



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN ANAK USIA DINI,  
PENDIDIKAN DASAR DAN PENDIDIKAN MENENGAH  
DIREKTORAT SEKOLAH MENENGAH ATAS  
2020



Modul Pembelajaran SMA

# FISIKA



KELAS  
**XII**



# **RANGKAIAN LISTRIK ARUS BOLAK-BALIK**

## **FISIKA XII**

**PENYUSUN**

**Herry Setyawan, S.Pd, M.Si**

**SMA Negeri 2 Sarolangun**

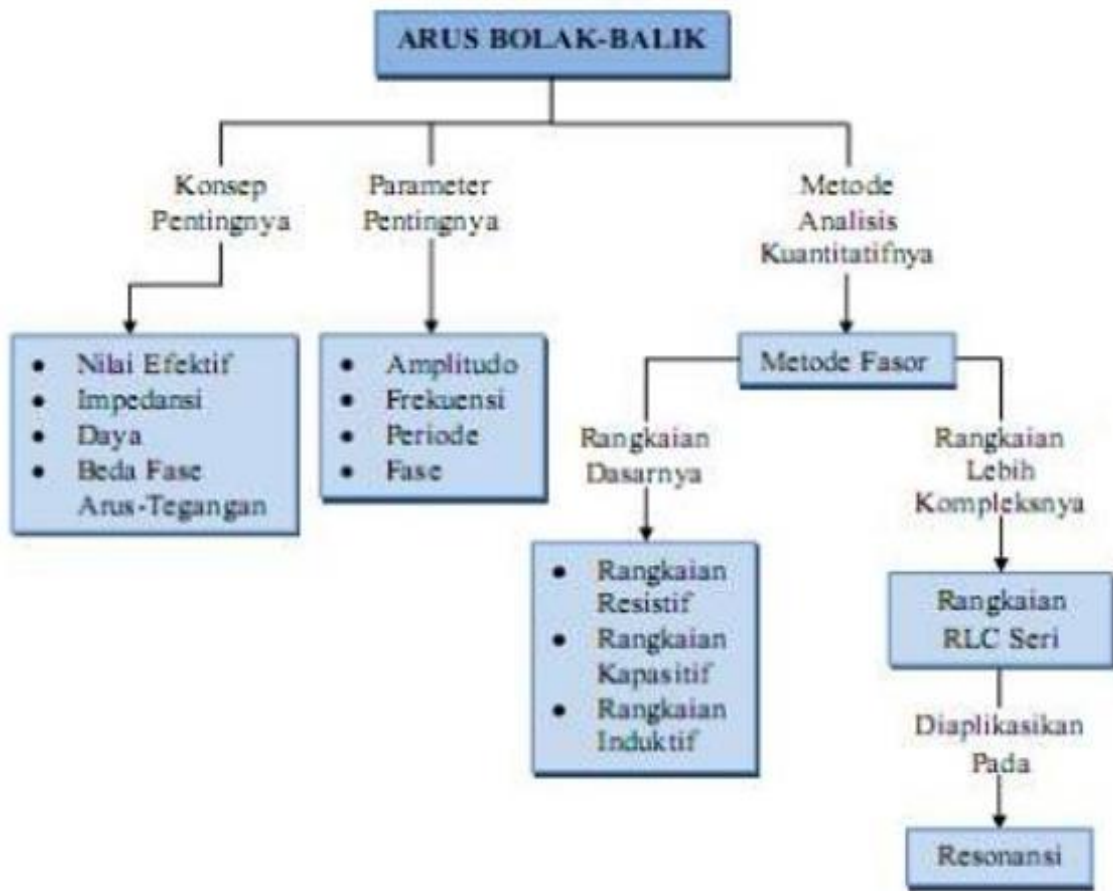
## DAFTAR ISI

PENYUSUN .....	2
DAFTAR ISI .....	3
GLOSARIUM .....	4
PETA KONSEP .....	5
PENDAHULUAN .....	6
A. Identitas Modul .....	6
B. Kompetensi Dasar .....	6
C. Deskripsi Singkat Materi .....	6
D. Petunjuk Penggunaan Modul .....	7
E. Materi Pembelajaran .....	7
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 .....	8
ARUS DAN TEGANGAN BOLAK-BALIK (AC) .....	8
A. Tujuan Pembelajaran .....	8
B. Uraian Materi .....	8
C. Rangkuman .....	15
D. Latihan Soal .....	16
E. Penilaian Diri .....	19
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2 .....	20
DAYA DAN PENERAPAN LISTRIK BOLAK BALIK (AC) .....	20
A. Tujuan Pembelajaran .....	20
B. Uraian Materi .....	20
C. Rangkuman .....	23
D. Latihan Soal .....	24
E. Penilaian Diri .....	27
EVALUASI .....	28
KUNCI JAWABAN EVALUASI .....	31
DAFTAR PUSTAKA .....	32

## GLOSARIUM

- Arus** : Gerakan atau aliran udara (listrik) yang melalui suatu benda. Sedangkan arus listrik merupakan gerak elektron dari satu kutub ke kutub lain melalui kawat penghubung.
- Arus Listrik** : Laju aliran muatan listrik, yang dalam konduktor logam, muatan yang mengalir terdiri dari elektron-elektron (partikel bermuatan negative), dan aliran ini terjadi karena dalam medan listrik ada perbedaan potensial antara dua tempat tersebut.
- Arus listrik bolak-balik** : Arus listrik yang arahnya selalu berubah-ubah secara kontinu/periodik dan bolak-balik
- Ampermeter** : Alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik
- Beda Potensial Listrik** : Perbedaan potensial antara dua titik, yang sama dengan perubahan energi, saat satu satuan muatan positif bergerak dari satu tempat ke tempat lain dalam medan listrik.
- Daya Listrik** : laju usaha yang dilakukan atau laju perubahan energi, dengan satuan SI-nya adalah watt (W) yang setara dengan 1 joule per detik.
- Faktor Daya** : Perbandingan antara daya sesungguhnya dengan daya semu
- Ohmmeter** : Alat yang digunakan untuk mengukur hambatan listrik
- Tegangan Listrik Bolak-Balik** : Tegangan yang besar dan arahnya selalu berubah ubah secara periodik
- Voltmeter** : Alat yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik

## PETA KONSEP



## PENDAHULUAN

### A. Identitas Modul

Mata Pelajaran	: FISIKA
Kelas	: XII
Alokasi Waktu	: 8 Jam Pelajaran (2 Pertemuan)
Judul Modul	: Rangkaian Listrik Arus Bolak Balik

### B. Kompetensi Dasar

- 3.5. Menganalisis rangkaian arus bolak-balik (AC) serta penerapannya
- 4.5. Mempresentasi-kan prinsip kerja penerapan rangkaian arus bolak-balik (AC) dalam kehidupan sehari-hari

### C. Deskripsi Singkat Materi

Peserta didik yang hebat, generasi masa depan “Indonesia Maju” semoga Ananda semua selalu dalam keadaan sehat dalam lindungan Tuhan YME, jangan mudah mengeluh dalam berbagai keterbatasan. Buatlah keterbatasan yang ada menjadi peluang untuk dapat melakukan yang terbaik, sehingga Ananda semua menjadi generasi yang tangguh dalam kondisi apapun yang senantiasa selalu mengharap petunjuk dan ridho dari Tuhan YME.

