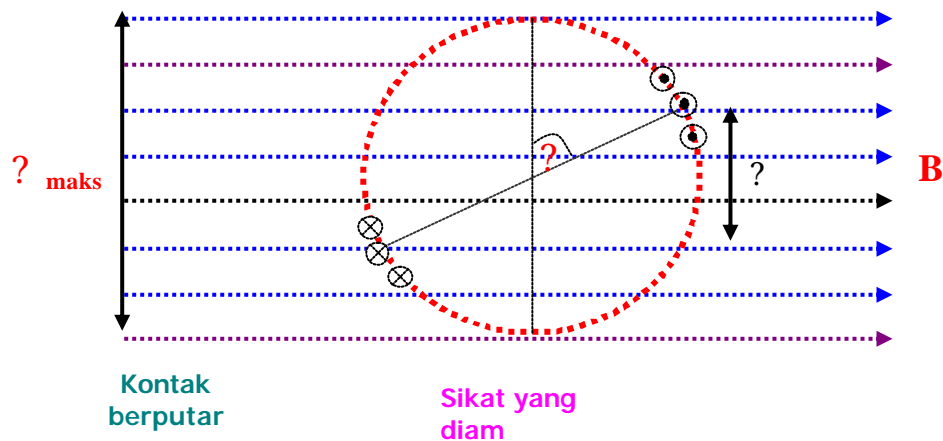
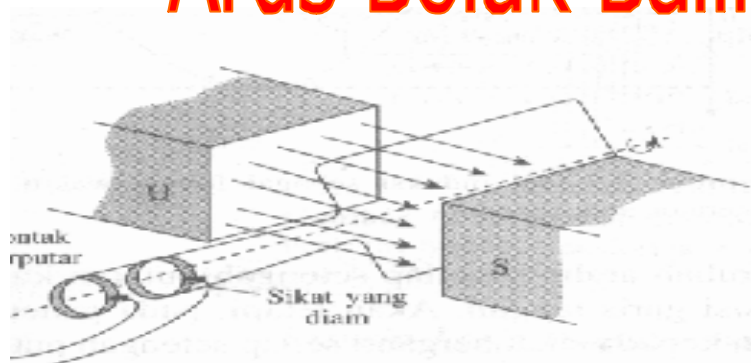


Arus Bolak Balik

Arus Bolak Balik



**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
2004**

Kode FIS.22

Arus Bolak Balik

Penyusun

Drs. Hainur Rasjid Achmadi, MS.

Editor:

Dr. Budi Jatmiko, M.Pd.

Drs. Munasir, M.Si.

**BAGIAN PROYEK PENGEMBANGAN KURIKULUM
DIREKTORAT PENDIDIKAN MENENGAH KEJURUAN
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN DASAR DAN MENENGAH
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

2004

Kata Pengantar

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas karunia dan hidayah-Nya, kami dapat menyusun bahan ajar modul manual untuk SMK Bidang Adaptif, yakni mata-pelajaran Fisika, Kimia dan Matematika. Modul yang disusun ini menggunakan pendekatan pembelajaran berdasarkan kompetensi, sebagai konsekuensi logis dari Kurikulum SMK Edisi 2004 yang menggunakan pendekatan kompetensi (*CBT: Competency Based Training*).

Sumber dan bahan ajar pokok Kurikulum SMK Edisi 2004 adalah modul, baik modul manual maupun interaktif dengan mengacu pada Standar Kompetensi Nasional (SKN) atau standarisasi pada dunia kerja dan industri. Dengan modul ini, diharapkan digunakan sebagai sumber belajar pokok oleh peserta diklat untuk mencapai kompetensi kerja standar yang diharapkan dunia kerja dan industri.

Modul ini disusun melalui beberapa tahapan proses, yakni mulai dari penyiapan materi modul, penyusunan naskah secara tertulis, kemudian disetting dengan bantuan alat-alat komputer, serta divalidasi dan diujicobakan empirik secara terbatas. Validasi dilakukan dengan teknik telaah ahli (*expert-judgment*), sementara ujicoba empirik dilakukan pada beberapa peserta diklat SMK. Harapannya, modul yang telah disusun ini merupakan bahan dan sumber belajar yang berbobot untuk membekali peserta diklat kompetensi kerja yang diharapkan. Namun demikian, karena dinamika perubahan sains dan teknologi di industri begitu cepat terjadi, maka modul ini masih akan selalu dimintakan masukan untuk bahan perbaikan atau direvisi agar supaya selalu relevan dengan kondisi lapangan.

Pekerjaan berat ini dapat terselesaikan, tentu dengan banyaknya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang perlu diberikan penghargaan

dan ucapan terima kasih. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini tidak berlebihan bilamana disampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak, terutama tim penyusun modul (penulis, editor, tenaga komputerisasi modul, tenaga ahli desain grafis) atas dedikasi, pengorbanan waktu, tenaga, dan pikiran untuk menyelesaikan penyusunan modul ini.

Kami mengharapkan saran dan kritik dari para pakar di bidang psikologi, praktisi dunia usaha dan industri, dan pakar akademik sebagai bahan untuk melakukan peningkatan kualitas modul. Diharapkan para pemakai berpegang pada azas keterlaksanaan, kesesuaian dan fleksibilitas, dengan mengacu pada perkembangan IPTEK pada dunia usaha dan industri dan potensi SMK dan dukungan dunia usaha industri dalam rangka membekali kompetensi yang terstandar pada peserta diklat.

Demikian, semoga modul ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya peserta diklat SMK Bidang Adaptif untuk mata-pelajaran Matematika, Fisika, Kimia, atau praktisi yang sedang mengembangkan modul pembelajaran untuk SMK.

Jakarta, Desember 2004
a.n. Direktur Jenderal Pendidikan
Dasar dan Menengah
Direktur Pendidikan Menengah Kejuruan,



Dr. Ir. Gatot Hari Priowirjanto, M.Sc.
NIP 130 675 814

DAFTAR ISI

✍	Halaman Sampul	i
✍	Halaman Francis	ii
✍	Kata Pengantar	iii
✍	Daftar Isi	v
✍	Peta Kedudukan Modul	vii
✍	Daftar Judul Modul	viii
✍	Glosary	ix

I. PENDAHULUAN

a.	Deskripsi	1
b.	Prasarat	1
c.	Petunjuk Penggunaan Modul	1
d.	Tujuan Akhir	2
e.	Kompetensi	3
f.	Cek Kemampuan	4

II. PEMELAJARAN

A.	Rencana Belajar Peserta Diklat	5
----	--------------------------------------	---

B. Kegiatan Belajar

1.	Kegiatan Belajar	6
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran	6
b.	Uraian Materi	6
c.	Rangkuman	12
d.	Tugas	12
e.	Tes Formatif	14
f.	Kunci Jawaban	15
g.	Lembar Kerja	16
2	Kegiatan Belajar	17
a.	Tujuan Kegiatan Pemelajaran	17
b.	Uraian Materi	17
c.	Rangkuman	40
d.	Tugas	44
e.	Tes Formatif	45
f.	Kunci Jawaban	46
g.	Lembar Kerja	46

III. EVALUASI

A. Tes Tertulis	48
B. Tes Praktik.....	50

KUNCI JAWABAN

A. Tes Tertulis	51
B. Lembar Penilaian Tes Praktik.....	55

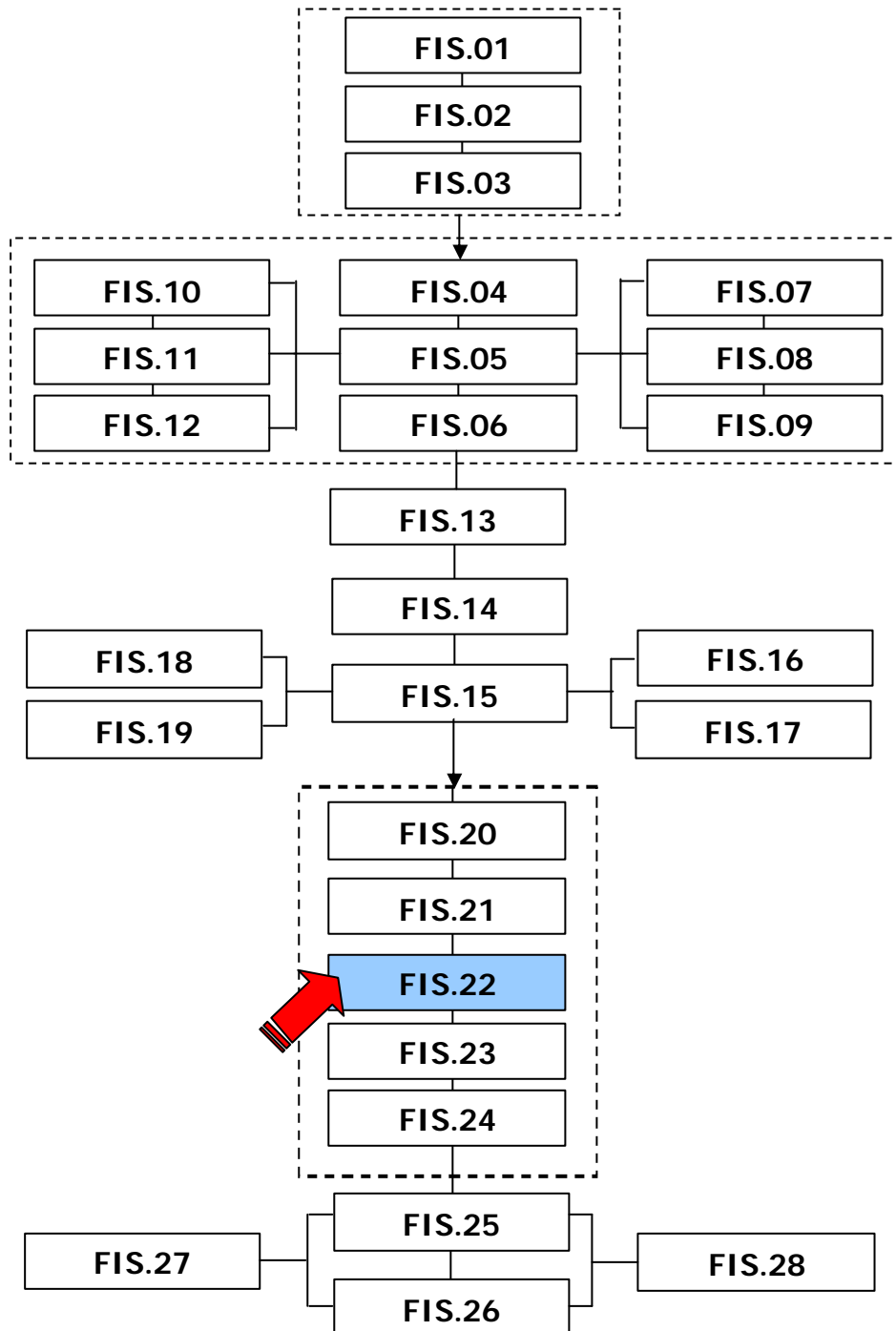
IV. PENUTUP

59

DAFTAR PUSTAKA

60

Peta Kedudukan Modul



DAFTAR JUDUL MODUL

No.	Kode Modul	Judul Modul
1	FIS.01	Sistem Satuan dan Pengukuran
2	FIS.02	Pembacaan Masalah Mekanik
3	FIS.03	Pembacaan Besaran Listrik
4	FIS.04	Pengukuran Gaya dan Tekanan
5	FIS.05	Gerak Lurus
6	FIS.06	Gerak Melingkar
7	FIS.07	Hukum Newton
8	FIS.08	Momentum dan Tumbukan
9	FIS.09	Usaha, Energi, dan Daya
10	FIS.10	Energi Kinetik dan Energi Potensial
11	FIS.11	Sifat Mekanik Zat
12	FIS.12	Rotasi dan Kestimbangan Benda Tegar
13	FIS.13	Fluida Statis
14	FIS.14	Fluida Dinamis
15	FIS.15	Getaran dan Gelombang
16	FIS.16	Suhu dan Kalor
17	FIS.17	Termodinamika
18	FIS.18	Lensa dan Cermin
19	FIS.19	Optik dan Aplikasinya
20	FIS.20	Listrik Statis
21	FIS.21	Listrik Dinamis
22	FIS.22	Arus Bolak-Balik
23	FIS.23	Transformator
24	FIS.24	Kemagnetan dan Induksi Elektromagnetik
25	FIS.25	Semikonduktor
26	FIS.26	Piranti semikonduktor (Dioda dan Transistor)
27	FIS.27	Radioaktif dan Sinar Katoda
28	FIS.28	Pengertian dan Cara Kerja Bahan

Glossary

ISTILAH	KETERANGAN
GGL Induksi	Arus yang dihasilkan pada suatu kumparan akibat perubahan fluks magnetik
Induksi Magnetik	Induksi yang disebabkan medan magnet
Medan Magnetik	Medan yang dihasilkan oleh magnet
Tegangan efektif	Tegangan yang dapat diukur dengan Voltmeter AC, yang besarnya sama dengan tegangan maksimum dibagi akar 2.
Arus efektif	Arus yang dapat diukur dengan Amperemeter AC, yang besarnya sama dengan arus maksimum dibagi akar 2.
Daya	Kelajuan melakukan usaha , dan dinyatakan dengan: $P = \frac{W}{t}$
Watt	Satuan untuk daya. Besaran skalar 1 Watt = 1 Joule per sekon.
Joule	Satuan energi, satuan usaha . 1 Joule = 1 N. sekon.

BAB I. PENDAHULUAN

A. Deskripsi

Dalam modul ini anda akan mempelajari konsep dasar Arus Bolak Balik, yang didalamnya dibahas: Tegangan dan Arus efektif, Rangkaian RLC dan diagram fasor dan daya listrik serta beberapa penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

B. Prasyarat

Sebagai prasyarat atau bekal dasar agar bisa mempelajari modul ini dengan baik, maka anda diharapkan sudah mempelajari: konsep medan magnetik disekitar penghantar berarus listrik, gaya magnetik (gaya Lotentz) dan penerapannya, medan magnetik disekitar penghantar berarus listrik berbentuk lingkaran dan generator.

C. Petunjuk Penggunaan Modul

- a. Pelajari daftar isi serta skema kedudukan modul dengan cermat dan teliti karena dalam skema anda dapat melihat posisi modul yang akan anda pelajari terhadap modul-modul yang lain. Anda juga akan tahu keterkaitan dan kesinambungan antara modul yang satu dengan modul yang lain.
- b. Perhatikan langkah-langkah dalam melakukan pekerjaan dengan benar untuk mempermudah dalam memahami suatu proses pekerjaan, agar diperoleh hasil yang maksimum.
- c. Pahami setiap konsep yang disajikan pada uraian materi yang disajikan pada tiap kegiatan belajar dengan baik, dan ikuti contoh-contoh soal dengan cermat.
- d. Jawablah pertanyaan yang disediakan pada setiap kegiatan belajar dengan baik dan benar.

