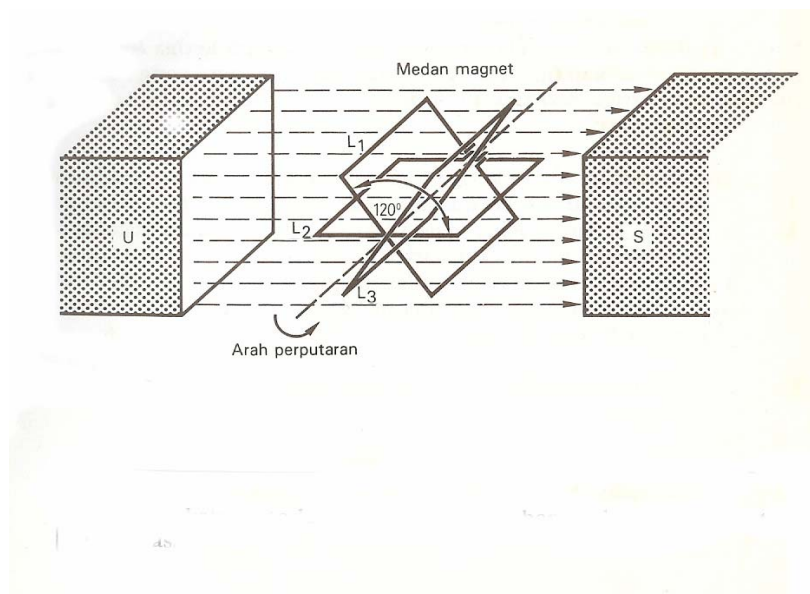


TEORI DASAR LISTRIK



**PT PLN (PERSERO) PENYALURAN DAN PUSAT PENGATUR
BEBAN JAWA BALI**



	DAFTAR ISI	2
I	PENGENALAN ARUS SEARAH.	3
	1.1 Generator arus searah.	3
	1.2 Batere atau Accumulator.	3
	1.3 Arus Listrik	4
	1.4 Kuat Arus Listrik.	4
	1.5 Rapat Arus.	5
	1.6 Tahanan dan daya hantar	6
	1.7 potensial.	7
II	RANGKAIAN ARUS SEARAH	7
	2.1 CARA PEMASANGAN ALAT UKUR	7
	2.2 HUKUM OHM.	8
	2.3 HUKUM KIRCHOFF	9
III	PENGERTIAN ARUS BOLAK-BALIK.	11
	3.1 GEM (GAYA ELEKTROMOTORIS)	11
	3.2 FREKUENSI DAN PERIODE ARUS BOLAK-BALIK	15
	3.3 FREKUENSI SISTEM.	16
	3.4 Tahanan (Resistansi) didalam Rangkaian Arus Bolak-Balik.	16
	3.5 Tahanan Induktif.	17
	3.6 Reaktansi Kapasitip. (Tahanan Kapasitip)	20
	3.7 Hubungan Deret dengan Tahanan Ohm	24
	3.7.1. Hubungan deret gulungan induksi dengan tahanan ohm.	24
	3.7.2. Hububgan deret dari Kapasitor dan Tahanan Ohm.	27
	3.7.3. Hubungan deret antara sebuah Capasitor dengan Induktor	29
	3.7.4. Hubungan antara tahanan Reaktansi, Induktif dan Capasitor.	31
IV	Daya Listrik Arus Bolak-Balik.	32
	4.1 Daya 1 fasa	32
	4.2 Kuat Arus dan Daya Listrik Semu	34
	4.3 Daya Aktif atau daya nyata (Watt)	36
	4.4 Daya Reaktif. (VAR).	36
	4.5 Segi tiga daya	37
	4.6 Rugi-rugi listrik.	
V	MACAM BESARAN LISTRIK DAN SATUANNYA.	38
	5.1 BESARAN LISTRIK	38
	5.2 SATUAN TURUNAN	39
	DAFTAR PUSTAKA	



TEORI DASAR LISTRIK

I PENGENALAN ARUS SEARAH.

1.1. Generator arus searah.

Adalah mesin pengubah energi mekanik menjadi energi listrik, sedangkan penggerak dari generator disebut prime mover yang dapat berbentuk turbin air, uap, mesin diesel dll.