Selamat Ananda semua telah menyelesaikan modul sebelumnya, sekaligus selamat datang pada modul Rangkaian Arus Bolak - Balik. Pada modul ini penulis akan mengajak Ananda semua untuk mempelajari sesuatu yang menarik, juga sangat penting dalam perkembangan dan kemajuan Fisika dan menjadi dasar dari perkembangan listrik dalam kehidupan sehari-hari.

Listrik Arus bolak-balik (listrik AC — alternating current) adalah arus listrik dimana besarnya dan arahnya arus berubah-ubah secara bolak-balik. Berbeda dengan listrik arus searah dimana arah arus yang mengalir tidak berubah-ubah dengan waktu. Bentuk gelombang dari listrik arus bolak-balik biasanya berbentuk gelombang sinusoida, karena ini yang memungkinkan pengaliran energi yang paling efisien.

Secara umum, listrik bolak-balik berarti penyaluran listrik dari sumbernya (misalnya PLN) ke kantor-kantor atau rumah-rumah penduduk. Namun ada pula contoh lain seperti sinyal-sinyal radio atau audio yang disalurkan melalui kabel, yang juga merupakan listrik arus bolak-balik. Arus bolak-balik (AC) adalah sejenis arus yang mempunyai arah bolak-balik karena sumber arus listrik menghasilkan voltase bolak-balik karena sumber arus listrik menghasilkan voltase bolak-balik (voltase alternating). Baiklah Ananda semua, dalam modul ini akan membahas materi-materi tentang Arus dan Tegangan Bolak-Balik, Rangkaian RLC, Daya dalam Rangkaian AC dan penerapan listrik AC dalam kehidupan sehari-hari.

## D. Petunjuk Penggunaan Modul

Agar modul dapat digunakan secara maksimal, maka Ananda diharapkan melakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pelajari daftar isi serta skema peta konsep dengan cermat dan teliti.
2. Pahami setiap materi dengan membaca secara teliti dan perhatikan seksama. Apabila terdapat contoh soal, maka cobalah kerjakan kembali contoh tersebut tanpa melihat modul sebagai sarana berlatih.
3. Perhatikan perintah dan langkah-langkah dalam melakukan percobaan dengan cermat untuk mempermudah dalam memahami konsep, sehingga diperoleh hasil yang maksimal.
4. Bila terdapat penugasan dan latihan soal, kerjakan tugas tersebut dengan baik dan jika perlu konsultasikan hasil tersebut pada guru.
5. Catatlah kesulitan yang Anda dapatkan dalam modul ini untuk ditanyakan pada guru pada saat kegiatan tatap muka. Bacalah referensi lain yang berhubungan dengan materi modul agar Anda mendapatkan pengetahuan tambahan.
6. Diakhir materi terdapat evaluasi, maka kerjakan evaluasi tersebut sebagaimana yang diperintahkan sebagai tolak ukur ketercapaian kompetensi dalam mempelajari materi pada modul ini.

## E. Materi Pembelajaran

Modul ini terbagi menjadi **2** kegiatan pembelajaran dan di dalamnya terdapat uraian materi, contoh soal, soal latihan dan soal evaluasi.

**Pertama** : Arus dan Tegangan Bolak-Balik (AC)

**Kedua** : Daya dan Penerapan Listrik Bolak-Balik (AC)

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

### ARUS DAN TEGANGAN BOLAK-BALIK (AC)

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah Ananda mempelajari kegiatan pembelajaran 1 ini, diharapkan Ananda dapat:

1. memahami definisi arus bolak-balik dan persamaannya;
2. memahami nilai efektif dan rangkaian resistor murni;
3. memahami rangkaian induktor dan kapasitor murni; dan
4. memahami rangkaian RLC dan frekuensi resonansi.

#### B. Uraian Materi

##### 1. Arus dan Tegangan Listrik Bolak Balik

###### Persamaan Arus dan Tegangan Bolak Balik

Arus bolak-balik adalah arus listrik yang arah dan besarnya senantiasa berubah terhadap waktu dan dapat mengalir dalam dua arah. Arus bolak-balik diperoleh dari sumber tegangan bolak-balik seperti generator AC. Secara umum, arus dan tegangan bolak-balik yang dihasilkan generator listrik merupakan persamaan sinusoidal dengan frekuensi  $f$ . Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.

$$I(t) = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

dan

$$V(t) = I_m \sin(\omega t)$$

dimana

$$\omega = 2\pi f$$

*Keterangan*

$I$  : Kuat arus listrik (Ampere)

$I_m$  : Kuat arus listrik maksimum (Ampere)

$V$  : Tegangan Listrik (Volt)

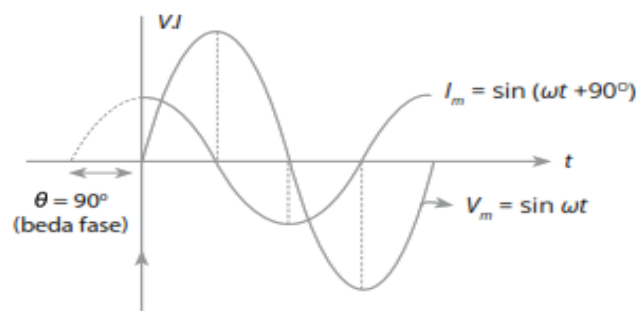
$V_m$  : Tegangan listrik maksimum (Volt)

$t$  : Waktu (sekon)

$f$  : Frekuensi (Hz)

$\omega$  : Frekuensi sudut (rad/s)

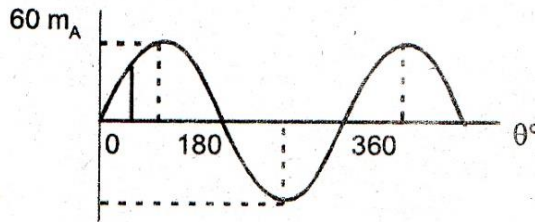
Berikut adalah gambar arus dan tegangan arus bolak balik





**Contoh Soal 1**

Pada output layar di osiloskop pada percobaan rangkaian listrik arus bolak-balik diperoleh gambar berikut



Hitung arus sesaat ketika sudut fase  $\theta = 30^\circ$  dari suatu arus AC berdasarkan gambar di atas!

**Jawab**

$$I = I_m \sin(\omega t + \theta_0)$$

$$I = I_m \sin \theta$$

$$I = 60 \sin 30^\circ$$

$$I = 60 \times \frac{1}{2}$$

$$I = 30 \text{ mA}$$

$$I = 30 \times 10^{-3} \text{ Ampere}$$

Jadi Arus sesaat yang mengalir pada rangkaian adalah  $30 \times 10^{-3}$  Ampere

**Nilai Efektif**

Nilai efektif arus atau tegangan bolak-balik adalah nilai arus dan tegangan bolak-balik yang menghasilkan efek panas (kalor) yang sama dengan suatu nilai arus dan tegangan searah. Nilai efektif ditunjukkan oleh alat ukur seperti voltmeter atau amperemeter, sedangkan nilai maksimum ditunjukkan oleh osiloskop. Harga efektif dari arus atau tegangan bolak-balik dengan gelombang sinusoidal adalah  $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$  kali harga maksimumnya. Secara matematis, dirumuskan sebagai berikut.