- e. Jawablah dengan benar soal tes formatif yang disediakan pada tiap kegiatan belajar.
- f. Jika terdapat tugas untuk melakukan kegiatan praktek, maka lakukanlah dengan membaca petunjuk terlebih dahulu, dan bila terdapat kesulitan tanyakan pada instruktur/guru.
- g. Catatlah semua kesulitan yang anda alami dalam mempelajari modul ini, dan tanyakan kepada instruktur/guru pada saat kegiatan tatap muka. Bila perlu bacalah referensi lain yang dapat membantu anda dalam penguasaan materi yang disajikan dalam modul ini.

D. Tujuan Akhir

Setelah mempelajari modul ini diharapkan anda dapat:

- ? Memahami konsep tegangan dan arus efektif.
- ? Memahami konsep tegangan dan arus maksimum.
- ? Memahami konsep rangkaian RLC seri.
- ? Memahami konsep rangkaian RLC paralel.
- ? Memahami konsep daya.
- ? Mengerjakan soal-soal yang berkaitan dengan konsep arus bolak balik dan rangkaian RLC pada poin-poin di atas.

E. Kompetensi

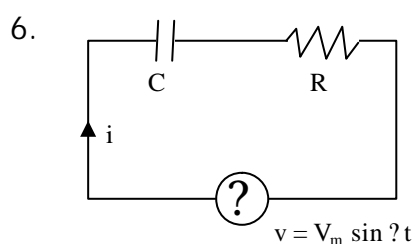
Kompetensi : MENGUKUR ARUS BOLAK BALIK
 Program Keahlian : Program Adaptif
 Mata Diklat/SKS : FISIKA/FIS.21
 Durasi Pembelajaran : 18 jam @ 45 menit

SUB KOMPETENSI	KRITERIA UNJUK KINERJA	LINGKUP BELAJAR	MATERI POKOK PEMBELAJARAN		
			SIKAP	PENGETAHUAN	KETERAMPILAN
1. Mengukur tegangan dan arus bolak-balik	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Perubahan arus dan tegangan arus diinterpretasikan secara sinusoidal 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Materi kompetensi ini membahas tentang: Arus dan tegangan 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Teliti dalam mengukur arus dan tegangan bolak-balik 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Amperemeter dan voltmeter DC dan AC ☞ Fungsi sinusoidal ☞ Nilai efektif arus dan tegangan bolak-balik ☞ Powermeter 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Menerapkan prinsip kerja transformator
2. Menerapkan hubungan antara arus, tegangan dan hambatan pada rangkaian arus bolak-balik	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Arus bolak-balik diinterpretasikan sesuai dengan rangkaian arus bolak balik 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Hubungan arus dan tegangan pada rangkaian hambatan murni R, L, dan C ☞ Hubungan antara arus dan tegangan pada rangkaian hambatan R – L ☞ Hubungan arus dan tegangan pada rangkaian hambatan R-L-C ☞ Menghitung daya pada rangkaian arus bolak-balik 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Teliti dalam mengukur arus dan tegangan bolak-balik 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Hambatan R-L dan C ☞ Arus dan tegangan pada rangkaian R-L-C 	<ul style="list-style-type: none"> ☞ Mengukur arus, tegangan dan hambatan pada rangkaian arus bolak-balik

F. Cek Kemampuan

Kerjakanlah soal-soal berikut ini, jika anda dapat mengerjakan sebagian atau semua soal berikut ini, maka anda dapat meminta langsung kepada instruktur atau guru untuk mengerjakan soal-soal evaluasi untuk materi yang telah anda kuasai pada BAB III.

1. Jelaskan apa yang dimaksud arus dan tegangan maksimum serta arus dan tegangan efektif!
2. Gambarkan rangkaian kapasitif dan diagram fasornya!
3. Gambarkan rangkaian induktif dan diagram fasornya!
4. Gambarkan rangkaian Resistif murni dan diagram fasornya!
5. Arus listrik PLN yang sampai ke rumah-rumah mempunyai tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz.
 - a. Tegangan apakah yang dimaksud dengan 220 V?
 - b. Berapa tegangan maksimum?
 - c. Berapa tegangan minimum?
 - d. Berapa tegangan rata-ratanya?
 - e. Tuliskan persamaan tegangan sesaatnya!



Sebuah kapasitor $10 \mu\text{F}$ dan sebuah resistor 100 ohm disusun seri dan dihubungkan dengan tegangan ac seperti ditunjukkan pada gambar, dengan $V_m = 220 \text{ volt}$ dan frekuensi $\frac{200}{\pi} \text{ Hz}$.

Tentukan:

- a. impedansi rangkaian;
- b. kuat arus maksimum;
- c. Sudut fase antara tegangan.

B. KEGIATAN BELAJAR

1. Kegiatan Belajar 1

a. Tujuan kegiatan pembelajaran

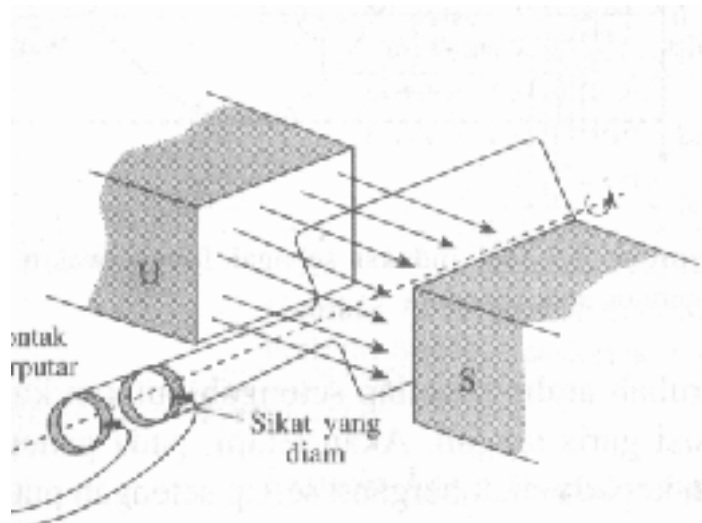
- ☞ Memahami konsep tegangan dan arus bolak-balik.
- ☞ Memahami konsep tegangan efektif dan arus efektif.
- ☞ Pengukuran arus dan tegangan bolak-balik.

b. Uraian Materi

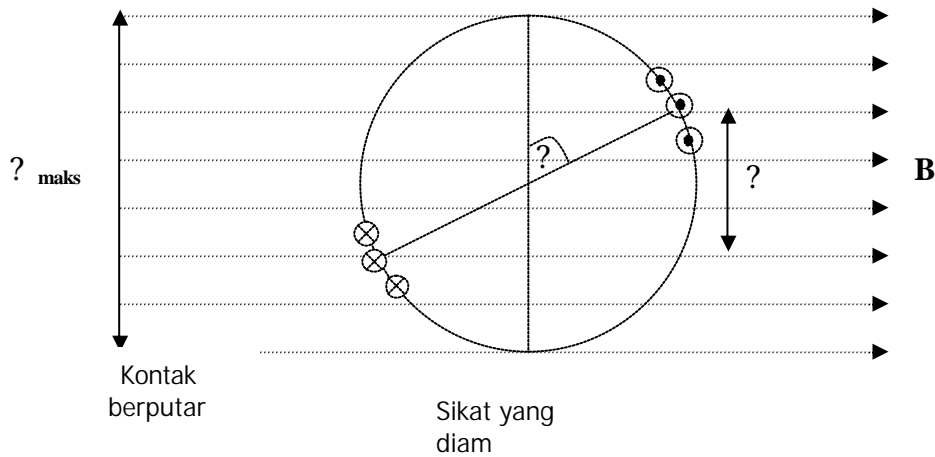
1) Konsep Tegangan dan Arus Bolak Balik

Arus bolak-balik fungsi sinusoida atau arus bolak-balik murni, merupakan pokok bahasan utama dalam mempelajari listrik arus bolak-balik. Ada sebagian buku yang mengartikan alternating current sebagai listrik arus berubah. Di mana istilah berubah diartikan sebagai berubah arah dan atau besarnya. Jika batasan ini digunakan maka listrik dibedakan antara listrik arus rata dan listrik arus berubah. Menurut klasifikasi ini arus pulsa termasuk listrik arus berubah.

Menurut hukum Faraday tentang GGL induksi, perubahan fluks magnet akan membangkitkan GGL pada ujung-ujung suatu kumparan. Besarnya GGL berbanding langsung dengan jumlah lilitan, kuat medan magnet dan besarnya frekuensi perubahan fluks magnet. Pada dinamo atau generator, GGL induksi diperoleh dengan memutar kumparan di dalam medan magnet.



Gambar 1. Diagram Generator



Gambar 2. Prinsip kerja generator

2) Konsep tegangan dan arus bolak-balik

Menurut Hukum Faraday: $\epsilon_i = - \frac{d\Phi}{dt}$ jika yang melingkungi

jumlah garis gaya ada N bingkai maka:

$$\epsilon = N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\epsilon = N \frac{d\Phi_{\max} \cos \theta}{dt}$$

$$\epsilon = N \Phi_{\max} \frac{d \cos(\omega t)}{dt}$$

$$\epsilon = N \Phi_{\max} (\omega) \sin(\omega t)$$

$$\epsilon = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \epsilon_{\max} \sin(\omega t) \dots\dots\dots(1.1)$$

$$\epsilon_{\max} = N B A \omega$$

untuk $\sin \omega t = 1$, maka $\epsilon =$ maksimum.

$$\epsilon_{\max} = N B A \omega \text{ atau } \epsilon_{\max} = N \omega B A$$

Akibatnya:

$$\epsilon = \epsilon_{\max} \cdot \sin(\omega t) \dots\dots\dots(1.2)$$

Dengan:

$$\epsilon = \text{Ggl tegangan induksi (volt)}$$

$$\epsilon_{\max} = \text{Ggl tegangan induksi maksimum (volt)}$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut (rad/s)}$$

Demikian GGL tegangan merupakan **fungsi sinus**, dan waktu berputarnya kumparan itu. Sedangkan dalam bentuk arusnya juga merupakan fungsi sinus, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I = I_{\max} \cdot \sin(\omega t) \dots\dots\dots(1.3)$$

Dengan:

$$I = \text{Ggl arus induksi (ampere)}$$

$$I_{\max} = \text{Ggl arus induksi maksimum (ampere)}$$

$$\omega = \text{Kecepatan sudut (rad/s)}$$

$$t = \text{waktu putar (s)}$$

Inilah sebabnya maka disebut **arus bolak-balik**.

Alat yang dapat menghasilkan **arus bolak-balik** ialah apa yang disebut dengan **Generator (Dinamo)**. Arus bolak-balik sinus itu besar faedahnya dan mudah diubah GGLnya.

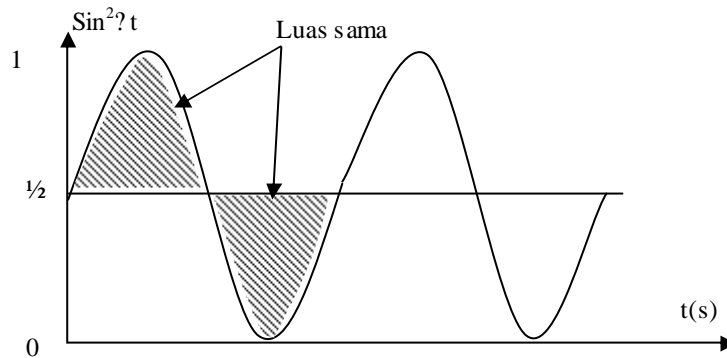
3) Konsep Tegangan efektif dan Arus Efektif

Harga efektif suatu arus bolak-balik adalah arus mantap yang akan menghasilkan daya disipasi sama seperti yang dihasilkan oleh arus bolak-balik. Daya disipasi sesaat adalah

$$P = i^2 R = (I_m \sin \omega t)^2 R = I_m^2 R \sin^2 \omega t \dots\dots\dots(1.4)$$

Daya disipasi rata-rata adalah

$$\overline{I_m^2 R \sin^2 \omega t} = I_m^2 R \overline{\sin^2 \omega t} \dots\dots\dots(1.5)$$



Gambar 3. Rata-rata $\overline{\sin^2 \omega t}$

Karena $\overline{\sin^2 \omega t} = \frac{1}{2}$, seperti ditunjukkan pada gambar 3, maka daya disipasi rata-rata adalah

$$P = I_m^2 R \left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{2} I_m^2 R \dots\dots\dots(1.6)$$

$$P = I_{ef}^2 R \dots\dots\dots(1.7)$$

Dari persamaan (6) dan (7) diperoleh:

$$I_{ef}^2 = \frac{1}{2} I_m^2$$

$$\text{Jadi } I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(1.8)$$

Dengan:

- I_{ef} = Ggl arus induksi efektif (ampere)
- I_m = Ggl arus induksi maksimum (ampere)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Sama halnya dengan arus maka tegangan efektif adalah

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (1.9)$$

Dengan:

- V_{ef} = Ggl tegangan induksi efektif (volt)
- V_m = Ggl tegangan induksi maksimum (volt)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Sebagai contoh, Tegangan PLN ke rumah-rumah yang diukur oleh voltmeter ac adalah 220 V. ini berarti harga efektif tegangan $V_{ef} = 220$ V, sedang harga maksimum tegangan,

$$V_m = V_{ef} \sqrt{2} = 220 \sqrt{2} \text{ volt} \approx 310 \text{ volt}$$

4) Konsep pengukuran tegangan efektif dan Arus Efektif

Alat ukur yang sering dipakai di dalam pengukuran arus dan tegangan bolak balik ialah Amperemeter AC dan voltmeter AC. Setiap alat ukur listrik mempunyai batas ukur yang berbeda-beda, sehingga sebelum menggunakan alat ukur tersebut perlu mengetahui batas maksimum yang boleh diukur.

Amperemeter AC dipasang seri pada rangkaian listrik, sedangkan voltmeter AC dipasang paralel. Selain alat ukur di atas masih ada alat ukur yang dinamakan Osiloskop yang dapat mengukur arus dan tegangan AC sekaligus dapat melihat bentuk gelombangnya. Alat alat ukur listrik kebanyakan hanya mengukur nilai arus dan tegangan efektif.

Contoh soal 1

Sebuah generator listrik terdiri dari sebuah loop bujursangkar 10 lilitan dengan rusuk 50 cm. Loop kemudian diputar dengan 60 putaran per

sekon. Berapakah besar induksi magnetik yang diperlukan untuk menghasilkan ggl induksi maksimum sebesar 170 volt?

Penyelesaian

Induksi magnetik B dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$\mathcal{E}_{max} = N \mathcal{E} B A, \text{ karena } \mathcal{E} = 2\pi f,$$

$$\text{maka } \mathcal{E}_{max} = N 2\pi f B A$$

$$170 = 10 \times (50 \times 10^{-2})^2 \times B \times 2\pi \times 60$$

$$B = \frac{170}{10 \times 2500 \times 10^{-4} \times 2\pi \times 60} \approx 0,18 \text{ T}$$

Contoh soal 2

Bila sebuah generator berputar pada 1500 putaran/ menit untuk membangkitkan tegangan maksimum 100 volt, berapakah besar putaran yang diperlukan untuk membangkitkan tegangan maksimum 120 V?

