. Hitunglah panas yang dilepas seluruh tahanan dalam 5 menit pada soal no. 3 !
15. Hitunglah rangkaian pengganti Thevenin dari rangkaian di bawah ini !



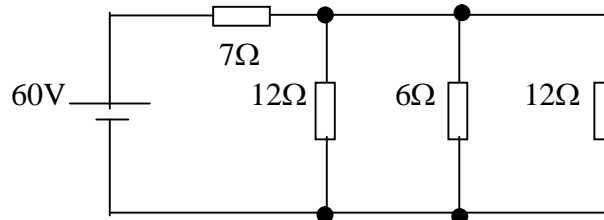
16. Tentukan rangkaian pengganti Norton dari rangkaian di bawah ini!



17. Hitunglah arus pada setiap cabang dalam gambar di bawah ini!

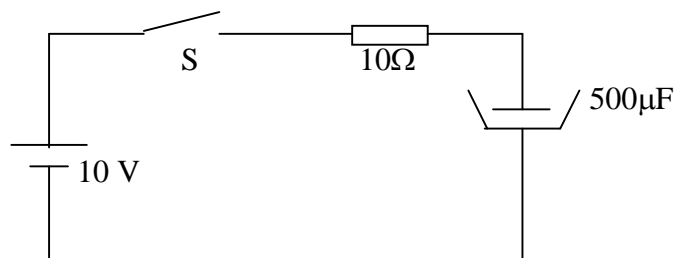


18. Hitunglah arus dan daya pada setiap cabang tahanan dari gambar berikut ini!



19. Perhatikan gambar di bawah, jika saat $t = 0$ saklar ditutup. Hitunglah tegangan pada kapasitor saat :

- 5 detik
- 10 detik
- 15 detik
- 20 detik
- 25 detik



20. Hitunglah arus yang mengalir pada soal no. 9 saat :

- 5 detik
- 10 detik
- 15 detik
- 20 detik
- 25 detik

21. Suatu sumber tegangan mempunyai persamaan sebagai berikut $v = 311 \sin 314 t$. jika sumber tegangan tersebut diukur dengan multimeter, berapa besar tegangan yang ditunjukkan multimeter ?

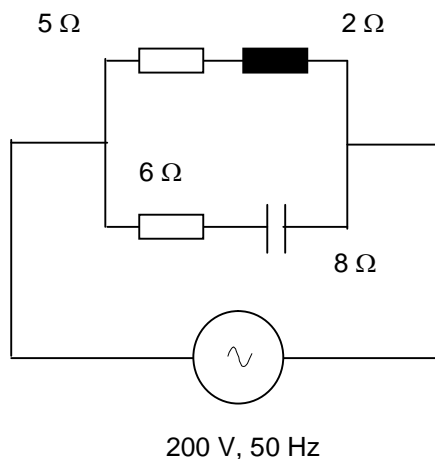
22. Hitunglah arus dari sumber tegangan $v = 311 \sin 314 t$ yang dihubungkan dengan tahanan 100 ohm serta tentukan beda fase antara arus dan tegangan !

23. Hitunglah arus yang mengalir dan beda fase antara arus dengan tegangan dari sumber tegangan $v = 311 \sin 314 t$ yang dihubungkan dengan kapasitor $3,25 \mu F$!

24. Sebuah sumber tegangan $v = 100 \sin 314 t$ diberi beban kapasitor, arus yang mengalir 0,4 ampere, hitunglah kapasitansi dari kapasitor !

25. Sebuah kumparan mempunyai resistansi 10 ohm dan induktansi 0,125 H. Jika kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V, 25 Hz. Hitunglah impedansi, arus yang mengalir, dan daya yang diserap serta faktor daya !

26. Hitunglah resistansi dan induktansi sebuah kumparan yang dihubungkan dengan tegangan 250 V, 50 Hz dan mengalirkan arus 10 A serta faktor daya 0,8 !
27. Sebuah rangkaian seri terdiri dari $R = 10 \text{ Ohm}$, $L = 100 \text{ mH}/\pi$, $C = 500 \text{ } \mu\text{F}/\pi$. Hitunglah
- Arus yang mengalir jika diberi tegangan 100 V, 50 Hz.
 - Faktor daya rangkaian.
 - Frekuensi yang menghasilkan resonansi.
28. Rangkaian seri terdiri dari $R = 15 \text{ ohm}$, $L = 4 \text{ H}$ dan $C = 25 \text{ } \mu\text{F}$. Dihubungkan dengan tegangan 230 V. Hitunglah!
- Frekuensi resonansi
 - Arus pada saat resonansi
29. Hitunglah arus total dan faktor daya dari rangkaian di bawah ini !



30. Sebuah sumber tiga fase yang mempunyai tegangan 400 V dihubungkan dengan beban tiga fase hubungan bintang yang tiap fase terdiri dari $R = 4 \Omega$ dan $X_L = 3 \Omega$. Hitunglah arus jaringan dan daya yang diserap !

B. Kriteria Penilaian

| Kriteia | Skor (1 – 10) | Bobot | Nilai | Keterangan |
|-------------|------------------|-------|-------|----------------------------------|
| 1 | | 0,5 | | Syarat Lulus nilai minimal 70 |
| 2 | | 0,5 | | |
| 3 | | 0,5 | | |
| 4 | | 1 | | |
| 5 | | 1 | | |
| 6 | | 0,5 | | |
| 7 | | 1 | | |
| 8 | | 2 | | |
| 9 | | 2 | | |
| 10 | | 1 | | |
| Nilai akhir | | | | |

DAFTAR PUSTAKA

Edminister, Joseph A, Ir Soken Pakpahan, *Teori dan Soal-Soal Rangkaian Listrik*, Erlangga, Jakarta, 1988.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik Jilid I*, Erlangga, Jakarta 1982.

Hayat, William H, Kemmerly, Jack E, Pantur Silaban PhD, *Rangkaian Listrik Jilid II*, Erlangga, Jakarta 1982.

Theraja, *Fundamental of Electrical Engineering and Electronics*, S Chand & Co (PUT) LTD, New Delhi, 1976.