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

dan

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

Keterangan:

$I_{ef}$  : Kuat arus listrik efektif (Ampere)

$V_{ef}$  : Tegangan Listrik (Volt)

$I_m$  : Kuat arus listrik maksimum (Ampere)

$V_m$  : Tegangan listrik maksimum (Volt)

**Contoh Soal 2**

Apabila jarum voltmeter AC menunjukkan angka 215 volt, tentukan besarnya tegangan bolak-balik yang terukur... (anggap  $\sqrt{2} = 1,4$ )

**Jawab**

Tegangan yang terukur dalam voltmeter adalah tegangan efektif, sehingga diperoleh  $V_{ef} = 215$  volt. Sehingga dapat ditulis

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$V_m = \sqrt{2} V_{ef}$$

$$V_m = 1,4 \times 215$$

$$V_m = \mathbf{301 \text{ volt}}$$

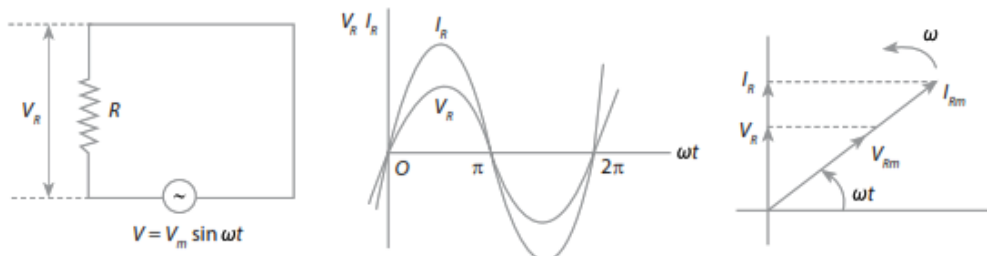
Jadi, besarnya tegangan bolak-balik yang terukur 301 volt

**2. Rangkaian Arus Bolak Balik**

Pada rangkaian arus bolak-balik, terdapat hambatan yang disebut impedansi  $Z$  dalam satuan ohm yang terdiri atas hambatan murni  $R$  (resistor dalam ohm) hambatan induktif  $X_L$  (induktor dalam ohm), dan hambatan kapasitif  $X_C$  (kapasitor dalam ohm)

**Rangkaian Resistif Murni**

Jika sebuah resistor diberi tegangan bolak-balik, arus listrik dan tegangannya sefase. Hal ini dikarenakan nilai tegangan dan arus akan mencapai nilai maksimum atau minimum pada waktu yang bersamaan. Berikut gambar rangkaian dan grafik yang bersifat resistif murni



Sesuai dengan konsep hukum Ohm, maka berlaku persamaan

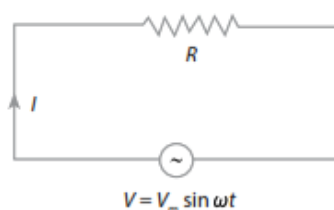
$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R}$$

dan

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

**Contoh Soal 3**

Perhatikan gambar rangkaian listrik AC berikut



Jika diketahui  $R = 40 \text{ ohm}$ ,  $V_m = 200 \text{ volt}$ , dan frekuensi sumber arus ( $f$ )  $50 \text{ Hz}$ . Tentukan besarnya arus yang melalui R pada saat  $\frac{1}{60}$  sekon.

**Jawab**

Langkah-langkah untuk menjawab soal di atas adalah sebagai berikut

- $I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{200}{40} = 5 \text{ volt}$
- $\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 50 = 100\pi \text{ rad/s}$

Untuk menentukan besar arus yang mengalir melalui R pada saat  $t = \frac{1}{60} \text{ sekon}$  dapat ditulis

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

$$I(t) = 5 \sin \left( 100 \pi \frac{1}{60} \right)$$

$$I(t) = 5 \sin \left( \frac{5}{3} \pi \right)$$

$$I(t) = 5 \left( \frac{1}{2} \sqrt{3} \right)$$

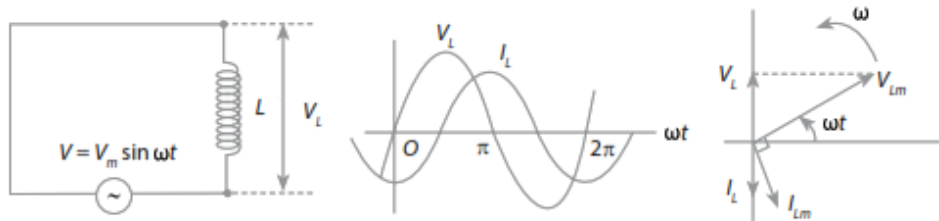
$$I(t) = 5 \times (0,866)$$

$$I(t) = 4,33 \text{ Ampere}$$

Jadi, besar arus yang mengalir melalui R pada saat  $t = \frac{1}{60}$  sekon adalah **4,33 volt**

**Rangkaian Induktif Murni**

Berikut adalah gambar rangkaian dan grafik keluaran yang bersifat induktif murni



Berdasarkan gambar di atas, tampak bahwa arus yang mengalir pada induktor tertinggal  $\frac{\pi}{2}$  rad dari tegangan  $V$ . Sehingga berlaku

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{X_L}$$

dan

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

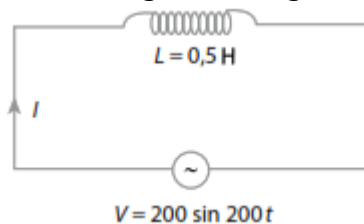
dimana

$$X_L = \omega L$$

$L$  = Induktor (Henry) dan  $X_L$  = Reaktansi Induktor (Ohm)

**Contoh Soal 4**

Perhatikan gambar rangkaian berikut!



Tentukan arus yang mengalir pada rangkaian di atas!

**Jawab**

Diketahui

$$L = 0,5 \text{ H}$$

$$V = 200 \sin 200t \text{ sehingga diperoleh } V_m = 200 \text{ volt dan } \omega = 200 \text{ rad/s}$$

Ditanya  $I_m = \dots?$

Langkah-langkah untuk menjawab soal di atas adalah sebagai berikut

$$X_L = \omega \cdot L$$

$$X_L = 200 \times 0,5$$

$$X_L = 100 \text{ ohm}$$

Untuk menentukan besar arus yang mengalir pada induktor L dapat ditulis

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

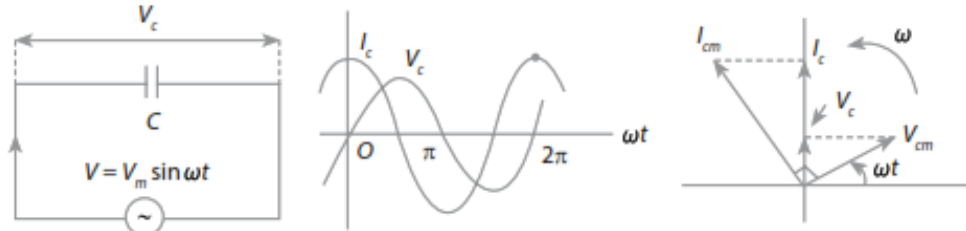
$$I_m = \frac{200}{100}$$

$$I_m = 2 \text{ Ampere}$$

Jadi besar arus yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah 2 Ampere.

### Rangkaian Kapasitif Murni

Berikut adalah gambar rangkaian dan grafik keluaran yang bersifat Kapasitif murni



Berdasarkan gambar di atas, tampak bahwa arus yang mengalir pada induktor tertinggal  $\frac{\pi}{2}$  rad dari Arus  $I$ . Sehingga berlaku

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{X_L}$$

dan

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

dimana

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$C$  = Kapasitor (Farad) dan  $X_C$  = Reaktansi kapasitor(Ohm)

### Contoh Soal 5

Sebuah kapasitor  $50 \mu\text{F}$  dihubungkan dengan tegangan AC. Kuat arus listrik yang mengalir memenuhi persamaan  $I(t) = 2 \sin 100t$ . Tentukan tegangan maksimum pada kapasitor!