Penyelesaian

Dengan menggunakan perbandingan tegangan maksimum, maka

$$\frac{\mathcal{E}_{maks(2)}}{\mathcal{E}_{maks(1)}} \approx \frac{NAB^2 f_2}{NAB^2 f_1} \approx \frac{f_2}{f_1}$$

$$\frac{120}{100} \approx \frac{f_2}{1500} \approx f_2 \approx \frac{6}{5} \times 1500 \approx 1800 \text{ put / menit}$$

Jadi untuk menghasilkan tegangan maksimum 120 volt, diperlukan putaran generator sebesar 1800 putaran/ menit.

c. Rangkuman

1. Menurut hukum Faraday tentang GGL induksi, perubahan fluks magnet akan membangkitkan GGL pada ujung-ujung suatu kumparan. Besarnya GGL berbanding langsung dengan jumlah lilitan, kuat medan magnet dan besarnya frekuensi perubahan fluks magnet. Pada dinamo atau generator, GGL induksi diperoleh dengan memutar kumparan di dalam medan magnet. $\epsilon = N \cdot \dot{\Phi} = \epsilon_{\max} \sin(\omega t)$

2. Harga arus efektif sama dengan arus maksimum dibagi akar dua.

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

3. Harga tegangan efektif sama dengan tegangan maksimum dibagi akar dua. $V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

4. Harga tegangan dan arus efektif pada arus bolak-balik dapat diukur menggunakan amperemeter dan voltmeter AC.

d. Tugas

1. Arus listrik PLN yang sampai ke rumah mempunyai tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz. Tentukan:
 - (a) Tegangan maksimum.
 - (b) Kecepatan sudut.
 - (c) Tegangan efektif.

2. Sebuah rangkaian ac kapasitif mempunyai frekwensi sudut 100 rad/s dan $V_m = 220\text{ V}$, Jika $C = 20\ \mu\text{F}$, tentukan kuat arus yang melalui rangkaian pada $t = 0,004\text{ s}$!
3. Suatu kumparan dengan induktansi diri 100 mH dan hambatan tidak diketahui dan sebuah kapasitor $1\ \mu\text{F}$ di susun seri dengan suatu osilator berfrekuensi 5000 rad/s . Jika sudut fase antara tegangan power suplai dan kuat arus 60° , tentukan hambatan kumparan.
4. Ggl induksi pada suatu generator mempunyai persamaan, $\omega = 200\text{ sin}(100\omega t)$
Tentukan:
 - a. Tegangan maksimum
 - b. Kecepatan sudut
 - c. Frekuensi putaran
 - d. Periode
 - e. Lukiskan grafik ggl sebagai fungsi waktu.
5. Suatu kumparan dihubungkan dengan tegangan bolak balik. Melalui data percobaan hasil pengukuran dengan ohm meter, voltmeter dan ampermeter yaitu 30 ohm , 5 volt dan 100 miliampere . Tentukan Reaktansi induktif kumparan.
6. Sebutkan dua cara untuk memperbesar reaktansi induktif!
7. Kumparan berbentuk bujursangkar dengan sisi 20cm terdiri 400 lilitan kumparan bersumbu putar tegak lurus medan magnet 2 tesla diputar dengan kecepatan sudut 50 rad/s . Maka, tentukan GGL induksi maksimum yang timbul!
8. Pada suatu kumparan terdiri 100 lilitan terjadi perubahan fluks secara beraturan dari $2 \times 10^{-2}\text{ Weber}$ menjadi 10^{-2} Weber selama $0,2\text{ sekon}$ maka tentukan GGL induksi yang timbul!

9. Suatu kumparan dengan 1000 lilitan diberikan medan magnet, bila terjadi perubahan fluks magnet sebesar 4×10^{-3} Weber dalam waktu ≈ 1 sekon. Maka tentukan besar GGL induksinya!
10. Bagaimanakah caranya untuk menimbulkan GGL induksi pada sebuah kumparan?

e. Tes Formatif

1. Suatu kumparan dengan 1000 lilitan diberikan medan magnet, bila terjadi perubahan fluks magnet sebesar 5×10^{-3} Weber dalam waktu 1 sekon. Maka tentukan besar GGL induksinya!
2. Sebuah generator listrik terdiri dari sebuah loop bujursangkar 10 lilitan dengan rusuk 50 cm. Kemudian diputar dengan 60 putaran perdetik. Berapakah besar induksi magnetik yang diperlukan untuk menghasilkan GGL induksi maksimum sebesar 200 Volt ?
3. Bagaimana pengaruhnya pada GGL induksi jika yang diubah adalah kecepatan putar kumparan, yaitu menjadi tiga kali semula ?
4. Pada suatu kumparan terdiri dari 200 lilitan terjadi perubahan fluks beraturan dari 2×10^{-2} Weber menjadi 10^{-2} Weber selama 0,2 sekon maka tentukan GGL Induksi yang timbul.
5. Jelaskan dengan singkat prinsip kerja dari generator!
6. Fluks magnetik yang memasuki suatu kumparan berkurang dari 10 Wb menjadi 2 Wb dalam waktu 4 sekon. Jika kumparan terdiri dari 20 lilitan dengan hambatan 5 ohm, tentukan kuat arus listrik yang mengalir melalui kumparan!
7. Ggl induksi pada suatu generator mempunyai persamaan, $\epsilon = 100 \sin(120\pi t)$

Tentukan:

- a). Tegangan maksimum

- b). Kecepatan sudut
 - c). Frekuensi putaran
 - d). Periode
8. Dinamo sepeda merupakan generator yang menghasilkan arus bolak-balik yang dihubungkan dengan lampu sepeda, apa yang terjadi jika sepeda bergerak dengan lambat dan cepat ?
 9. Kumparan berbentuk bujursangkar dengan sisi 10 cm terdiri 200 lilitan kumparan bersumbu putar tegak lurus medan magnet 2 tesla diputar dengan kecepatan sudut 50 rad/s. Maka, tentukan GGL induksi maksimum yang timbul!

f. Kunci Jawaban

1. (jawaban: 40 Volt)
2. (jawaban: 1,27 T)
3. (jawaban: menjadi 3 kali semula)
4. (Jawaban: 10 volt)
5. (Jawaban: Kumparan diputar di dalam medan magnet, maka kumparan akan melingkupi fluks magnet yang menyebabkan ujung-ujung kumparan timbul ggl induksi).
6. (Jawaban: 8 Ampere)
7. (Jawaban: (a) 100 volt, (b) 120 ? rad/s, (c) 60 Hz, (d) 0,0167 s)
8. (Jawaban: Jika bergerak lambat nyala lampu tidak terang, Jika bergerak cepat nyala lampu menjadi terang).
9. (Jawaban: 200 volt)

g. Lembar Kerja

Memahami pengukuran arus dan tegangan efektif

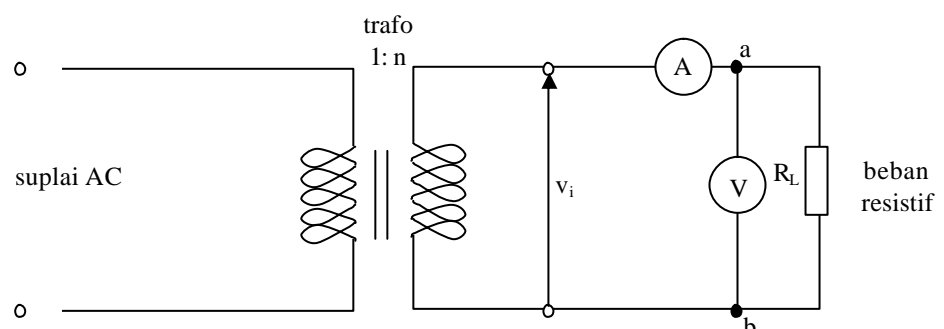
Pengukuran arus dan tegangan efektif AC dengan menggunakan Amperemeter AC, Voltmeter AC serta osiloskop.

1. Alat

- ? 1 buah Osiloskop;
- ? 1 buah Voltmeter AC;
- ? 1 buah Amperemeter AC;
- ? Kabel penghubung;
- ? 1 buah transformator step down dengan keluaran 12 V.

2. Langkah kerja

1. Rangkai alat seperti pada gambar di bawah ini



2. Catat arus dan tegangan keluaran pada transformator menggunakan amperemeter AC dan voltmeter AC!

3. Hubungkan colok osiloskop dengan titik keluaran (a dan b) pada transformator!
4. Gambar bentuk gelombang yang tampak pada layar monitor!
5. Hitung tegangan dan arus pada gelombang tersebut!
6. Bandingkan hasil pengukuran arus dan tegangan pada point 2 dan 5.
7. Tuliskan kesimpulan pada kegiatan ini!

2. Kegiatan Belajar 2

a. Tujuan Kegiatan Pembelajaran

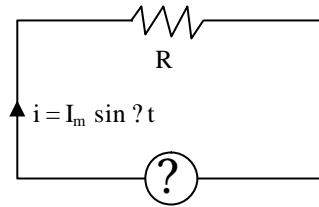
- ☞ Memahami Rangkaian Resistif (hambatan) murni.
- ☞ Memahami Rangkaian Induktif (L).
- ☞ Memahami Rangkaian Kapasitif (C).
- ☞ Memahami Rangkaian RLC seri.
- ☞ Memahami Rangkaian RLC paralel.
- ☞ Memahami Rangkaian RLC campuran seri dan paralel.
- ☞ Memahami, membedakan daya rata-rata, daya semu dan daya reaktif.
- ☞ Menghitung daya pada suatu rangkaian arus bolak balik.
- ☞ Menghitung Impedansi.
- ☞ Mentransformasikan susunan rangkaian bentuk delta menjadi bentuk wye dan sebaliknya.

b. Uraian Materi

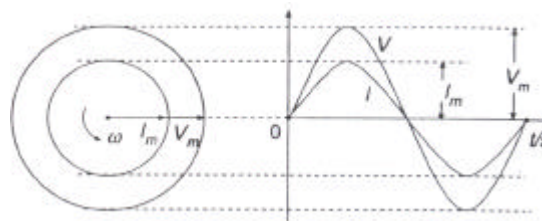
1) Rangkaian Resistif Murni

Rangkaian resistif murni hanya memiliki hambatan R , seperti ditunjukkan pada Gambar 4 . Sebagai acuan adalah fasor arus I_m yang digambar mendatar sejajar sumbu t . Diperoleh fasor tegangan V_m

yang juga mendatar (sudut fase = ωt). Jadi pada rangkaian **resistif murni**, arus dan tegangan adalah **sefase**, lihat gambar 5.



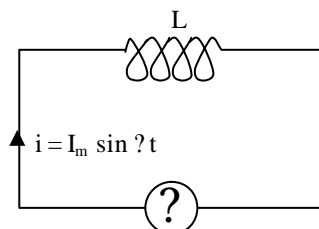
Gambar 4: Rangkaian Resistif murni



Gambar 5: V dan i dalam suatu rangkaian resistif murni.

2) Rangkaian Induktif Murni

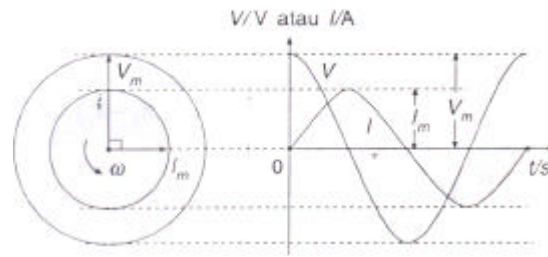
Rangkaian induktif murni hanya memiliki induktansi L , seperti pada gambar 6. Untuk fasor I_m mendatar dengan sudut fase ωt , diperoleh fasor V_m dengan sudut fase $(\omega t + 90^\circ)$ seperti ditunjukkan pada gambar 7. Jadi pada rangkaian induktif murni, tegangan mendahului arus sebesar 90° atau $\frac{\pi}{2}$ rad, atau arus terlambat terhadap tegangan sebesar 90° .



Gambar 6: Rangkaian induktif murni

Jika $i = I_m \sin \omega t$ maka $V = V_m \sin (\omega t + 90^\circ)$

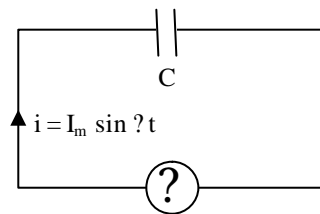
Jika $V = V_m \sin \omega t$ maka $i = I_m \sin (\omega t - 90^\circ)$



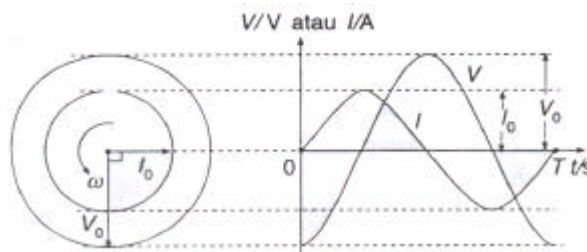
Gambar 7: V dan i dalam suatu rangkaian induktif murni.

3) Rangkaian kapasitif murni

Rangkaian kapasitif murni hanya memiliki kapasitansi C, seperti pada gambar 8 Untuk fasor v_m dengan sudut fase $(\omega t - 90^\circ)$. Jadi, pada rangkaian kapasitif murni, tegangan terlambat 90° ($\frac{\pi}{2}$) terhadap arus atau arus mendahului 90° ($\frac{\pi}{2}$) terhadap tegangan.



Gambar 8: Rangkaian kapasitif murni



Gambar 9: V dan i dalam suatu rangkaian kapasitif murni.

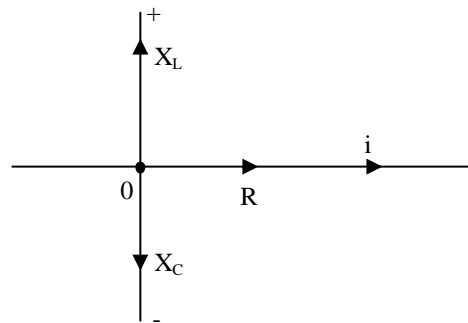
Hambatan $R = \frac{V_R}{i}$ (ohm)

Reaktansi induktif $X_L = \frac{V_L}{i}$ (ohm)

Reaktansi kapasitif $X_C = \frac{V_C}{i}$ (ohm)

Hambatan R tidak dipengaruhi oleh frekuensi arus bolak-balik, tetapi X_L dan X_C dipengaruhi oleh frekuensi ac.