Prinsip kerjanya adalah berdasarkan hukum Faraday dimana konduktor memotong medan magnet dan emf atau induksi akan timbul beda tegangan dan adanya komutator yang dipasang pada sumbu generator maka pada terminal generator akan terjadi tegangan searah.

1.2. Batere atau Accumulator.

Batere atau akumulator adalah sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel, adalah didalam batere dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia (pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan didalam sel.

Tiap sel batere ini terdiri dari dua macam elektroda yang berlainan, yaitu elektroda positif dan elektroda negatif yang dicelupkan dalam suatu larutan kimia.

1.3. Arus Listrik:

adalah mengalirnya electron secara kontinyu pada konduktor akibat perbedaan jumlah electron pada beberapa lokasi yang jumlah elektronnya tidak sama. satuan arus listrik adalah Ampere.



1 ampere arus adalah mengalirnya electron sebanyak 628×10^{16} atau sama dengan 1 Coulomb per detik meliwati suatu penampang konduktor.

$$i = \frac{q}{t} \quad [ampere]$$

1.4. Kuat Arus Listrik.

Adalah arus yang tergantung pada banyak sedikitnya elektron bebas yang pindah melewati suatu penampang kawat dalam satuan waktu.

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

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

$$Q = I \times t$$

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

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

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

Dimana :

Q = Banyaknya muatan listrik dalam satuan coulomb

I = Kuat Arus dalam satuan Amper.

t = waktu dalam satuan detik.

Contoh soal mengenai Kuat arus listrik.



Sebuah batere memberikan arus 0,5 A kepada sebuah lampu selama 2 menit. Berapakah banyaknya muatan listrik yang dipindahkan ?.

Jawab : Diketahui : I = 0,5 amp
t = 2 menit.

Ditanyakan : Q (muatan listrik).

Penyelesaian : t = 2 menit = 2 x 60 = 120 detik

$$Q = I \times t$$

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

1.5. Rapat Arus.

Difinisi : rapat arus ialah besarnya arus listrik tiap-tiap mm² luas penampang kawat

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

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

$$I = Sq$$

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

Dimana : S = Rapat arus [A/mm²]

I = Kuat arus [Amp]

q = luas penampang kawat [mm²]

1.6. Tahanan dan daya hantar.

Tahanan didefinisikan sbb :

1 (satu Ohm / Ω) adalah tahanan satu kolom air raksa yang panjangnya 1063 mm dengan penampang 1 mm² pada temperatur 0° C.

Daya hantar didefinisikan sbb :

Kemampuan penghantar arus atau daya hantar arus sedangkan penyekat atau isolasi adalah suatu bahan yang mempunyai tahanan



yang besar sekali sehingga tidak mempunyai daya hantar atau daya hantarnya kecil yang berarti sangat sulit dialiri arus listrik.

Rumus untuk menghitung besarnya tahanan listrik terhadap daya hantar arus.

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

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

Dimana : R = Tahanan kawat listrik [Ω /ohm]

G = Daya hantar arus [Y/mho]

Tahanan penghantar besarnya berbanding terbalik terhadap luas penampangnya.

Bila suatu penghantar dengan panjang ℓ , dan penampang q serta tahanan jenis ρ (rho), maka tahanan penghantar tersebut adalah :

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

Dimana : R = tahanan kawat [Ω /ohm]

ℓ = panjang kawat [meter/m]

ρ = tahanan jenis kawat [Ω mm²/meter]

q = penampang kawat [mm²]

faktot-faktor yang mempengaruhi nilai resistance, karena tahanan suatu jenis material sangat tergantung pada :

- panjang tahanan
- luas penampang konduktor.
- jenis konduktor
- temperatur.



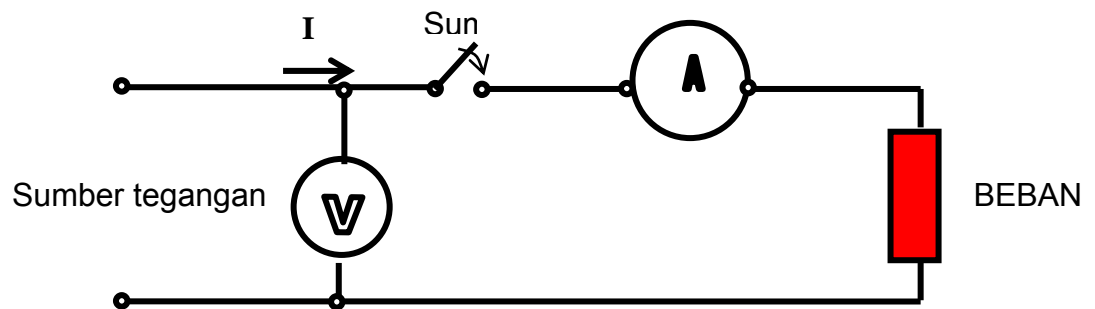
1.7. potensial.