**Jawab**

**Diketahui**

$$C = 50 \mu\text{F} = 50 \times 10^{-6} \text{ F} = 5 \times 10^{-5} \text{ F}$$

$$I(t) = 2 \sin 100t \quad \text{sehingga diperoleh} \quad I_m = 2 \text{ Ampere} \quad \text{dan} \quad \omega = 100 \text{ rad/s}$$

**Ditanya**  $V_m = \dots?$

Langkah-langkah untuk menjawab soal di atas adalah sebagai berikut

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_C = \frac{1}{(100) (5 \times 10^{-5})}$$

$$X_C = \frac{10^5}{(100) (5)}$$

$$X_C = \frac{1000}{5}$$

$$X_C = 200 \text{ ohm}$$

Untuk menentukan besar tegangan yang bekerja pada kapasitor dapat ditulis

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

$$V_m = X_C I_m$$

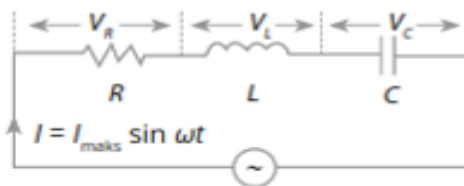
$$V_m = (200)(2)$$

$$V_m = 400 \text{ volt}$$

Jadi besar tegangan yang bekerja pada kapasitor adalah 400 volt.

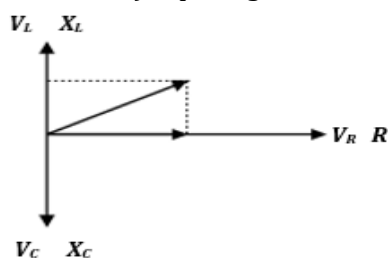
**3. Rangkaian RLC**

Rangkaian arus bolak-balik adalah sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari satu atau beberapa komponen elektronika yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik. Komponen elektronika tersebut dapat berupa resistor R (hambatan murni), induktor L atau kapasitor C.



Rangkaian seri RLC

Untuk memudahkan analisa pada rangkaian RLC digunakan diagram fasor (diagram fase vector) seperti gambar di bawah ini:



Dengan menganalisa gambar diagram vasor di atas dapat diperoleh

- **Tegangan Efektif**

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

- **Impedansi**

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

Sehingga Kuat Arus  $I$  yang mengalir pada rangkaian seri RLC tersebut dapat ditulis dengan persamaan

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

Keterangan

$I$  : Kuat arus listrik yang mengalir pada rangkaian (Ampere)

$V$  : Tegangan efektif yang bekerja pada masing-masing komponen (Volt)

$Z$  : Impedansi atau hambatan total pada rangkaian RLC (Ohm)

Adapun sifat-sifat rangkaian seri RLC sebagai berikut:

- Jika  $X_L > X_C$ , maka rangkaian **bersifat Induktif**. Pada sifat ini, *arus I* tertinggal oleh *tegangan V* dengan beda fase  $-\frac{\pi}{2} < \varphi < 0$
- Jika  $X_L < X_C$ , maka rangkaian **bersifat Kapasitif**. Pada sifat ini, *arus I* mendahului *tegangan V* dengan beda fase  $\frac{\pi}{2} < \varphi < 0$
- Jika  $X_L = X_C$ , maka rangkaian **bersifat Resistif (Resonansi)**. Pada sifat ini, *arus I* dan *tegangan V* sefase ( $\varphi = 0$ ). Resonansi pada rangkaian RLC terjadi jika memenuhi syarat  $V = V_C$ , dan  $Z = R$ , serta sudut fase  $\theta = 0$ . Dengan menurunkan konsep sifat Resistif pada rangkaian RLC ini, maka akan diperoleh **frekuensi resonansi f** yaitu:

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

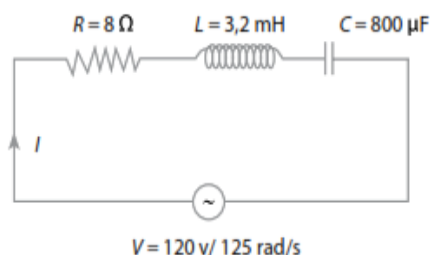
$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

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

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

**Contoh Soal 6**

Perhatikan gambar rangkaian seri RLC berikut!



Berdasarkan rangkaian seri RLC di atas, Tentukan arus  $I$  maksimum yang mengalir pada rangkaian tersebut dan sifat rangkaian tersebut!

**Jawab***Diketahui*

$$R = 8 \text{ ohm}$$

$$L = 3,2 \text{ mH} = 3,2 \times 10^{-3} \text{ H}$$

$$C = 800 \text{ }\mu\text{F} = 800 \times 10^{-6} \text{ F} = 8 \times 10^{-4} \text{ F}$$

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

$$\omega = 125 \text{ rad/s}$$

*Ditanya*

$$I = \text{.....?} \quad \text{dan} \quad \textit{Sifat rangkaian .....?}$$

Untuk menjawab soal di atas maka Ananda terlebih dahulu harus mencari Impedansi (Z) pada rangkaian tersebut diperoleh

- $R = 8 \text{ ohm}$
- $X_L = \omega L = (125) (3,2 \times 10^{-3}) = 4 \text{ ohm}$
- $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(125) (8 \times 10^{-4})} = \frac{10000}{1000} = 10 \text{ ohm}$

Dari data di atas diperoleh hambatan total (impedansi Z) pada sistem rangkaian RLC tersebut adalah:

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

$$Z = \sqrt{8^2 + (4 - 10)^2}$$

$$Z = \sqrt{8^2 + (-6)^2}$$

$$Z = \sqrt{64 + 36}$$

$$Z = \sqrt{100}$$

$$Z = 10 \text{ ohm}$$

Dengan demikian arus yang mengalir maksimum pada rangkaian tersebut dapat ditulis

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

$$I = \frac{120}{10}$$

$$I = 12 \text{ Ampere}$$

Jadi besarnya arus yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah **12 Ampere**

**Karena** dari pembahasan di atas diperoleh nilai  $X_C > X_L$ , maka rangkaian seri RLC tersebut **berifat Kapasitif**

**C. Rangkuman**

1. Arus bolak-balik (AC) adalah arus listrik yang arah dan besarnya senantiasa berubah terhadap waktu dan dapat mengalir dalam dua arah. Arus bolak-balik diperoleh dari sumber tegangan bolak-balik seperti generator AC.
2. Pada rangkaian arus bolak-balik, terdapat hambatan yang disebut impedansi Z dalam satuan ohm yang terdiri atas hambatan murni R (resistor dalam ohm) hambatan induktif  $X_L$  (induktor dalam ohm), dan hambatan kapasitif  $X_C$  (kapasitor dalam ohm)
3. Rangkaian arus bolak balik pada rangkian seri RLC memiliki 3 jenis sifat yaitu Induktif ( $X_L > X_C$ ), Kapasitif ( $X_L < X_C$ ), dan Resistif ( $X_L = X_C$ )

## D. Latihan Soal

1. Sebuah resistor murni  $R = 100$  ohm dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik  $V = (12\sqrt{2} \sin 100\pi t)$  volt, Tentukanlah :
  - a. Frekuensi tegangan bola-balik
  - b. Arus efektif
2. Sebuah voltmeter AC dihubungkan ke sumber tegangan AC menunjukkan nilai 110 Volt, Tentukan:
  - a. Tegangan maksimum ( $V_m$ )?
  - b. Arus efektif yang mengalir melalui hambatan 50 ohm yang dihubungkan ke sumber tegangan?
3. Susunan seri hambatan 40 ohm dan kapasitor dengan reaktansi kapasitif 30 ohm dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik, tegangan efektif 220V. Tentukan tegangan efektif yang bekerja pada resistor
4. Rangkaian seri RLC dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik(AC) dan mengakibatkan pada sistem rangkaian tersebut bersifat resistif. Jika  $L = 10^{-3}$  H dan frekuensi resonansinya 1000 Hz dimana  $\pi^2 = 10$ . Tentukan kapasitas kapasitor pada rangkaian seri RLC tersebut.