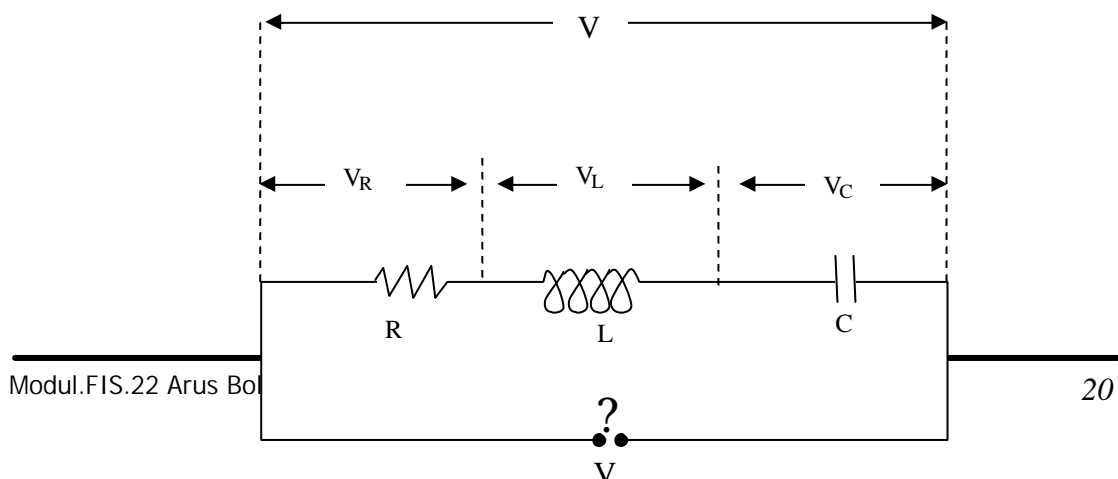
Diagram fasor, R, X_L , dan X_C dengan acuan fasor i dalam arah mendatar ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10: V dan i dalam suatu

4) Rangkaian RLC secara Seri

Yang dimaksud rangkaian RLC secara seri ialah rangkaian dari hambatan murni (R) induktor (L) dan kapasitor (C) yang ketiganya dihubungkan secara seri, seperti gambar di bawah ini:



Gambar 11: Rangkaian LRC Seri

Karena R, L dan C dirangkai secara seri, maka arus yang melalui ketiga penghambat tersebut mempunyai besar, arah dan fase yang sama.

Jika dimisalkan arusnya

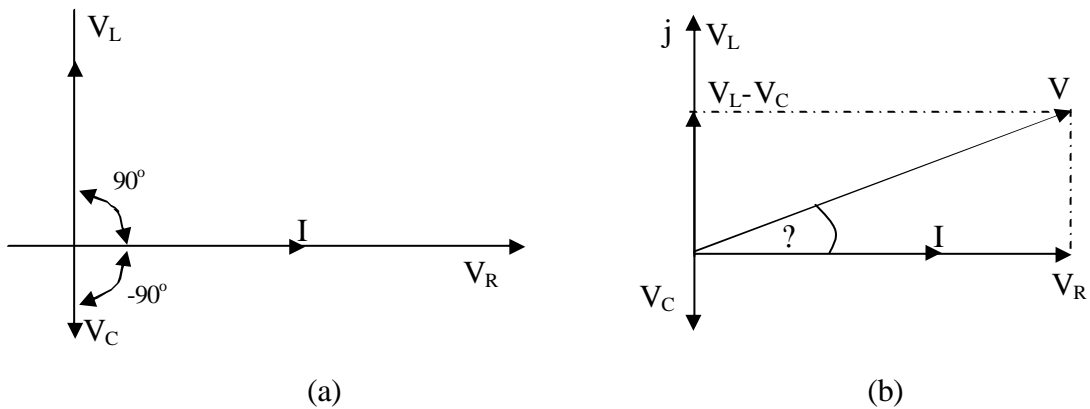
$$I = |I| \angle 0^\circ = I_R \angle 0$$

Maka : $V_R = |V_R| \angle 0^\circ = V_R \angle 0$

$$V_L = |V_L| \angle 90^\circ = j V_L$$

$$V_C = |V_C| \angle -90^\circ = -j V_C$$

Diagram fasor dan diagram pada sumbu kompleks dapat dilukiskan seperti pada gambar 12 di bawah ini:



Gambar 12: (a) Diagram pada sumbu kompleks. (b) Diagram fasor.

Dari diagram

$$\vec{V} = \vec{V}_R + \vec{V}_L + \vec{V}_C \text{ (jumlah vektor).....(2.1)}$$

$$V = V_R + j (V_L - V_C) \dots\dots\dots(2.2)$$

$$|V| = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \dots\dots\dots(2.3)$$

ϕ menyatakan beda fase antara V dengan I atau dengan V_R

$$\tan \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\phi = \arctan \frac{V_L - V_C}{V_R} = \arctan \frac{V_L - V_C}{V_R} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$V_R = I R$$

$$V_L = I X_L$$

$$V_C = I X_C$$

Dari,

$$V = V_R + j (V_L - V_C) \dots\dots\dots(2.6)$$

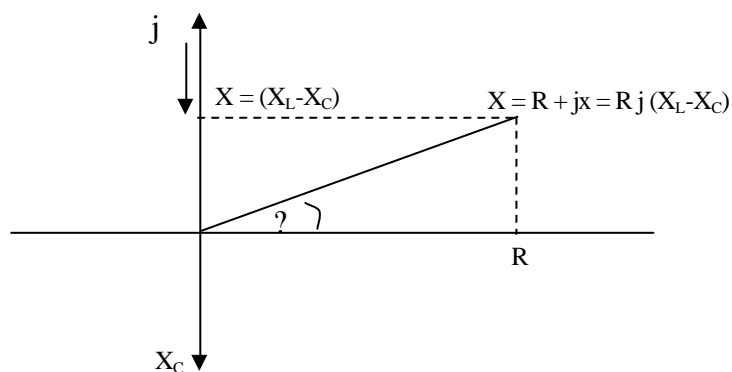
$$V = I R + j I (X_L - X_C) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\frac{V}{I} = R + j (X_L - X_C) \dots\dots\dots(2.8)$$

Menurut hukum Ohm $\frac{V}{I}$ merupakan hambatan berarti:

$R + j (X_L - X_C)$ = hambatan pada rangkaian RLC dan disebut impedansi yang dilambangkan dengan huruf (Z) Impedansi,

$$Z = R + j (X_L - X_C) \dots\dots\dots(2.9)$$



Gambar 13: Diagram Impedansi

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Tg } \phi = \frac{X}{R} = \frac{X_L - X_C}{R} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{R}{Z}$$

$$\phi = \text{arc.tg} \frac{X}{R} = \text{tg}^{-1} \frac{X}{R} \text{ atau } \phi = \text{cos}^{-1} \frac{R}{Z} \dots\dots\dots(2.12)$$

ϕ = sudut fase antara arus dan tegangan

Persamaan impedansi dapat juga diperoleh dengan cara berikut:

$$V = V_R + V_L + V_C \text{ (penjumlahan vector)}$$

$$V_R = (I \angle 0^\circ) (R \angle 0^\circ) = IR \angle 0^\circ = I (R + j 0)$$

$$V_L = (I \angle 0^\circ) (X_L \angle 90^\circ) = IX_L \angle 90^\circ = I (0 + j X_L)$$

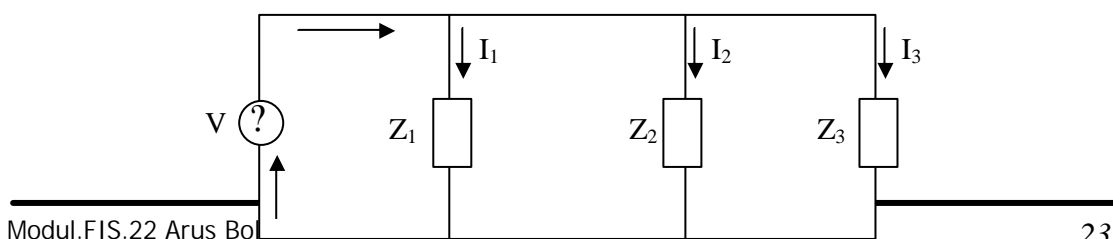
$$V_C = (I \angle 0^\circ) (X_C \angle -90^\circ) = I X_C \angle -90^\circ = I (0 - j X_C)$$

$$V = I \{(R + j 0) + (0 + j X_L) + (0 - j X_C)\}$$

$$Z = \frac{V}{I} = R + j(X_L - X_C)$$

5) Rangkaian paralel

Jika beberapa hambatan masing-masing ujungnya dihubungkan pada titik yang sama dalam suatu rangkaian, hambatan-hambatan tersebut dirangkai secara paralel. Pada rangkaian paralel antara setiap ujung-ujung setiap penghambat mempunyai beda tegangan yg sama baik besar, arah maupun fasenya. Jika arus ditulis dalam bentuk bilangan kompleks, maka arus total (I_t) pada rangkaian paralel sama dengan jumlah arus, dari masing-masing penghambat.



Gambar 14: Rangkaian Impedansi paralel.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\frac{V}{Z_t} = \frac{V}{Z_1} + \frac{V}{Z_2} + \frac{V}{Z_3} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\frac{1}{Z_t} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} \dots \dots \dots (2.15)$$

$$Z_t = \frac{Z_1 Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3} \dots \dots \dots (2.16)$$

16)

Admitansi

Kebalikan dari impedansi (Z) disebut admitansi (Y).

$$Y = \frac{1}{Z} \dots \dots \dots (2.17)$$

Admitansi dinyatakan dalam satuan ampere/volt atau mho (kebalikan dari ohm). Persamaan admitansi untuk rangkaian paralel.

$$Y_t = Y_1 + Y_2 + Y_3 \dots \dots \dots (2.18)$$

Jadi pada rangkaian paralel, admitansi total (Y_t), sama dengan jumlah admitansi-admitansi yang dirangkai secara paralel.

Dalam sistem bilangan kompleks, impedansi mempunyai dua komponen, masing-masing pada sumbu khayal dan pada sumbu nyata. Komponen impedansi pada sumbu khayal disebut reaktansi ($X = X_L - X_C$) dan resistansi (R). Hubungan antara reaktansi dan resistansi dinyatakan oleh persamaan:

$$Z = R + j (X_L - X_C) = R + jX$$

Untuk admitansi, komponen pada sumbu khayal disebut sukseptansi (b) dan komponen pada sumbu nyata disebut konduktansi (g). Hubungan antara sukseptansi dan konduktansi dinyatakan oleh persamaan:

$$Y = g + jb$$

Hubungan timbal balik antara impedansi dan admitansi adalah sebagai berikut:

Admitansi	Impedansi
$Y = g + jb = \frac{1}{Z}$	$Z = R + jX = \frac{1}{Y}$
$g + jb = \frac{1}{R + jX}$	$R + jX = \frac{1}{(g + jb)}$
$= \frac{R - jX}{(R + jX)(R - jX)}$	$= \frac{g - jb}{(g + jb)(g - jb)}$
$= \frac{R - jX}{(R^2 + X^2)}$	$= \frac{g}{(g^2 + b^2)} + \frac{b}{(g^2 + b^2)}$
$= \frac{1}{(R^2 + X^2)}(R - jX)$	$Z = \frac{1}{(g^2 + b^2)}$
$Y = \frac{1}{(R^2 + X^2)} \text{konjugate } Z$	$R = \frac{g}{(g^2 + b^2)}$
$g = \frac{R}{(R^2 + X^2)}$	$X = \frac{-b}{(g^2 + b^2)}$
$b = \frac{-X}{(R^2 + X^2)}$	$ Z = \sqrt{R^2 + X^2}$
$ Y = \frac{\sqrt{g^2 + b^2}}{\sqrt{\frac{R^2}{R^2 + X^2} + \frac{X^2}{R^2 + X^2}}}$	$= \sqrt{\frac{g^2}{g^2 + b^2} + \frac{b^2}{g^2 + b^2}}$
$ Y =$	$ Z = \frac{1}{\sqrt{g^2 + b^2}} = \frac{1}{ Y }$
	$\theta = \text{arc tg} \frac{X}{R}$

$$\frac{1}{\sqrt{R^2 + X^2}} \cdot \frac{1}{|Z|} \cdot \arctan \frac{b}{g}$$

$$\arctan \frac{X}{R}$$

$$= -\arctan \frac{V}{R}$$

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

$$= \frac{1}{|Z|} \times \text{konjugate } Z$$

$$= \arctan \frac{(g^2 + b^2)}{b}$$

$$\arctan \frac{b}{g}$$

$$Z = |Z|$$

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

$$= \frac{1}{|Y|} \times \text{konjugate } Y$$

Admitansi total (Y)

$$\frac{1}{t} \cdot G + jB \dots\dots\dots(2.19)$$

G = konduktansi total

$$= (g_1 + g_2 + \dots\dots\dots)$$

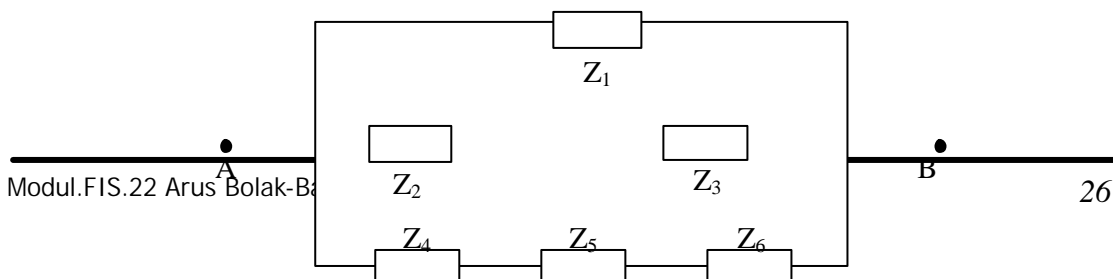
B = sukseptansi total

$$= (b_1 + b_2 + \dots\dots\dots)$$

$$Y_t = (G + jB) = (g_1 + g_2 + \dots\dots\dots) + j(b_1 + b_2 \dots\dots\dots)$$

6) Rangkaian campuran seri dan paralel

Pada umumnya akan lebih banyak dijumpai suatu rangkaian yang bersifat campuran, yaitu gabungan rangkaian paralel. Rangkaian campuran yang sederhana dapat berupa seri dari beberapa paralel atau paralel dari beberapa seri. Rangkaian campuran yang sederhana dapat diselesaikan dengan rumus-rumus rangkaian seri dan rangkaian paralel secara terpadu.



Gambar 15: Rangkaian Campuran Seri dan Paralel.