potensial listrik adalah fenomena berpindahnya arus listrik akibat lokasi yang berbeda potensialnya. dari hal tsb diatas kita mengetahui adanya perbedaan potensial listrik yang sering disebut *potential difference*. satuan dari potential difference adalah Volt.

II RANGKAIAN ARUS SEARAH

Pada suatu rangkaian akan mengalir arus (gambar.4.a, 4b.), apabila dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

1. Adanya sumber tegangan
2. Adanya alat penghubung
3. Adanya beban



Gambar : Rangkaian arus.

Pada kondisi sakelar S terbuka maka arus ***tidak akan mengalir*** melalui beban .

Apabila sakelar S ditutup maka ***akan mengalir*** arus ke beban R dan Ampere meter akan menunjuk.

Dengan kata lain syarat mengalir arus pada suatu rangkaian harus tertutup.

2.1. CARA PEMASANGAN ALAT UKUR.

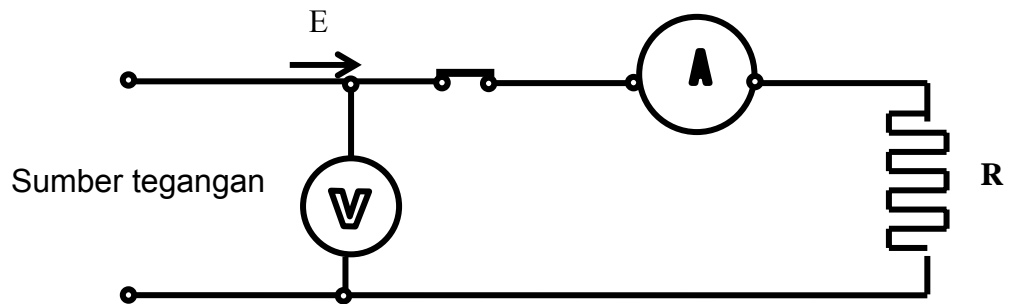
Pemasangan alat ukur Volt meter dipasang parallel dengan sumber tegangan atau beban, karena tahanan dalam dari Volt meter sangat tinggi.



Sebaliknya pemasangan alat ukur Ampere meter dipasang seri, hal ini disebabkan tahanan dalam dari Amper meter sangat kecil.

2.2. HUKUM OHM.

Pada suatu rangkaian tertutup :



Gambar : Rangkaian arus

Besarnya arus I berubah sebanding dengan tegangan V dan berbanding terbalik dengan beban tahanan R , atau dinyatakan dengan Rumus :

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

→

V

R I

Daya (P) :

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

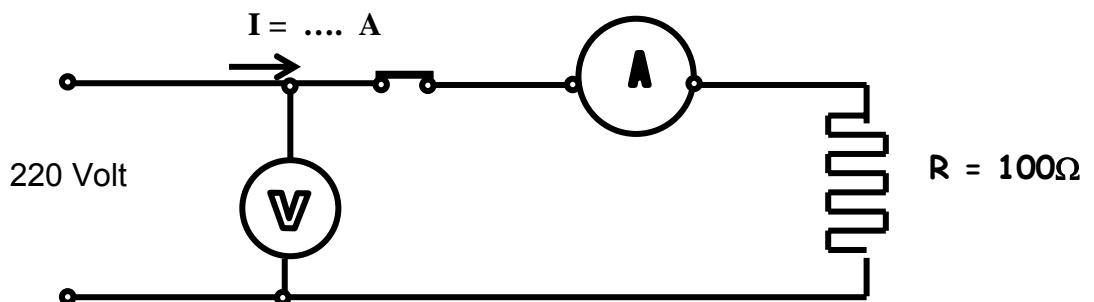


Contoh :

Suatu beban yang mempunyai tahanan $R = 100 \Omega$, dihubungkan kesumber tegangan (V) yang besarnya 220 Volt.