## Pembahasan

### • Pembahasan Latihan Soal Nomor 1

Diket :  $R = 100 \text{ ohm}$ ,  $V_m = 12\sqrt{2} \text{ volt}$ ,  $\omega = 100\pi \text{ rad.s}^{-1}$

Ditanya : (a) Frekuensi tegangan bolak-balik ( $f$ ) ; (b) Arus efektif ( $I_{ef}$ )

#### Jawab:

a. Frekuensi Bolak-balik :

$$\omega = 2\pi f = 100\pi \text{ rad.s}^{-1} \rightarrow f = \frac{100\pi}{2\pi} = 50 \text{ Hz}$$

b. Arus efektif pada rangkaian :

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{12\sqrt{2}}{100} \text{ A} = 12\sqrt{2} \times 10^{-2} \text{ A}$$

$$I_{ef} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{12\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \times 10^{-2} = 12 \times 10^{-2} \text{ A} = 120 \text{ mA}$$

### • Pembahasan Latihan Soal Nomor 2

Diket :  $V_{ef} = 110 \text{ volt}$

$R = 50 \text{ ohm}$

Ditanya :

a.  $V_{\max} = \dots?$

b.  $I_{ef} = \dots?$

#### Jawab

a. Menentukan  $V_m$

$$V_{ef} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$V_m = \sqrt{2} \times V_{ef}$$

$$V_m = (\sqrt{2}) \times (110)$$

$$V_m = \mathbf{155,6 \text{ volt}}$$

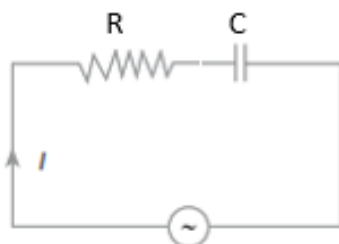
b. Menentukan  $I_{ef}$

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{R}$$

$$I_{ef} = \frac{110}{50}$$

$$I_{ef} = \mathbf{2,2 \text{ Ampere}}$$

### Pembahasan Latihan Soal Nomor 3



*Diketahui*

$R = 40 \text{ ohm}$

$X_C = 30 \text{ ohm}$

$V_Z = 220 \text{ volt}$

*Ditanya*

$V_R = \dots?$

Berdasarkan konsep rangkaian seri RC dan dianalisis dengan menggunakan diagram fasor diperoleh

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

$$Z = \sqrt{40^2 + 30^2}$$

$$Z = \sqrt{1600 + 900}$$

$$Z = \sqrt{2500}$$

$$\mathbf{Z = 50 \text{ ohm}}$$

Sesuai dengan konsep hukum ohm, maka dapat ditulis

$$I = \frac{V_Z}{Z}$$

$$I = \frac{220}{50}$$

$$\mathbf{I = 4,4 \text{ Ampere}}$$

Karena rangkaian tersusun seri, maka arus  $I$  yang mengalir pada rangkaian tersebut selalu konstan maka dapat diperoleh

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

$$V_R = I \cdot R$$

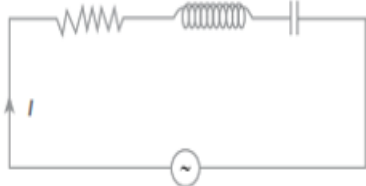
$$V_R = (4,4) \times (40)$$

$$\mathbf{V_R = 176 \text{ volt}}$$

**Jadi**, tegangan yang bekerja pada hambatan R adalah **176 volt**

#### **Pembahasan Latihan Soal Nomor 4**

Gambar rangkaian seri RLC



Diketahui

Rangkaian seri RLC bersifat resistif

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

$$L = 10^{-3} \text{ H}$$

$$\pi^2 = 10$$

Ditanya  $C = \dots?$

Karena bersifat Resistif, maka berlaku persamaan

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

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

$$L \cdot C = \left(\frac{1}{2\pi f}\right)^2$$

$$C = \frac{1}{L 4\pi^2 f^2}$$

$$C = \frac{1}{10^{-3} \times 4 \times 10 \times (1000)^2}$$

$$C = \frac{1}{10^{-3} \times 4 \times 10 \times 10^6}$$

$$C = \frac{1}{4 \times 10^4}$$

$$C = 2,5 \times 10^{-5} F$$

$$C = 25 \mu F$$

Jadi, Kapasitas Kapasitor C yang terpasang dalam rangkaian tersebut sebesar **25  $\mu F$**

## E. Penilaian Diri

Isilah pertanyaan pada tabel di bawah ini sesuai dengan yang Ananda ketahui, berilah penilaian secara jujur, objektif, dan penuh tanggung jawab dengan memberi tanda pada kolom Jawaban.

No	Pertanyaan	Ya	Tidak
1.	Apakah kalian telah memahami prinsip arus dan tegangan bolak balik?		
2.	Dapatkah kalian menghitung Nilai efektif arus dan tegangan Arus bolak-balik		
3.	Dapatkah kalian membandingkan dan memahami rangkaian arus bolak balik pada resistor murni R, induktor murni L dan kapasitor murni C dan rangkaian seri RLC?		
4.	Dapatkah kalian menggambarkan diagram fasor beberapa rangkaian pada arus bolak balik dan analisa nya dalam mendapatkan suatu hubungan pada komponen rangkaian arus bolak-balik?		
<b>Jumlah</b>			

### Catatan:

- Jika ada jawaban “Tidak” maka segera lakukan review pembelajaran.
- Jika semua jawaban “Ya” maka Anda dapat melanjutkan kegiatan Pembelajaran berikutnya

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

### DAYA DAN PENERAPAN LISTRIK BOLAK BALIK (AC)

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah kegiatan pembelajaran 2 ini diharapkan Ananda dapat:

1. menentukan faktor daya dalam rangkaian arus bolak-balik; dan
2. memahami penerapan listrik AC dalam kehidupan sehari-hari.