Dari rangkaian gambar 15.

$$\begin{aligned}
 Z_{AD} &= Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CD} \dots \dots \dots (2.20) \\
 &= Z_1 + Z_{2.3} + Z_{4.5.6} \\
 &= Z_1 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_2 + Z_3} + \frac{Z_4 Z_5 Z_6}{Z_4 Z_5 + Z_5 Z_6 + Z_4 Z_6}
 \end{aligned}$$

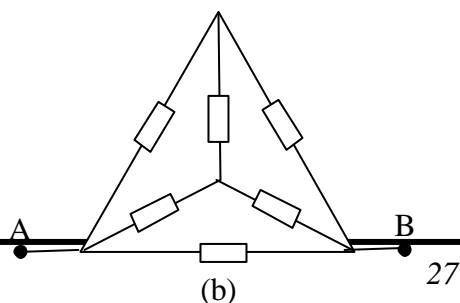
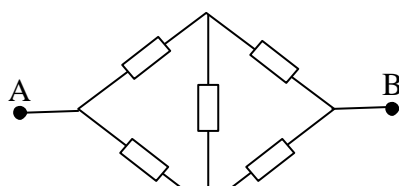
Penyelesaian dengan metode admitansi,

$$\begin{aligned}
 Z_{AB} &= Z_1 + Z_{2.3} + Z_{4.5.6} \\
 &= \frac{1}{Y_1} + \frac{1}{Y_{2.3}} + \frac{1}{Y_{4.5.6}} \dots \dots \dots (2.21) \\
 &= \frac{1}{g_1 + jb_1} + \frac{1}{(g_2 + g_3) + j(b_1 + b_2)} + \frac{1}{(g_4 + g_5 + g_6) + j(b_1 + b_2 + b_3)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{AB} &= \frac{g_1 + jb_1}{(g_1 + jb_1)^2} + \frac{(g_2 + g_3) + j(b_1 + b_2)}{(g_2 + g_3)^2 + j(b_1 + b_2)^2} + \frac{(g_4 + g_5 + g_6) + j(b_1 + b_2 + b_3)}{(g_4 + g_5 + g_6)^2 + j(b_1 + b_2 + b_3)^2}
 \end{aligned}$$

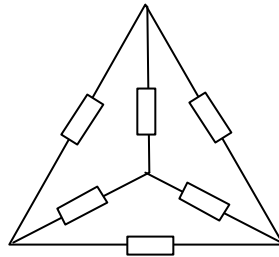
7) Transformasi delta Wye

Ada rangkaian-rangkaian tertentu yang tidak dapat diselesaikan dengan metode seri-paralel secara langsung.



Gambar 16

Rangkaian seperti gambar 16 dapat diselesaikan dengan seri-paralel setelah bentuknya diubah dengan transformasi $\Delta \rightarrow Y$. Sedangkan rangkaian di bawah ini, perlu diubah dengan transformasi $Y \rightarrow \Delta$.



Rangkaian bentuk Δ dengan impedansi $Z_1, Z_2,$ dan Z_3 ditransformasikan menjadi bentuk Y yang terdiri dari impedansi $Z_a, Z_b,$ dan Z_c .

Hubungan antara $Z_a, Z_b,$ dan Z_c dengan $Z_1, Z_2,$ dan Z_3 , dicari atas dasar, impedansi antara A dan B pada bentuk Δ dan Y sama besar. Demikian juga untuk impedansi antara AC dan BC.

Pada rangkaian Δ , arus dari A ke B melalui impedansi Z_1 serta Z_2 dan Z_3 . Sedangkan pada bentuk Y arus dari A ke B hanya melalui satu jalan dengan impedansi seri Z_a dan Z_b .

Pada bentuk Δ , impedansi antara A dan B,

$$Z_{AB} = \frac{Z_1(Z_2 \parallel Z_3)}{Z_1 \parallel Z_2 \parallel Z_3}$$

$$Z_{AB} = Z_a + Z_b$$

$$Z_a = \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 \parallel Z_2 \parallel Z_3}$$

$$Z_b = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 \parallel Z_2 \parallel Z_3}$$

$$Z_c = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 \parallel Z_2 \parallel Z_3}$$

Jika $Z_1 = Z_2 = Z_3$, maka $Z_a = Z_b = Z_c = 1/3 Z$

Rumus transformasi Y dapat diturunkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z_a Z_b + Z_a Z_c + Z_b Z_c &= \frac{Z_1 Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1 Z_2 + Z_2 Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)^2} \\ &= \frac{Z_1 Z_2 Z_3 (Z_1 + Z_2 + Z_3)}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)^2} + \frac{Z_1 Z_2 Z_3}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)^2} \\ &= Z_1 \frac{Z_2 Z_3}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} + Z_1 Z_c \\ &= Z_2 \frac{Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} + Z_2 Z_a \\ &= Z_3 \frac{Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2 + Z_3)} + Z_3 Z_b \end{aligned}$$

Jadi,

$$Z_1 = Z_a + Z_b + \frac{Z_a Z_b}{Z_c} + \frac{Z_a Z_b + Z_a Z_c + Z_b Z_c}{Z_c}$$

$$Z_2 = Z_b + Z_c + \frac{Z_b Z_c}{Z_a} + \frac{Z_a Z_b + Z_a Z_c + Z_b Z_c}{Z_a}$$

$$Z_3 = Z_a + Z_c + \frac{Z_a Z_c}{Z_b} + \frac{Z_a Z_b + Z_a Z_c + Z_b Z_c}{Z_b}$$

Untuk $Z_a = Z_b = Z_c = Z$, maka

$$= Z_1 = Z_2 = Z_3 = 3Z$$

8) Daya pada rangkaian arus bolak-balik

1. Daya rata-rata (P) adalah jumlah daya sesaat dalam suatu selang waktu dibagi dengan waktunya. Jika daya sesaat dinyatakan dengan (P), maka daya rata-rata (P) untuk selang waktu satu periode (T),

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P dt \dots\dots\dots(2.21)$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T VI dt \dots\dots\dots(2.22)$$

Di mana V dan I menyatakan tegangan dan arus sesaat.

Misalkan pada suatu rangkaian antara arus dan tegangan berbeda fase ϕ , dimana V mendahului I , maka

$$I = I_o \sin \omega t = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \sqrt{2} \sin \omega t \dots\dots\dots (2.23)$$

$$V = V_o \sin (\omega t + \phi) = \frac{V_o}{\sqrt{2}} \sqrt{2} \sin (\omega t + \phi) \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T V_o \sin (\omega t + \phi) I_o \sin \omega t dt \\ &= \frac{V_o I_o}{T} \int_0^T \sin (\omega t + \phi) \sin \omega t dt \\ &= \frac{1}{2} \int_0^T (\cos \phi - \cos (2\omega t + \phi)) dt \end{aligned}$$

$$P = \frac{V_{ef} I_{ef}}{T} \cos \phi [t]_0^T - \frac{1}{2T} [\sin (2\omega t + \phi)]_0^T$$

Biasanya tanda efektif dihilangkan,

$$P = \frac{VI}{T} \cos \phi \times T - \frac{1}{2} (\sin \phi - \sin \phi) = VI \cos \phi \dots\dots\dots (2.25)$$

Daya rata-rata,

$$P = VI \cos \phi$$

P = daya rata-rata

VI = daya semu (apparent power)

$\cos \phi$ = faktor daya (power faktor = Pf)

V & I = tegangan dan arus efektif

ϕ = sudut fase antara V dan I

2. Daya kompleks (S) adalah perkalian tegangan (V) dan konjugate arus (I).

Misalkan beda fase antara tegangan (V) dan arus (I) = ϕ . Jika $I =$

$|I| e^{j(\omega t - \phi)}$ maka $V = |V| e^{j\omega t}$, dan konjugate dari arus, $I = |I| e^{-j(\omega t - \phi)}$

Daya kompleks,

$$S = V \cdot I^* = (V \cos \phi + j V \sin \phi) \times (I \cos \phi - j I \sin \phi)$$

$$= |V I| \cos \phi + j |V I| \sin \phi$$

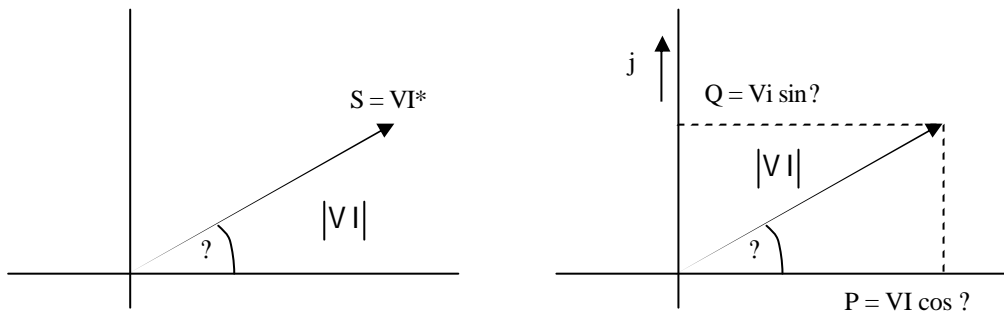
$$S = P + j Q \dots \dots \dots (2.26)$$

Komponen daya kompleks pada sumbu nyata disebut daya aktif (P).
Sedang komponen daya kompleks pada sumbu khayal disebut daya reaktif (Q).

Jadi daya kompleks,

$$S = VI^* = |V I| \cos \phi + j |V I| \sin \phi$$

$$= P + j Q \dots \dots \dots (2.27)$$



Gambar 16: (a) melukiskan daya kompleks dalam bentuk fasor, gambar (b). melukiskan grafik gambar kompleks pada sumbu kompleks.

S = daya kompleks

$$|S| = \text{daya semu} = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$= |V I| |Z|^2 \left| \frac{V^2}{Z} \right| \dots \dots \dots (2.28)$$

$$P = \text{daya aktif} = \text{daya nyata} = \text{daya rata-rata}$$

$$= VI \cos \phi \dots \dots \dots (2.29)$$

$\cos \phi$ = faktor daya (Pf)

$$Q = \text{daya reaktif}$$

$$= VI \sin \phi \dots \dots \dots (2.30)$$

$\sin \phi$ = faktor reaktif.

3. Satuan daya

a. Daya semu,

$$|S| = VI \text{ volt-ampere (VA) atau kilo volt ampere (KVA)}$$

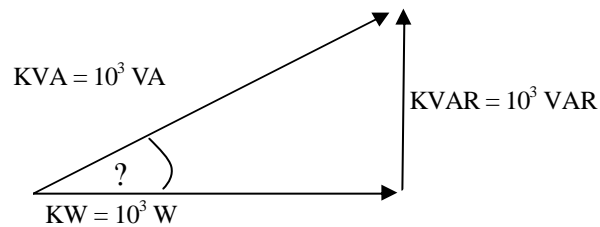
b. Daya rata-rata,

$$P = VI \cos \phi \text{ watt atau kilo watt (KW)}$$

c. Daya reaktif

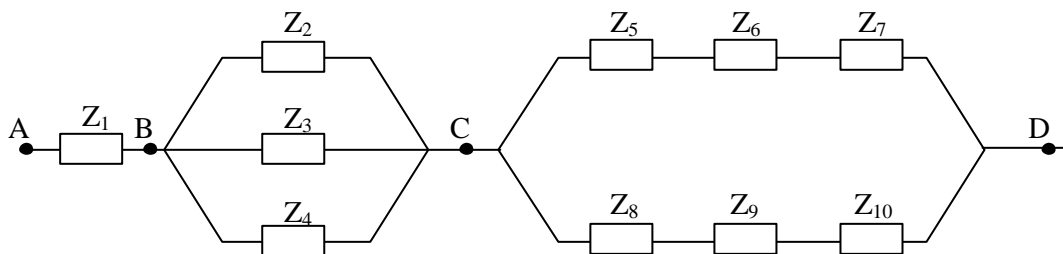
$$Q = VI \sin \phi \text{ volt-ampere-reaktif (VAR)}$$

d. Hubungan antara satuan KVA, KW dan KVAR



Gambar 17: Hubungan antara KVA, KW dan KVAR

Contoh soal



Dari rangkaian seperti di atas diketahui:

$$Z_1 = ? \qquad Z_6 = 6 - j_3 ?$$

$$Z_2 = 2 - j_3 ? \qquad Z_7 = 8 - j_6 ?$$

$$\begin{aligned} Z_3 &= 0 + j6? & Z_8 &= 4 - j4? \\ Z_4 &= 2 + 10? & Z_9 &= 0 + j2? \\ Z_5 &= 5 - j12? & Z_{10} &= 1 + j7? \end{aligned}$$

$$V_{AB} = 15? 0$$

Tentukan: a). Z_{AD} , b). V_{AD} , dan c). Diagram fasor.

Penyelesaian

$$a. Z_{AD} = Z_{AB} + Z_{BC} + Z_{CD}$$

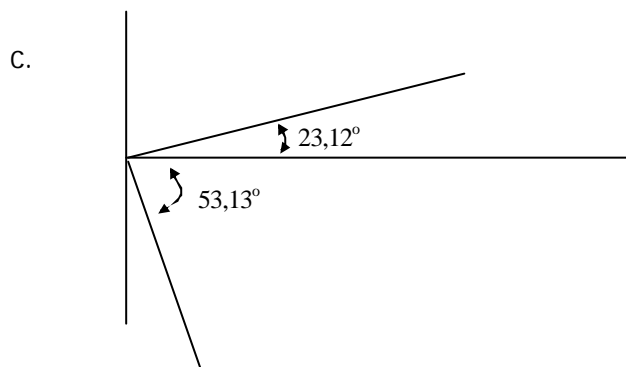
$$Z_{AB} = Z_1$$

$$\begin{aligned} Z_{BC} &= \frac{Z_2 Z_3 Z_4}{Z_2? Z_3? Z_4} \\ &= \frac{(2? j3)(j6)(2)}{(2? 0? 2)? j(3? 6? 0)4? j3} = \frac{36? j24}{4^2? 3^2} \\ &= \frac{(36? j24)(4? j3)}{4^2? 3^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{CD} &= \frac{(Z_5? Z_6? Z_7)(Z_8? Z_9? Z_{10})}{Z_5? Z_6? Z_7? Z_8? Z_9? Z_{10}} \\ &= \frac{(5? 6? 8)? J(12? 3? 6)? (4? 0? 1)? J(4? 2? 7)?}{(5? 6? 8? 4? 0? 1)? J(12? 3? 6? 4? 2? 7)?} \\ &= \frac{(19? j9)(5? j5)}{(24? j4)}? \frac{(140? j50)}{(24? j4)} \\ &= \frac{(140)j50(24? j4)}{24^2? 4^2} = \frac{3560? j640}{592} \\ &= (6,014 + j 1,08) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{AD} &= (6 + J 8) + (2,88 - j 0,48) + (6,01 + j 1,08) \\ &= (14,89 + j 8,6) = 17,2? 30,01^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } I &= I_{AB} = \frac{V_{AB}}{Z_1} \\
 &= \frac{15 \angle 0^\circ}{6 + j8} = \frac{15 \angle 0^\circ}{10 \angle 53,13^\circ} = 1,5 \angle -53,13^\circ \text{ ampere} \\
 V_{AD} &= I \cdot Z_{AD} = (1,5 \angle -53,13^\circ) (17,3 \angle 30,01^\circ) \\
 &= 25,8 \angle 23,12^\circ \text{ volt.}
 \end{aligned}$$

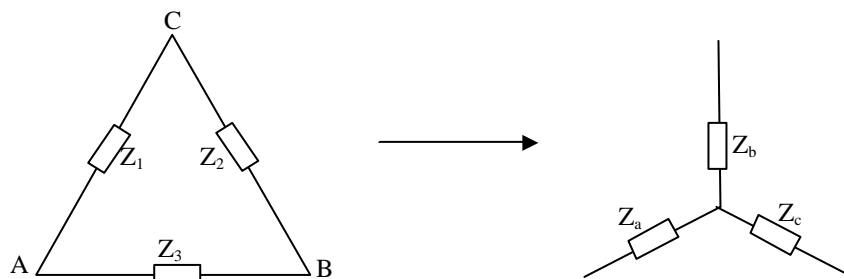


$$kW = (KVA) \times \cos \theta$$

$$kVAR = (KVA) \times \sin \theta$$

Jika dalam penulisan atau pernyataan tentang daya tidak ada penjelasan lain, maka yang dimaksud adalah daya rata-rata.

Contoh soal



Pada gambar di atas Z_1 , Z_2 , dan Z_3 yang terbentuk ?, ditransformasikan menjadi Z_a , Z_b , dan Z_c bentuk Y, Jika

$$Z_1 = (3 - j4) \text{ ohm}$$

$$Z_2 = (8 + j6) \text{ ohm}$$

$$Z_3 = (4 + j3) \text{ ohm}$$

Tentukan: Z_a , Z_b dan Z_c

Penyelesaian

$$\begin{aligned} Z_a &= \frac{Z_1 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{(3 - j4)(4 + j3)}{(3 - j4) + (8 + j6) + (4 + j3)} \\ &= \frac{24 - j7}{15 - j5} = \frac{(24 - j7)(15 + j5)}{250} \\ &= \frac{325 - j225}{250} = 1,3 - j0,9 \end{aligned}$$

$$Z_a = 1,3 - j0,9 = 1,58 \angle -34,7^\circ \text{ ohm.}$$

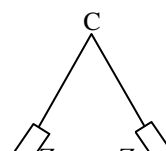
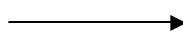
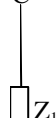
$$\begin{aligned} Z_b &= \frac{Z_2 Z_3}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{(8 + j6)(4 + j3)}{(15 - j5)} = \frac{(14 + j48)}{(15 - j5)} \\ &= \frac{(14 + j48)(15 + j5)}{250} = \frac{450 + j650}{250} \end{aligned}$$

$$Z_b = 1,8 + j2,6 = 3,16 \angle 55,3^\circ \text{ ohm}$$

$$\begin{aligned} Z_c &= \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_3} = \frac{(3 - j4)(8 + j6)}{(15 - j5)} = \frac{(48 + j14)}{(15 - j5)} \\ &= \frac{(48 + j14)(15 + j5)}{250} = \frac{650 + j450}{250} \end{aligned}$$

$$Z_c = (2,6 - j1,8) = 3,16 \angle -34,7^\circ \text{ ohm}$$

Contoh soal



Pada bentuk Y,

$$Z_1 = 4 - j 3$$

$$Z_2 = 0 - j 5$$

$$Z_3 = 6 + j 0$$

Jika Y ditransformasikan menjadi bentuk polar, tentukan: Z_a , Z_b , dan Z_c

Penyelesaian

$$\begin{aligned} Z_a &= Z_1 + Z_3 + \frac{Z_1 Z_3}{Z_2} \\ &= (4 - j 3) + (6 + j 0) + \frac{(4 - j 3)(6 + j 0)}{0 - j 5} \\ &= (10 - j 3) + \frac{(24 - j 18)}{-j 5} \\ &= (10 - j 3) + \frac{18 - j 24}{5} \end{aligned}$$

$$Z_a = (10 - j 3) + (3,6 + j 4,8) = (13,6 + j 1,8) = 13,72 \angle 7,54^\circ$$

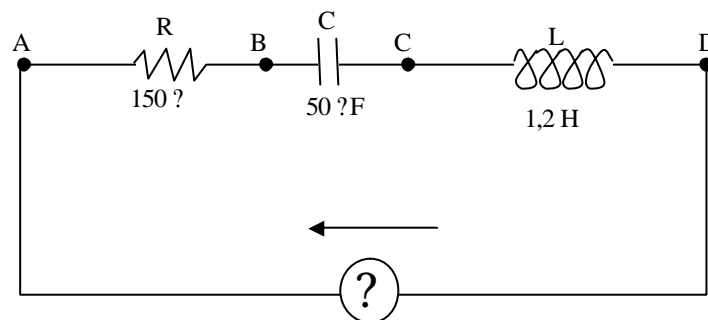
$$\begin{aligned} Z_b &= Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_3} \\ &= (4 - j 3) + (0 - j 5) + \frac{4 - j 3}{6} (-j 5) \\ &= (4 - j 8) + \frac{15 - j 20}{6} = (4 - j 8) + (2,5 - j 3,3) \end{aligned}$$

$$Z_b = (6,5 - j 11,3) = 13,04 \angle -60,90^\circ$$

$$\begin{aligned} Z_c &= Z_2 + Z_3 + \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} \\ &= (0 - j 5) + (6) + \frac{6(0 - j 5)}{4 - j 3} = (6 - j 5) + \frac{j 30(4 - j 3)}{25} \end{aligned}$$

$$= (6 - j 5) + (3,6 - j 4,8) = 9,6 - j 9,8 = 13,72 \angle -45,6^\circ$$

Contoh soal



Tentukan:

$$V = 85\sqrt{2} \sin(100t - \frac{\pi}{2})$$

- Z_{AB}
- Arus (I) dan sudut antara V dan I
- V_{AB} , V_{BC} , V_{CD} DAN V_{AC}

Penyelesaian

$$a. V = \frac{85\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \angle \frac{\pi}{4} = 85 \angle \frac{\pi}{4} \text{ V}$$

$$W = 100 \text{ rad/s}$$

$$X_L = W.L = 100 \times 1,2 = 120 \text{ Ohm}$$

$$X_C = \frac{1}{WC} = \frac{1}{100 \times 50 \times 10^{-6}} = 200 \text{ ohm}$$

$$Z_{AB} = R + j (X_L - X_C)$$

$$= 150 + j (120 - 200) = 150 - j 80$$

$$|Z_{AB}| = \sqrt{150^2 + 80^2} = 170 \text{ Ohm}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R} = \tan^{-1} \frac{80}{150} = 28,07^\circ$$

$$Z = 170 \angle 28,07^\circ \text{ Ohm}$$

b. $I = \frac{V}{Z}$

$$= \frac{85 \angle 45^\circ}{170 \angle 28,07^\circ}$$

$$= 0,5 \angle 16,93^\circ = (4,78 + j1,46) \text{ A}$$

Sudut fase antara I dan V = $-45^\circ - (-16,93^\circ) = -28,07^\circ$

c. $V_{AB} = I Z$

$$= (5 \angle -16,93^\circ) (150)$$

$$= (717,5 - j 218,4) \text{ V}$$

$$V_{BC} = I \cdot Z_{BC}$$

$$= (5 \angle -16,93^\circ) \times 200 \angle -90^\circ$$

$$= 1000 \angle -106,93^\circ \text{ V} = -(291,2 + j 956,67) \text{ V}$$

$$V_{CD} = I \cdot Z_{CD}$$

$$= (5 \angle -16,93^\circ) (120 \angle 90^\circ)$$

$$= (174,7 + j 57,4) \text{ V}$$

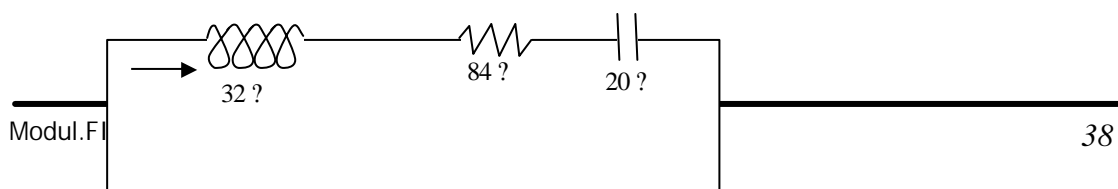
$$V_{AC} = I \cdot Z_{AC}$$

$$Z_{AC} = 150 - j 200 = 250 \angle -53,13^\circ$$

$$V_{AC} = (5 \angle -16,93^\circ) (250 \angle -53,13^\circ)$$

$$= 1250 \angle -70^\circ \text{ V} = (426,3 - j 1175,1) \text{ V}$$

Contoh soal



I

$$\textcircled{?} \quad V = (150 + j 80) \text{ V}$$

Dari rangkaian seperti gambar di atas, tentukan:

- Daya semu, faktor daya, daya rata-rata, daya reaktif dan faktor reaktif.
- Berapa seharusnya X_C , agar daya rata-rata mencapai maksimum?
 - Bagaimana faktor daya, faktor reaktif, dan impedansi, ketika daya rata-rata mencapai maksimum.

Penyelesaian

$$\begin{aligned} \text{a. } Z &= 84 + j (33 - 20) \\ &= 84 + j 13 \quad = 85 \angle 8,8^\circ \\ V &= 150 + j 80 \quad = 170 \angle 28,07^\circ \\ I &= \frac{V}{Z} \quad = \frac{170 \angle 28,07^\circ}{85 \angle 8,8^\circ} \\ I &= 2 \angle 19,3^\circ \text{ A} \quad = (4,7 + j 1,65) \text{ A} \end{aligned}$$

Sudut fase antara V dan I ,

$$\theta = 28,07^\circ - 19,3^\circ = 8,77^\circ$$

Daya semu,

$$|S| = VI = (170)(5) = 850 \text{ VA}$$

Faktor daya,

$$\cos \theta = \cos 8,77^\circ = 0,99$$

Daya rata-rata daya nyata,

$$\begin{aligned} P &= VI \cos \theta \\ &= 850 \times 0,99 = 841,5 \text{ W} \end{aligned}$$

Daya reaktif,

$$\begin{aligned} Q &= VI \sin \theta \\ &= 850 \sin 8,77^\circ = 129,6 \text{ VAR} \end{aligned}$$

Faktor reaktif,

$$\sin \phi = \sin 8,77^\circ = 0,15$$

b. 1) $P = VI \cos \phi$

P mencapai maksimum, jika $\cos \phi = 1$ atau $\phi = 0$ untuk $\phi = 0$, maka $X_L = X_C$. Jadi P maksimum jika $X_C = X_L = 33 \Omega$

2) Jika $\phi = 0$, maka

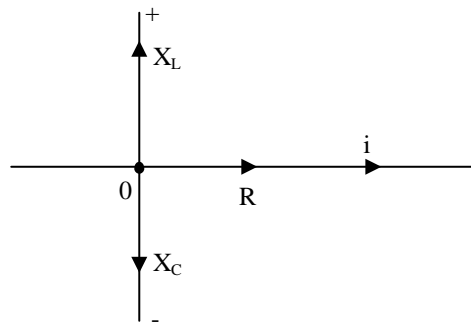
faktor daya $\cos \phi = 1$

impedansi, $Z = R + j 0 = R \angle 0^\circ$

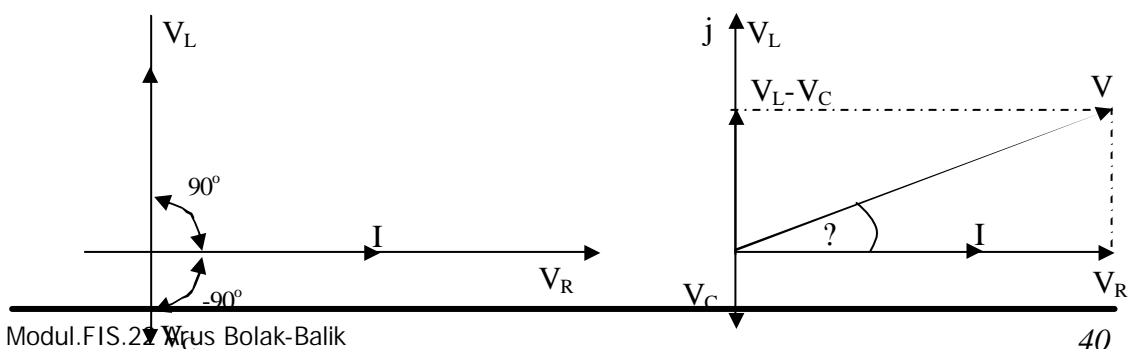
c. Rangkuman

1. Hambatan R tidak dipengaruhi oleh frekuensi arus bolak-balik, tetapi X_L dan X_C dipengaruhi oleh frekuensi ac.

Diagram fasor, R , X_L , dan X_C dengan acuan fasor i dalam arah mendatar ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



2. Rangkaian LRC seri:



(a) Diagram pada sumbu kompleks. (b) Diagram fasor.pada rangkaian seri

Dari diagram

$$\vec{V} = \vec{V}_R + \vec{V}_L + \vec{V}_C \text{ (jumlah vektor)}$$

$$V = V_R + j (V_L - V_C)$$

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

menyatakan beda fase antara V dengan I atau dengan V_R

$$\text{Tg} \phi = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

$$\phi = \text{arc.tg} \frac{V_L - V_C}{V_R} = \text{tg}^{-1} \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

$$V_R = I R$$

$$V_L = I X_L$$

$$V_C = I X_C$$

Dari,

$$V = V_R + j (V_L - V_C)$$

$$V = I R + j I (X_L - X_C)$$

$$\frac{V}{I} = R + j (X_L - X_C)$$

Menurut hukum Ohm $\frac{V}{I}$ merupakan hambatan berarti:

$$R + j (X_L - X_C) = \text{hambatan pada rangkaian}$$

RLC dan disebut impedansi yang dilambangkan dengan huruf (Z)

Impedansi,

$$Z = R + j (X_L - X_C)$$

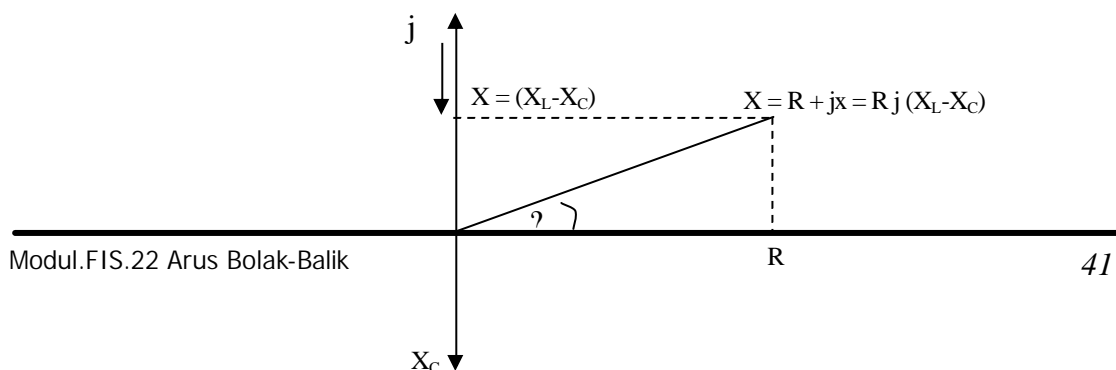


Diagram Impedansi

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

$$\text{Tg } \phi = \frac{X}{R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$\text{Cos } \phi = \frac{R}{Z}$$

$$\phi = \text{arc.tg.} \frac{X}{R} = \text{tg}^{-1} \frac{X}{R} \text{ atau } \phi = \text{cos}^{-1} \frac{R}{Z}$$

ϕ = sudut fase antara arus dan tegangan

Persamaan impedansi dapat juga diperoleh dengan cara berikut:

$$V = V_R + V_L + V_C \text{ (penjumlahan vector)}$$

$$V_R = (I \angle 0) (R \angle 0) = IR \angle 0 = I (R + j 0)$$

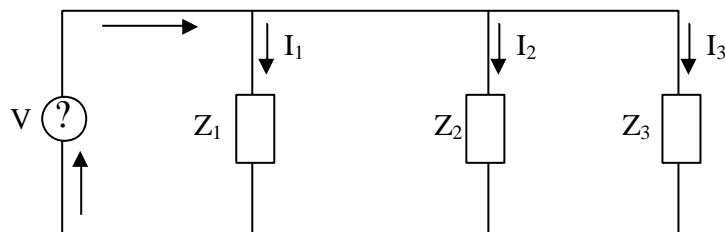
$$V_L = (I \angle 0) (X_L \angle 90^\circ) = IX_L \angle 90^\circ = I (0 + j X_L)$$

$$V_C = (I \angle 0) (X_C \angle -90^\circ) = I X_C \angle -90^\circ = I (0 - j X_C)$$

$$V = I \{(R + j 0) + (0 + j X_L) + (0 - j X_C)\}$$

$$Z = \frac{V}{I} = R + j(X_L - X_C)$$

3. Rangkaian listrik paralel:



Rangkaian Impedansi paralel.