#### B. Uraian Materi

##### 1. Daya Dalam Rangkaian Arus Bolak-Balik (AC)

Faktor daya ( $\cos \varphi$ ) merupakan perbandingan antara daya sesungguhnya dan daya semu. Daya sesungguhnya adalah daya yang muncul akibat adanya hambatan murni. Sementara daya semu adalah daya yang muncul akibat adanya hambatan dari resistor, induktor atau kapasitor dalam rangkaian alat-alat listrik. Faktor daya menyatakan tingkat efisiensi dari daya listrik yang dihasilkan. Secara matematis, faktor daya dapat dituliskan sebagai berikut

$$\cos \varphi = \frac{P_{SG}}{P_{SM}} = \frac{I^2 R}{I^2 Z} = \frac{R}{Z}$$

##### Keterangan

$\cos \varphi$  = Faktor daya

$P_{SG}$  = Daya sesungguhnya (Watt)

$P_{SM}$  = Daya semu (Watt)

$R$  = Hambatan resistor (Ohm)

$Z$  = Hambatan total / Impedansi (Ohm)

$I$  = Kuat arus yang mengalir pada rangkaian (Ampere)

Untuk menentukan daya sesungguhnya dapat digunakan persamaan

$$P_{SG} = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$$

##### Contoh Soal 1

Sebuah kapasitor dengan reaktansi kapasitif  $X_C$  sebesar 40 ohm dihubungkan seri dengan hambatan  $R$  sebesar 30 ohm. Rangkaian tersebut dipasang pada sumber tegangan AC sebesar 220 volt. Tentukan

- a. Kuat arus yang mengalir dalam rangkaian
- b. Sudut fase antara arus  $I$  dan tegangan  $V$
- c. Daya yang hilang dalam rangkaian.

##### **Jawab**

##### a. Menentukan Kuat Arus $I$

Berdasarkan konsep rangkaian seri RC dan dianalisis dengan menggunakan diagram fasor diperoleh

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

$$Z = \sqrt{30^2 + 40^2}$$

$$Z = \sqrt{900 + 1600}$$

$$Z = \sqrt{2500}$$

$$Z = 50 \text{ ohm}$$

Sehingga untuk menentukan kuat arus  $I$  yang mengalir dalam rangkaian tersebut dapat menggunakan hukum ohm, dan dapat ditulis

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

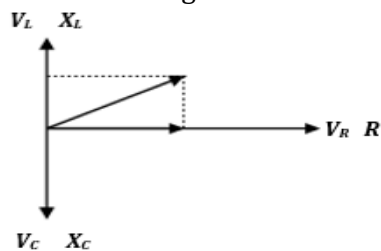
$$I = \frac{220}{50}$$

$$I = 4,4 \text{ Ampere}$$

**Jadi**, kuat arus yang mengalir dalam rangkaian tersebut sebesar **4,4 Ampere**

- b. Menentukan sudut fase ( $\varphi$ ) antara arus  $I$  dan tegangan  $V$

Perhatikan diagram fasor tersebut



Dengan memperhatikan diagram fasor di atas, maka sudut fase ( $\varphi$ ) antara arus  $I$  dan tegangan  $V$  dapat ditulis

$$\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$\tan \varphi = \frac{0 - 40}{30}$$

$$\tan \varphi = \frac{-40}{30}$$

$$\tan \varphi = -\frac{4}{3}$$

$$\varphi = 37^\circ \text{ (rangkaian bersifat kapasitif)}$$

**Jadi**, sudut fase yang terbentuk antara arus  $I$  dan tegangan  $V$  adalah sebesar **37°**

- c. Menentukan Daya yang hilang dalam rangkaian

$$P = VI \cos \varphi$$

$$P = V \cdot I \cdot \left(\frac{R}{Z}\right)$$

$$P = (220)(4,4) \left(\frac{30}{50}\right)$$

$$P = 580,8 \text{ Watt}$$

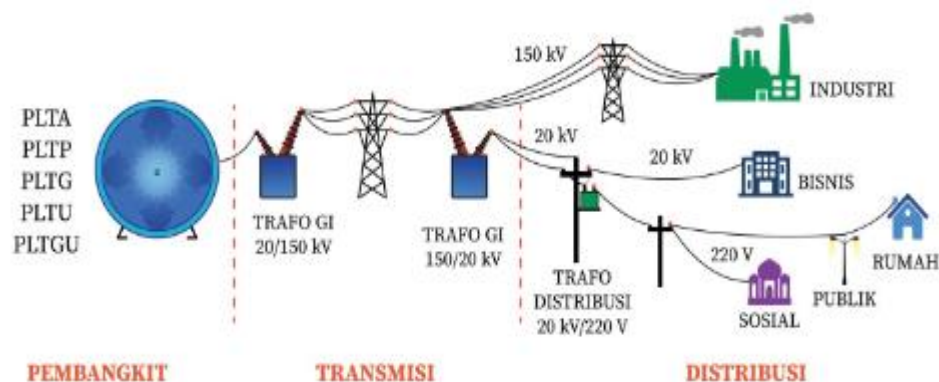
**Jadi**, besar daya yang hilang dalam rangkaian tersebut sebesar **580,8 Watt**

## 2. Penerapan Listrik AC Dalam Kehidupan Sehari-Hari



Arus AC (Alternating Current) adalah arus yang sifatnya mempunyai dua arah atau lebih di kenal dengan sebutan arus bolak-balik yang tidak memiliki sisi negatif, dan hanya mempunyai ground (bumi). Arus AC biasa di gunakan untuk tegangan listrik PLN sebesar misalnya 220 Volt 50-60 Hz yang merupakan tegangan standard untuk Indonesia, beda halnya dengan standard Tegangan untuk Negara lainnya. Oleh karena itu belum tentu elektronika-elektronika yang ada di indonesia dapat di operasikan di negara lain, seperti misalnya TV buatan indonesia untuk di konsumsi di Indonesia nah kali kita bawa ke negara lain belum tentu bisa di operasikan, di karnakan beda untuk tegangan jala-jala listriknya.

Arus AC ini biasanya di dapat dari generator listrik dimana generator listrik ini dapat di operasikan melalui beberapa cara untuk menggerakkannya, seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) dan lainnya-lainnya. banyak hal yang dapat kita gunakan untuk menggerakkan Generator listrik sebagai media untuk penggeraknya, misalnya saja kita bisa memanfaatkan aliran air di sungai, ataupun aliran air terjun dan sebagainya. Dari generator listrik inilah nantinya tegangan-tegangan yang di dihasilkan akan kecilkan lagi yang umumnya menggunakan trafo pembagi tegangan. Pada tiang-tiang listrik ada terdapat beberapa trafo, dan trafo inilah yang nantinya menghasilkan tegangan standard 220 Volt yang dapat di konsumsi oleh kita dan peralatan elektronika lainnya. Berikut gambar ilustrasi sistem penyaluran energi listrik dari pembangkit, transmisi sampai distribusi.



Energi Listrik yang dihantarkan melalui kabel yang panjang sebelum didistribusikan, maka akan terjadi kehilangan daya akibat kabel tersebut. Besarnya daya yang hilang dapat ditentukan dengan rumus berikut

$$P = I^2 R$$

dan

$$P_{gen} = I V$$

$$I = \frac{P_{gen}}{V}$$

Sehingga dapat ditulis:

$$P = \left( \frac{P_{gen}}{V} \right)^2 \times R$$

Keterangan:

$P$  = Daya listrik (Watt)

$P_{gen}$  = Daya pada generator (Watt)

$I$  = Kuat arus dari generator (Ampere)

$R$  = Hambatan pada kabel (Ohm)

$V$  = Beda potensial pada generator (Volt)

### **Contoh Soal 2**

Sebuah generator menghasilkan daya 100 kW dengan beda potensial (V) sebesar 10 kV. Daya ditransmisikan melalui kabel dengan besar hambatan R sebesar 5 Ohm. Tentukan daya yang hilang dalam kabel.

**Jawab**

*Diketahui*

$$P_{gen} = 100 \text{ kW} = 100000 \text{ Watt}$$

$$V = 10 \text{ kV} = 10000 \text{ Volt}$$

$$R = 5 \text{ Ohm}$$

*Ditanya*

Daya yang hilang dalam kabel  $P = \dots?$

$$P = \left( \frac{P_{gen}}{V} \right)^2 \times R$$

$$P = \left( \frac{100000}{10000} \right)^2 \times 5$$

$$P = (10)^2 \times 5$$

$$P = 500 \text{ Watt}$$

**Jadi**, Besarnya daya yang hilang akibat melewati kabel tersebut sebesar **500 Watt**

## **C. Rangkuman**

1. Faktor daya ( $\cos \varphi$ ) merupakan perbandingan antara daya sesungguhnya dan daya semu. Faktor daya menyatakan tingkat efisiensi dari daya listrik yang dihasilkan.
2. Daya semu adalah daya yang muncul akibat adanya hambatan dari resistor, induktor atau kapasitor dalam rangkaian alat-alat listrik.
3. Arus AC ini biasanya di dapat dari generator listrik dimana generator listrik ini dapat di operasikan melalui beberapa cara untuk menggerakkannya, seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas) dan

lainnya-lainnya. banyak hal yang dapat kita gunakan untuk menggerakkan Generator listrik.

4. Generator listrik sebagai penggeraknya, bisa memanfaatkan aliran air di sungai, ataupun aliran air terjun dan sebagainya. Dari generator listrik inilah nantinya tegangan-tegangan yang di hasilkan akan kecilkan lagi yang umumnya menggunakan trafo pembagi tegangan. Pada tiang-tiang listrik ada terdapat beberapa trafo, dan trafo inilah yang nantinya menghasilkan tegangan standard 220 Volt yang dapat di konsumsi oleh kita dan peralatan elektronika lainnya.

#### **D. Latihan Soal**

1. Sebuah rangkaian seri RLC terdiri dari resistor 300 ohm, reaktansi induktif 200 ohm dan reaktansi kapasitif 600 ohm. Rangkaian ini dipasang pada frekuensi 60 Hz dan tegangan efektif sebesar 120 volt. Tentukan
  - a. Besar impedansi ( $Z$ ) pada rangkaian tersebut!
  - b. Nilai faktor daya ( $\cos \varphi$ ) pada rangkaian tersebut!
  - c. Nilai kapasitansi yang baru agar daya rata-ratanya maksimal dan parameter lainnya tidak berubah!
2. Rangkaian RLC dengan nilai masing-masing komponen ;  $R = 300 \Omega$   $L = 60 \text{ mH}$ ,  $C = 0,5 \mu\text{F}$ . Tegangan sesaat sumber  $V(t) = 500 \sin 10000 t$  volt. Tentukan besar daya disipasi dalam rangkaian tersebut!



## Pembahasan Latihan Soal

### • Pembahasan Soal Nomor 1

*Diketahui*

$$R = 300 \text{ ohm}$$

$$X_L = 200 \text{ ohm}$$

$$X_C = 600 \text{ ohm}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_{ef} = 120 \text{ volt}$$

- a. Menentukan Impedansi  $Z = \dots?$

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

$$Z = \sqrt{300^2 + (200 - 600)^2}$$

$$Z = \sqrt{300^2 + (-400)^2}$$

$$Z = \sqrt{90000 + 160000}$$

$$Z = \sqrt{250000}$$

$$\mathbf{Z = 500 \text{ Hz}}$$

**Jadi**, Impedansi yang bekerja pada rangkaian tersebut adalah **500 Hz**

- b. Menentukan Faktor Daya ( $\cos \varphi$ )

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

$$\cos \varphi = \frac{300}{500}$$

$$\cos \varphi = 0,6$$

**Jadi**, faktor daya yang terjadi pada rangkaian tersebut adalah **0,6**

- c. Daya rata-rata akan mengalami nilai maksimum jika pada rangkaian tersebut bersifat resistif, dimana  $X_L = X_C$  sehingga dapat ditulis

$$X_L = X_C$$

$$X_L = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_L}$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f)X_L}$$

$$C = \frac{1}{2 (3,14)(60)(200)}$$

$$C = \frac{1}{7536}$$

$$C = 0,0001327 \text{ F}$$

$$C = 1,327 \times 10^{-5} \text{ F}$$

$$\mathbf{C = 13,27 \mu F}$$

Jadi, agar daya rata-rata mengalami nilai maksimum maka kapasitas kapasitor diganti dengan nilai **13,27  $\mu F$**

- **Pembahasan Soal Nomor 2**

*Diketahui*

$$R = 300 \text{ ohm}$$

$$L = 60 \text{ mH} = 6 \times 10^{-2} \text{ H}$$

$$C = 0,5 \text{ } \mu\text{F} = 5 \times 10^{-7} \text{ F}$$

$$V(t) = 500 \sin 10000 t \text{ volt}$$

$$V_m = 500 \text{ volt}$$

$$\omega = 10000 \text{ volt} = 10^4 \text{ volt}$$

Menentukan Impedansi  $Z = \dots?$

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$X_C = \frac{1}{10^4 \times (5 \times 10^{-7})}$$

$$X_C = \mathbf{200 \text{ ohm}}$$

$$X_L = \omega L$$

$$X_L = 10^4 \times (6 \times 10^{-2})$$

$$X_L = \mathbf{600 \text{ ohm}}$$

Jadi diperoleh

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

$$Z = \sqrt{300^2 + (600 - 200)^2}$$

$$Z = \sqrt{300^2 + (400)^2}$$

$$Z = \sqrt{90000 + 160000}$$

$$Z = \sqrt{250000}$$

$$Z = \mathbf{500 \text{ Hz}}$$

Maka dapat diperoleh arus yang mengalir pada rangkaian tersebut adalah

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

$$I_m = \frac{500}{500}$$

$$I_m = \mathbf{1 \text{ Ampere}}$$

Dengan demikian daya disipasi pada rangkaian dapat ditulis dengan

$$P = \frac{1}{2} I_m^2 R$$

$$P = \frac{1}{2} \times (1)^2 \times (300)$$

$$P = \mathbf{150 \text{ Watt}}$$

**Jadi**, daya disipasi pada rangkaian tersebut sebesar **150 Hz**

## E. Penilaian Diri

Isilah pertanyaan pada tabel di bawah ini sesuai dengan yang kalian ketahui, berilah penilaian secara jujur, objektif, dan penuh tanggung jawab dengan memberi tanda pada kolom Jawaban.

No	Pertanyaan	Ya	Tidak
1.	Apakah Ananda sudah memahami munculnya faktor daya dalam rangkaian arus bolak-balik?		
2.	Apakah ananda daya yang hilang ketika melewati kawat yang memiliki hambatan dari sebuah generator AC?		
3	Apakah Ananda mengetahui proses alur perjalanan energi listrik dari sumber tegangan AC sampai tersalurkan ke rumah tangga?		
<b>Jumlah</b>			

**Catatan:**

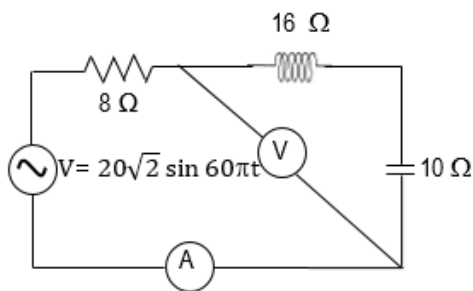
- Jika ada jawaban “Tidak” maka segera lakukan review pembelajaran.
- Jika semua jawaban “Ya” maka Anda dapat melanjutkan kegiatan Pembelajaran berikutnya

## EVALUASI

1. Sebuah kapasitor  $50 \mu\text{F}$  dihubungkan dengan tegangan AC. Kuat arus listrik yang mengalir sesuai dengan persamaan  $I(t) = 2 \sin 100t$ , dimana  $I$  dalam Ampert dan  $t$  dalam sekon. Maka tegangan maksimum yang dirasakan kapasitor tersebut adalah...