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\frac{V}{Z_t} = \frac{V}{Z_1} = \frac{V}{Z_2} = \frac{V}{Z_3}$$

$$Z_t = \frac{Z_1 Z_2 Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_3}$$

Admitansi

Kebalikan dari impedansi (Z) disebut admitansi (Y).

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

Admitansi dinyatakan dalam satuan ampere/volt atau mho (kebalikan dari ohm). Persamaan admitansi untuk rangkaian paralel.

$$Y_t = Y_1 + Y_2 + Y_3$$

Jadi pada rangkaian paralel, admitansi total (Y_t), sama dengan jumlah admitansi-admitansi yang dirangkai secara paralel.

Dalam sistem bilangan kompleks, impedansi mempunyai dua komponen, masing-masing pada sumbu khayal dan pada sumbu nyata. Komponen impedansi pada sumbu khayal disebut reaktansi ($X = X_L - X_C$) dan resistansi (R). Hubungan antara reaktansi dan resistansi dinyatakan oleh persamaan:

$$Z = R + j(X_L - X_C) = R + jX$$

Untuk admitansi, komponen pada sumbu khayal disebut sukseptansi (b) dan komponen pada sumbu nyata disebut konduktansi (g). Hubungan antara sukseptansi dan konduktansi dinyatakan oleh persamaan:

$$Y = g + jb$$

4. Daya rata-rata,

$$P = VI \cos \theta$$

$$P = \text{daya rata-rata}$$

$$VI = \text{daya semu (apparent power)}$$

$$\cos \theta = \text{faktor daya (power faktor = Pf)}$$

$$V \ \& \ I = \text{tegangan dan arus efektif}$$

$$\theta = \text{sudut fase antara V dan I}$$

5. **Daya kompleks (s)** adalah perkalian tegangan (V) dan conjugate arus (I).

Misalkan beda fase antara tegangan (V) dan arus (I) = θ . Jika $I = |I| \angle -\theta$ maka $V = |V| \angle \theta$, dan konjugate dari arus, $I^* = |I| \angle \theta$

Daya kompleks,

$$\begin{aligned} S &= V \cdot I^* = (|V| \angle \theta + j0) \times (|I| \angle \theta) \\ &= |V| |I| \angle 2\theta \\ &= VI \cos \theta + j VI \sin \theta \end{aligned}$$

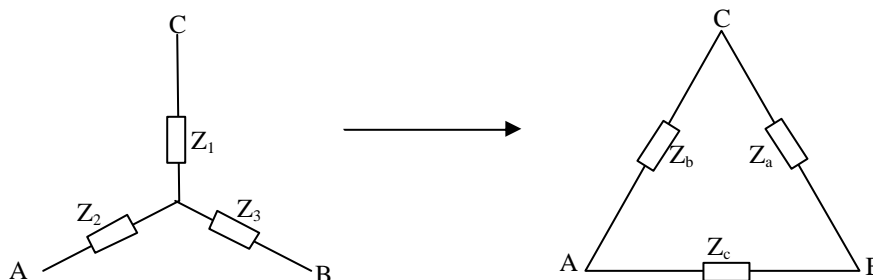
Komponen daya kompleks pada sumbu nyata disebut daya aktif (P). Sedang komponen daya kompleks pada sumbu khayal disebut daya reaktif (Q). Jadi daya kompleks,

$$S = VI^* = |V| |I| \angle \theta = VI \cos \theta + j VI \sin \theta = P + j Q$$

d. Tugas

1. Ubahlah bentuk rangkaian Y ke delta jika diketahui:

$$Z_1 = 4 - j 2, Z_2 = 1 - j 5 \text{ dan } Z_3 = 4 + j 0$$

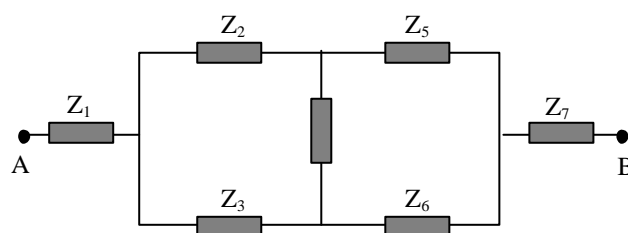


5. Suatu rangkaian mempunyai $Z_1 = 2 + j4$, $Z_2 = 2 + j0$ dan $Z_3 = 6 - j2$ dihubungkan seri. Tentukan Impedansi total!

6. Jika pada soal pada no. 2 dihubungkan dengan tegangan $24 \angle 0^\circ$ volt. Tentukan kuat arus efektif!
7. Suatu rangkaian seri terdiri dari induktor L, kapasitor C dan resistor murni R dihubungkan dengan beda potensial bolak-balik dengan frekuensi f dan arus efektif i mengalir pada rangkaian. Tentukan beda potensial antar ujung-ujung L!
8. Suatu rangkaian mempunyai $Z_1 = 4 + j6$, $Z_2 = 2 - j2$ dan $Z_3 = 0 + j$ dihubungkan paralel dengan sebuah sumber tegangan bolak-balik $100 \angle 45^\circ$ volt. Tentukan:
 - a. impedansi total
 - b. arus efektif
9. Suatu rangkaian seri mempunyai nilai $X_L = 40 \Omega$, $R = 10 \Omega$, dan $X_C = 10 \Omega$. Tentukan: (a) daya rata-rata (b) daya semu dan (c). faktor daya.

e. Tes Formatif

1. Tentukan impedansi dari suatu rangkaian L,R dan C yang dihubungkan seri dengan sebuah sumber tegangan bolak-balik (V_{AC})!
- 2.



Dari rangkaian seperti gambar di atas diketahui:

$$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z_5 = Z_6 = Z_7 = Z = 9 + j12$$

Tentukan Impedansi pengganti (total)!

3. Suatu susunan terdiri dari tahanan 40Ω ; kumparan induktif (L) dengan induktansi diri $1/15$ henry serta kapasitor (C) dengan kapasitas $15 \mu\text{F}$ disusun secara seri, antara ujung-ujungnya

dihubungkan tegangan bolak-balik yang mempunyai frekuensi angular 1250 rad/det. Ternyata kuat arusnya 3 ampere. Hitunglah:

4. Sebuah kapasitor $10 \mu\text{F}$ dan sebuah resitor 100Ω disusun seri dan dihubungkan dengan tegangan ac seperti ditunjukkan pada gambar, dengan $V_m = 220$ volt dan frekuensi $\frac{200}{\pi}$ Hz

Tentukan: a. impedansi rangkaian; b. kuat arus maksimum; c. sudut fase antara tegangan dan arus

5. Hambatan R, induktor L, dan kapasitor C masing-masing mempunyai nilai 300Ω ; $0,9$ henry; dan $2 \mu\text{F}$. Jika diberi tegangan efektif AC sebesar 50 volt, sedangkan frekuensi sudut AC 1000 rad/s. Hitung (a) impedansi rangkaian, (b) arus efektif, (c) tegangan yang melintasi R.

f. Kunci Jawaban

1. (Jawaban: $Z = \frac{V}{I} = R + j(X_L - X_C)$).
2. (Jawaban: $Z_{AB} = 27 + j 36 = 45 \angle 53,13^\circ$).
3. (Jawaban: $V_R = 120$ volt, $V_L = 250$ volt, $V_C = 160$ volt).
4. (Jawaban: a. 269Ω , b. $0,82$ A, c. -68°).
5. (Jawaban: a. 500Ω , b. $0,1$ A c. 30 volt.

g. Lembar Kerja

Memahami Impedansi Pengganti.

Setiap komponen L dan C mempunyai impedansi yang tidak dapat diukur langsung menggunakan alat ukur listrik. Perhitungan itu hanya dapat dilakukan bila pada komponen tersebut dialiri arus listrik AC.

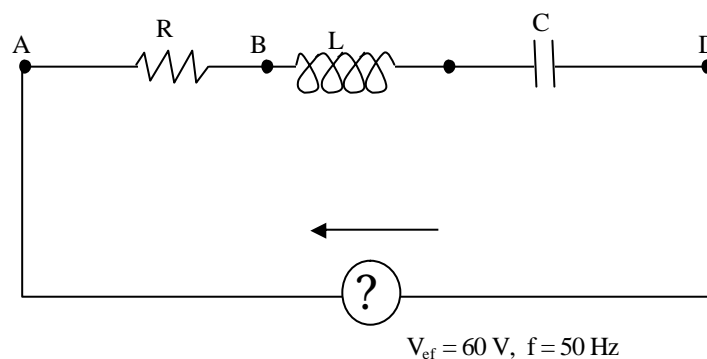
1. Alat

- ↴ 1 buah hambatan murni 40Ω .
- ↴ 1 buah kumparan $0,4$ H.
- ↴ 1 buah voltmeter (multitester).

- ↳ 1 buah amperemeter.
- ↳ 1 buah kapasitor AC 100 μ F.
- ↳ Kabel penghubung.
- ↳ Papan rangkaian.

2. Langkah kerja

- a. Rangkaiakan komponen listrik di atas seperti pada gambar di bawah ini!



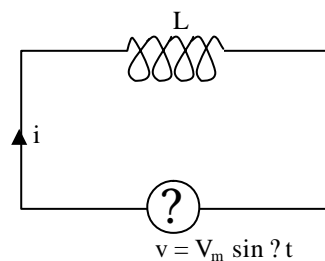
- b. Ukur arus yang mengalir pada rangkaian listrik!
- c. Ukur tegangan pada masing-masing komponen!
- d. Hitung reaktansi kapasitif dan induktif serta impedansi pengganti berdasarkan data yang telah diperoleh dari percobaan.
- e. Bandingkan hasil perhitungan dari pengukuran dengan perhitungan manual ?
- f. Tuliskan kesimpulan dari percobaan di atas!

BAB III. EVALUASI

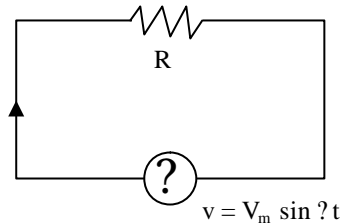
A. TES TERTULIS

Jawablah pertanyaan berikut ini dengan singkat dan jelas!

1. Untuk rangkaian induktif murni seperti ditunjukkan pada gambar,
 $V_m = 78,5 \text{ V}$
 $\omega = 65 \text{ rad/s}$ dan $L = 70 \text{ mH}$. Hitung arus melalui induktor pada
 $t = 0,020 \text{ s}$.

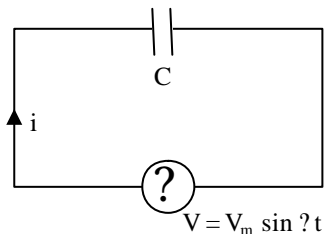


2. Dalam rangkaian ac seperti ditunjukkan pada gambar $R = 40 \, \Omega$, $V_m = 100 \, \text{V}$, dan frekuensi generator $f = 50 \, \text{Hz}$. Anggap tegangan pada ujung-ujung resistor $V_R = 0$ ketika $t = 0$

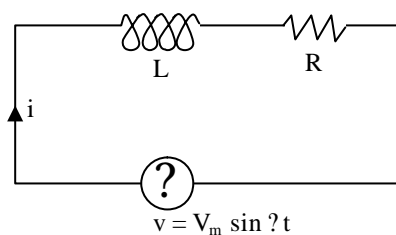


Hitung:

- arus maksimum
 - frekuensi sudut generator,
 - arus melalui resistor pada $t = \frac{1}{75} \, \text{s}$
 - arus melalui resistor pada $t = \frac{1}{150} \, \text{s}$.
3. Ubah impedansi berikut ini menjadi bentuk admitansi
- $Z = (6 - j 8) \, \text{ohm}$
 - $Z = 50 \angle 45^\circ \, \text{ohm}$.
4. Untuk rangkaian ac kapasitif murni seperti ditunjukkan pada gambar, frekuensi sudut $100 \, \text{rad/s}$ dan $V_m = 220 \, \text{V}$. Jika $C = 20 \, \mu\text{F}$, tentukan kuat arus melalui rangkaian pada $t = 0,004 \, \text{s}$.

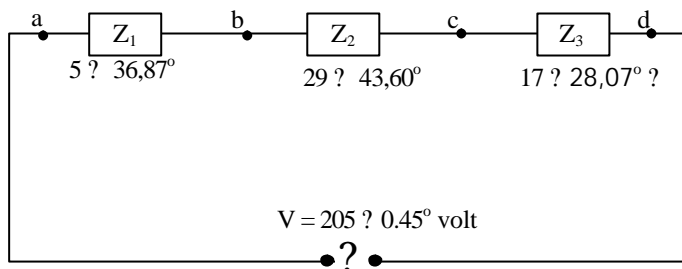


5. Sebuah induktor $30 \, \text{mH}$ dan sebuah resistor $60 \, \text{ohm}$ disusun seri dan dihubungkan dengan tegangan ac seperti ditunjukkan pada gambar, dengan $V_m = 400 \, \text{volt}$ dan frekuensi $\frac{750}{?} \, \text{Hz}$ Tentukan:



- a. Impedansi rangkaian
- b. Kuat arus maksimum.

6



Dari rangkaian seperti pada gambar 3.17 tentukan

- a. Besarnya arus
- b. Diagram fasor arus dan tegangan
- c. Daya pada seluruh rangkaian
- d. V_a , V_{bc} dan V_{cd}

B. Tes Praktik

Tujuan

Memahami Impedansi Pengganti Rangkaian RLC

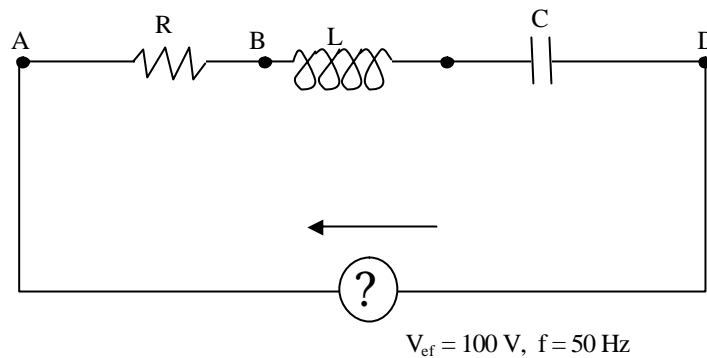
Perhitungan / Pengukuran impedansi rangkaian RLC, rangkaian dialiri arus listrik AC.

Alat

- 1 buah hambatan murni 100 ohm.
- 1 buah kumparan 0,5 H.
- 1 buah voltmeter (multitester).
- 1 buah amperemeter.
- 1 buah kapasitor AC 200 μ F.
- Kabel penghubung.
- Papan rangkaian

Langkah kerja

- o Rangkaiakan komponen listrik di atas seperti pada gambar di bawah ini !



- o Ukur arus yang mengalir pada rangkaian listrik !
- o Ukur tegangan pada masing-masing komponen !
- o Hitung reaktansi kapasitif dan induktif serta impedansi pengganti berdasarkan data yang telah diperoleh dari percobaan.
- o Bandingkan hasil perhitungan dari pengukuran dengan perhitungan manual ?
- o Tuliskan kesimpulan dari percobaan di atas !

Kunci Jawaban

A. Tes Tertulis

1. Kita hitung dahulu reaktansi induktif X_L kemudian kuat arus maksimum

$$I_m: X_L = ? L = (65?) (70 \times 10^{-3}) = 4,55 ? \text{ ohm}$$

$$X_L = \frac{V_m}{I_m} ? \quad I_m ? \frac{V_m}{X_L} ? \frac{78,5}{4,55?} ? 5,5 \text{ A}$$

Untuk rangkaian induktif murni, tegangan mendahului arus dengan $\frac{\pi}{2}$ rad atau arus terlambat $\frac{\pi}{2}$ rad terhadap tegangan. Dengan demikian

jika $V = V_m \sin ? t$ maka

$$i = I_m \sin (? t - \frac{\pi}{2})$$

$$i(t) = 5,5 \sin [65 ? t (0,020) - \frac{\pi}{2}]$$

$$= 5,5 \sin (1,30 ? - 0,50 ?)$$

$$= 5,5 \sin(0,8 \pi) = 5,5 (0,59)$$

$$= \mathbf{3,24 \text{ A}}$$

2. a. Arus maksimum, I_m untuk rangkaian resistor murni R,

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{100}{40} = 2,5 \text{ A}$$

b. Frekuensi sudut generator, ω , dihitung dengan persamaan:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(50) = 100 \pi \text{ rad/s}$$

c. Untuk rangkaian resistif murni, tegangan sefase dengan arus, sehingga untuk $V = V_m \sin \omega t$ maka $i = I_m \sin \omega t$. Persamaan arus

$$\text{sesaat, } i(t) = I_m \sin \omega t = 2,5 \sin 100 \pi t$$

$$i(t = \frac{1}{75} \text{ s}) = 2,5 \sin 100 \pi (\frac{1}{75})$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{3} \text{ A.}$$

d. $i(t = \frac{1}{150} \text{ s}) = 2,5 \sin 100 \pi (\frac{1}{150}) = 2,5 \sin \frac{2\pi}{3} = 2,5 (\frac{1}{2} \sqrt{3}) = \frac{5}{4} \sqrt{3} \text{ A}$

3. a. $Z = (6 - j8)$

$$g = \frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{6}{6^2 + 8^2} = 0,06$$

$$b = \frac{-X}{R^2 + X^2} = \frac{-8}{6^2 + 8^2} = 0,08$$

$$Y = (g + jb) = (0,06 + j 0,08) = 0,08 \angle 53,13^\circ \text{ mho}$$

b. $Z = 50 \angle 45^\circ$

$$Y = |Y| \angle \theta = \frac{1}{|Z|} \angle -\theta$$

$$= \frac{1}{50} \angle -45^\circ = 0,02 \angle -45^\circ \text{ mho}$$

4. Jawaban:

Kita hitung dahulu reaktansi kapasitif, X_c kemudian kuat arus maksimum, I_m .

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(100)(20 \times 10^{-6})} = \frac{10^6}{2 \times 10^3}$$

$$= \frac{500}{1} \text{ ohm}$$

$$I_m = \frac{V_m}{X_c} = \frac{200}{500} = 0,44 \text{ atau } 1,38 \text{ A}$$

Untuk rangkaian kapasitif murni, tegangan terlambat $\frac{\pi}{2}$ rad terhadap arus atau arus mendahului tegangan dengan $\frac{\pi}{2}$ rad. Dengan demikian jika persamaan tegangan dinyatakan oleh $V = V_m \sin \omega t$, maka persamaan arus adalah

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

$$i(t) = 1,38 \sin [100 \omega (0,004) + \frac{\pi}{2}]$$

$$= 1,38 \sin (72+90)$$

$$= 1,38 \sin(72+90)$$

$$= 1,38 \cdot 0,309 = \mathbf{0,426 \text{ A}}$$

5. Jawaban: Induktansi $L = 30 \times 10^{-3} \text{ H} = 3,0 \times 10^{-2} \text{ H}$; hambatan $R = 60 \text{ ohm}$; tegangan maksimum $V_m 400 \text{ volt}$; frekuensi $f = \frac{750}{\pi} \text{ Hz}$

a. Kita hitung dahulu frekuensi sudut ω dan reaktansi X_L

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \left(\frac{750}{\pi}\right) = 1500 \text{ rad/s}$$

$$X_L = \omega L = 1500 (3,0 \times 10^{-2}) = \mathbf{45 \text{ ohm}}$$

Impedansi Z rangkaian seri RL dihitung dengan persamaan:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{60^2 + 45^2}$$

$$= \sqrt{15^2(16 + 9)} = 15(5) = 75 \text{ ohm}$$

b. Kuat arus maksimum I_m dihitung dengan persamaan

$$Z = \frac{V_m}{I_m}$$

$$= \frac{V_m}{Z} = \frac{400}{75} = \frac{16}{3} \text{ A atau } \mathbf{5,3 \text{ A}}$$

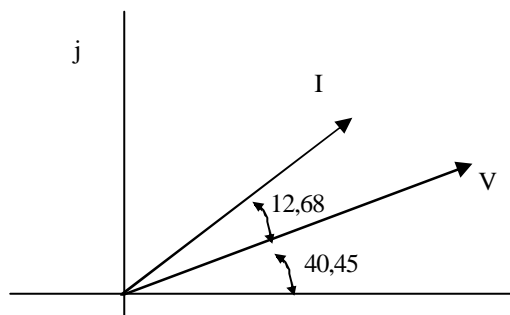
6. Jawaban:

$$\begin{aligned}
 \text{a. } Z_t &= Z_1 + Z_2 + Z_3 = 5 \angle 36,87^\circ + 29 \angle -43,60^\circ + 17 \angle 28,07^\circ \\
 &= 5 (\cos 36,87 + j \sin 36,87) + 29(\cos 43,60 - j \sin 43,60) + \\
 &\quad 17 (\cos 28,07 + j \sin 28,07) \\
 &= (4 + j 3) + (21 - j 20) + (15 + j 8) \\
 &= 40 - j 9 = 41 \angle -12,68^\circ
 \end{aligned}$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{250 \angle 40,45^\circ}{41 \angle -12,68^\circ} = 5 \angle 53,13^\circ \text{ ampere}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } V &= 205 \angle 40,45^\circ \text{ volt} \\
 &= 5 \angle 53,13^\circ \text{ ampere}
 \end{aligned}$$

berarti I mendahului V dengan beda fase, $53,13^\circ - 40,45^\circ = 12,68^\circ$



$$\text{c. } \phi = \text{sudut fase antara arus dan tegangan} = 53,13^\circ - 40,45^\circ = 12,69^\circ$$

$$P = VI \cos \phi = 205 \times 5 \times \cos 12,68^\circ = 1000 \text{ Watt}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. } V_{ab} &= I Z_1 = 5 \angle 53,13^\circ \times 5 \angle 36,87^\circ = 25 \angle 90^\circ \\
 &= 0 + j 25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{bc} &= I Z_2 = 5 \angle 53,13^\circ \times 29 \angle -42,60^\circ = 145 \angle 9,35^\circ \\
 &= (143 + j 24)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{cd} &= I Z_3 = 5 \angle 53,13^\circ \times 17 \angle 28,07^\circ = 85 \angle 81,20^\circ \\
 &= (13 + j 84)
 \end{aligned}$$

Jika beda tegangan pada ujung-ujung impedansi dijumlahkan diperoleh:

$$\begin{aligned} V &= V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} \\ &= (0 + j 25) + (143 + j 24) + (13 + j 84) \\ &= (156 + j 133) = 205 \angle 40,45^\circ \end{aligned}$$

LEMBAR PENILAIAN SISWA

Nama Peserta :
 No. Induk :
 Program Keahlian :
 Nama Jenis kegiatan :

PEDOMAN PENILAIAN

No.	Aspek Penilaian	Skor Maks.	Skor Perolehan	Keterangan
1	2	3	4	5
I	Persiapan 1.1. Membaca Modul 1.2. Persiapan Alat dan Bahan			
	Sub total	5		
II	Pelaksanaan Pembelajaran 2.1. Cek Kemampuan Siswa 2.2. Melaksanakan Kegiatan 1 dan 2			
	Sub total	20		
III	Kinerja Siswa 3.1. Cara merangkai alat 3.2. Membaca alat ukur listrik 3.3. Menulis satuan pengukuran 3.4. Banyak bertanya 3.5. Cara menyampaikan pendapat.			
	Sub total	25		
IV	Produk Kerja 4.1. Penyelesaian Tugas 4.2. Penyelesaian Kegiatan Lab. 4.3. Penyelesaian Tes Formatif 4.4. Penyelesaian Evaluasi			
	Sub total	35		
V	Sikap / Etos Kerja 5.1. Tanggung Jawab 5.2. Ketelitian 5.3. Inisiatif 5.4. Kemandirian			
	Sub total	10		
VI	Laporan 6.1. Sistematika Peyusunan Laporan 6.2. Penyajian Pustaka 6.3. Penyajian Data 6.4. Analisis Data 6.5. Penarikan Simpulan			
	Sub total	10		
	Total	100		

KRITERIA PENILAIAN

No.	Aspek Penilaian	Kriteria penilaian	Skor
1	2	3	4
I	Persiapan 1.1. Membaca Modul	? Membaca Modul	2
		? Tidak membaca Modul	1
	1.2. Persiapan Alat dan Bahan	? Alat dan bahan sesuai dengan kebutuhan.	3
		? Alat dan bahan disiapkan tidak sesuai kebutuhan	1
II	Pelaksanaan Proses Pembelajaran 2.1. Cek Kemampuan Siswa	? Siswa yang mempunyai kemampuan baik.	10
		? Siswa tidak bisa menyelesaikan	1
	2.2. Melaksanakan Kegiatan 1 dan 2	? Melaksanakan kegiatan dengan baik.	10
		? Melaksanakan tidak sesuai ketentuan	1
III	Kinerja Siswa 3.1. Cara merangkai alat	? Merangkai alat dengan benar	5
		? Merangkai alat kurang benar.	1
	3.2. Membaca alat ukur listrik	? Cara membaca skala alat ukur benar.	5
		? Cara membaca tidak benar	1
	3.3. Menulis satuan pengukuran	? Menulis satuan dengan benar	5
		? Tidak benar menulis satuan	1
	3.4. Banyak bertanya	? Banyak bertanya	5
		? tidak bertanya	1
	3.5. Cara menyampaikan pendapat	? Cara menyampaikan pendapatnya baik	5
		? Kurang baik dalam menyampaikan	1

		pendapatnya	
IV	Kualitas Produk Kerja 4.1. Penyelesaian Tugas	? Kualitas Tugasnya baik	7
		? Kualitasnya rendah	1
	4.2. Penyelesaian Kegiatan Lab.	? Kualitas kegiatan lab.nya baik	5
		? Kualitas rendah	1
	4.3. Penyelesaian Tes Formatif	? Skor Tes Formatifnya baik	8
		? Skor Tes Formatif Rendah	1
	4.4. Penyelesaian Evaluasi	? Memahami Konsep dengan baik.	10
		? Kurang memahami konsep	5
V	Sikap / Etos Kerja 5.1. Tanggung Jawab	? Membereskan kembali alat dan bahan yang telah dipergunakan	2
		? Tidak memberes-kan alat dan bahan	1
	5.2. Ketelitian	? Tidak melakukan kesalahan kerja	3
		? Banyak melakukan kesalahan kerja	1
	5.3. Inisiatif	? Memiliki inisiatif kerja	3
		? Kurang memliki inisiatif	1
	5.4. Kemandirian	? Bekerja tanpa banyak perintah.	2
		? Bekerja dengan banyak perintah	1
VI	Laporan 6.1. Sistematika Peyusunan Laporan	? Laporan sesuai dengan sistematika yang telah ditentukan.	2
		? Laporan tidak sesuai sistematika.	1
	6.2. Penyajian Pustaka	? Terdapat penyajian pustaka.	2
		? Tidak terdapat penyajian pustaka	1

	6.3. Penyajian Data	? Data disajikan dengan rapi. ? Data tidak disajikan.	2
	6.4. Analisis Data	? Analisisnya benar. ? Analisisnya salah.	1
	6.5. Penarikan Simpulan.	? Tepat dan benar ? Simpulan kurang tepat.	2 1

BAB IV. PENUTUP

Setelah menyelesaikan modul ini, anda berhak untuk mengikuti tes praktik untuk menguji kompetensi yang telah anda pelajari. Apabila anda dinyatakan memenuhi syarat kelulusan dari hasil evaluasi dalam modul ini, maka anda berhak untuk melanjutkan ke topik/modul berikutnya.

Mintalah pada guru/instruktur untuk melakukan uji kompetensi dengan sistem penilaian yang dilakukan secara langsung oleh asosiasi profesi yang berkompeten apabila anda telah menyelesaikan suatu kompetensi tertentu. Atau apabila anda telah menyelesaikan seluruh evaluasi dari setiap modul, maka hasil yang berupa nilai dari guru/instruktur atau berupa portofolio dapat dijadikan sebagai bahan verifikasi oleh asosiasi profesi. Kemudian selanjutnya hasil tersebut dapat dijadikan sebagai penentu standar pemenuhan kompetensi tertentu dan bila memenuhi syarat anda berhak mendapatkan sertifikat kompetensi yang dikeluarkan oleh asosiasi profesi.

DAFTAR PUSTAKA

Paseno, 1986. *Arus Rangka*. Jakarta, Indonesia: Karunika.

Soetarmo, 1979. *FISIKA 3 SMA kelas 3 semester lima & enam*. Surakarta, Indonesia: Widya duta.

Millman dan Halkias, 1986. *Elektronika Terpadu*. Jakarta, Indonesia: Erlangga.

Sutrisno, 1990. *Listrik Magnet*. Bandung, Indonesia: ITB Bandung.