- A. 400 Volt
- B. 450 Volt
- C. 500 Volt
- D. 550 Volt
- E. 600 Volt

2. Perhatikan rangkaian berikut!



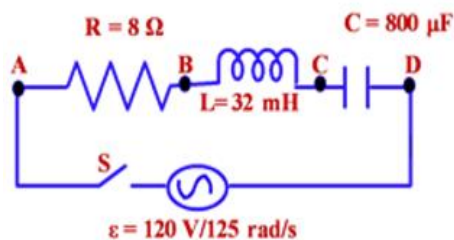
Arus yang terbaca pada ampermeter (A) dan tegangan yang terbaca pada voltmeter (V) masing-masing adalah ...

- A. 1 ampere dan 6 volt
- B. 2 ampere dan 12 volt
- C.  $\sqrt{2}$  ampere dan  $6\sqrt{2}$  volt
- D.  $2\sqrt{2}$  ampere dan  $12\sqrt{2}$  volt
- E.  $3\sqrt{2}$  ampere dan  $18\sqrt{2}$  volt

3. Hambatan R dan kapasitor C tersusun seri. Jika hambatan R adalah 80 Ohm dan kapasitor dengan reaktansi kapasitif adalah 60 Ohm dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik, tegangan efektif 300 Volt, maka Tegangan efektif pada kapasitor adalah...

- A. 100 V
- B. 120 V
- C. 150 V
- D. 180 V
- E. 200 V

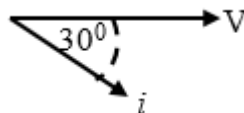
4. Perhatikan gambar rangkaian berikut



Jika saklar S ditutup, maka tegangan antara titik B dan D adalah ....

- A. 48 V
- B. 72 V
- C. 96 V
- D. 100 V
- E. 120 V

5. Rangkaian RLC dihubungkan dengan sumber tegangan AC sehingga mempunyai diagram fasor antara arus dan tegangan seperti di bawah ini!

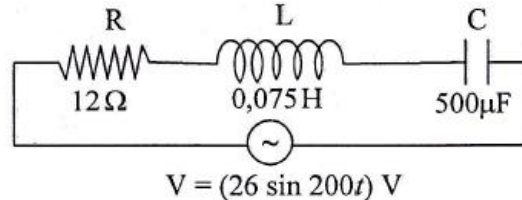


Maka pernyataan di bawah ini yang tepat adalah ....

- A. Rangkaian bersifat kapasitif, dimana arus mendahului tegangan dengan sudut fase  $30^\circ$
- B. Rangkaian bersifat kapasitif, dimana tegangan mendahului arus dengan sudut fase  $30^\circ$

- C. Rangkaian bersifat induktif, dimana arus mendahului tegangan dengan sudut fase  $30^\circ$
- D. Rangkaian bersifat induktif, dimana tegangan mendahului arus dengan sudut fase  $30^\circ$
- E. Rangkaian bersifat resistif, dimana tegangan mendahului arus dengan sudut fase  $30^\circ$

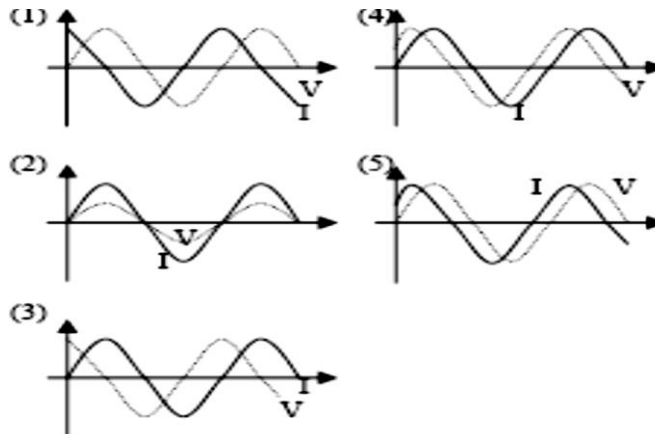
6. Perhatikan rangkaian arus bolak-balik di bawah ini



Besar kuat arus efektif dalam rangkaian di atas adalah ....

- A. 1 A
- B.  $\sqrt{2}$  A
- C. 2 A
- D.  $2\sqrt{2}$  A
- E. 3 A

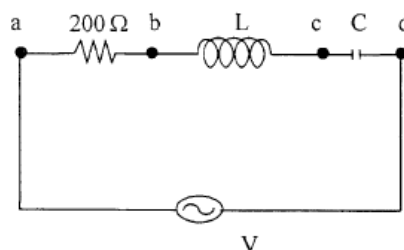
7. Kelima grafik berikut menunjukkan hubungan kuat arus (i) dan tegangan (V) terhadap waktu (t)



Yang menunjukkan hubungan antara tegangan dan arus, bila suatu kapasitor dirangkai dalam arus bolak-balik adalah grafik :

- A. (1)
- B. (2)
- C. (3)
- D. (4)
- E. (5)

8. Perhatikan rangkaian RLC berikut ini. Jika impedansi total rangkaian adalah  $250 \Omega$ ,



Jika beda potensial antara titik A dan B adalah 80 V, maka besar tegangan antara b dan d adalah ....

- A. 20 volt
  - B. 40 volt
  - C. 60 volt
  - D. 80 volt
  - E. 100 volt
9. Sebuah hambatan 60 Ohm, reaktansi induktor 1000 Ohm dan reaktansi kapasitor 200 Ohm disusun seri. Jika susunan ini dihubungkan dengan sumber tegangan AC 100 Volt, maka daya rangkaiannya adalah....
- A. 10 Watt
  - B. 20 Watt
  - C. 30 Watt
  - D. 40 Watt
  - E. 50 Watt
10. Rangkaian AC terdiri dari resistor dan induktor. Tegangan anantara ujung-ujung resistor 15 volt dan tegangan antara resistor dan induktor 20 volt. Besar tegangan ujung-ujung induktor dan faktor dayanya adalah ...
- A. 25 V ; 3/5
  - B. 20 V ; 3/4
  - C. 16 V ; 3/5
  - D. 12 V ; 3/5
  - E. 12 V ; 3/4

## KUNCI JAWABAN EVALUASI

1. A
2. B
3. D
4. B
5. D
6. B
7. A
8. C
9. A
10. E

## DAFTAR PUSTAKA

- Kanginan, Marthen. 2016. *Fisika Untuk SMA/MA Kelas XII*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Kanginan, Marthen. 2000. *Seribu Pena Fisika SMU Kelas XII*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Lasmi, Ni Ketut. 2015. *Seri Pendalaman Materi (SPM) Fisika*. Bandung: Penerbit Esis
- Subagia, Hari, Agus Taranggono. 2007. *Sains FISIKA Kelas XII* . Jakarta: Bumi Aksara.