Berapa besar arus (I) dan daya (P) yang mengalir pada rangkaian tersebut?.

Jawab :



Besar arus (I) yang mengalir :

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

$$I = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ A}$$

Daya (P) :

$$P = I \times V$$

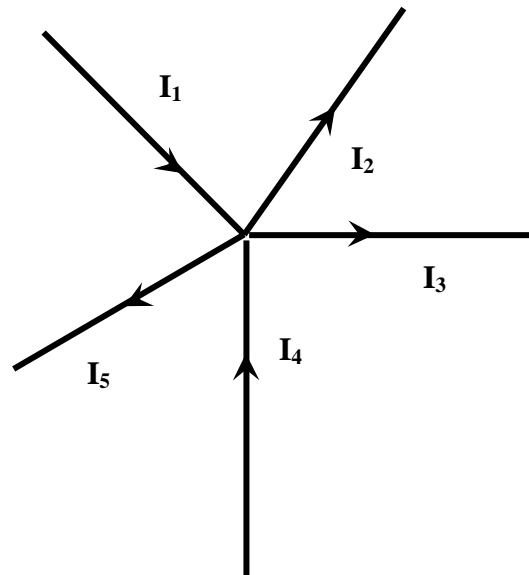
$$P = 2,2 \times 220$$

$$P = 484 \text{ Watt}$$



2.3. HUKUM KIRCHOFF.

Pada setiap rangkaian listrik, jumlah aljabar dari arus-arus yang bertemu di satu titik adalah nol ($\sum I=0$).



Gambar : Loop arus “ KIRCOFF “

Jadi :

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

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

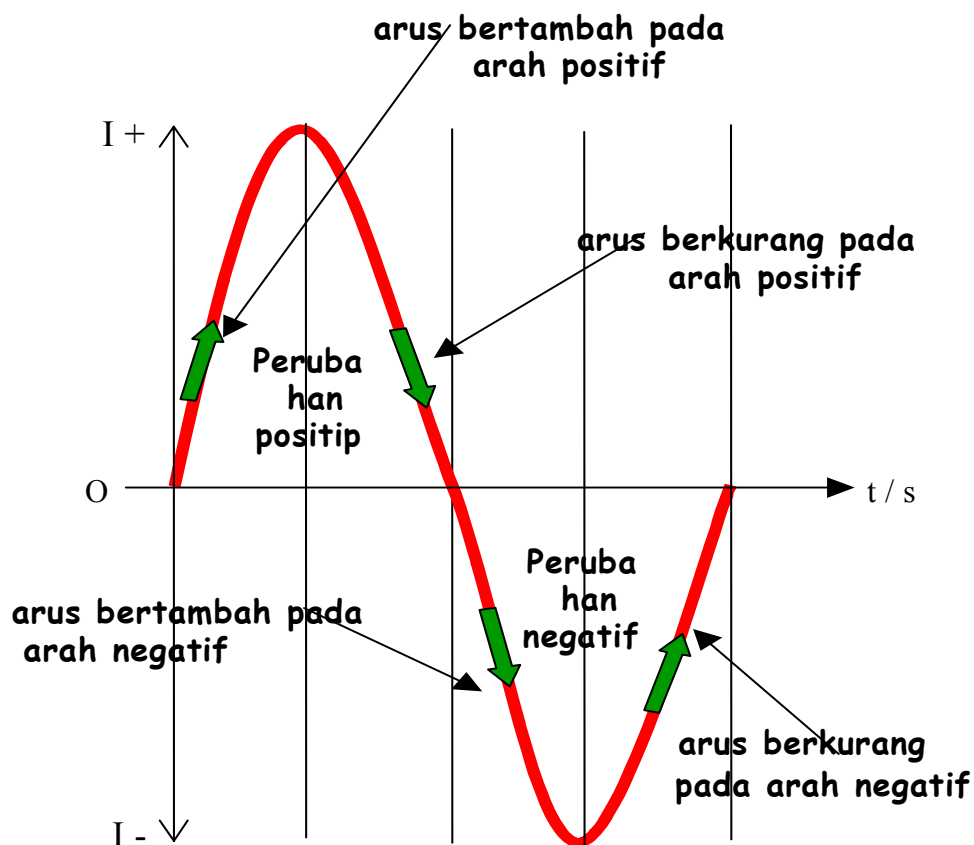


III PENGERTIAN ARUS BOLAK-BALIK.

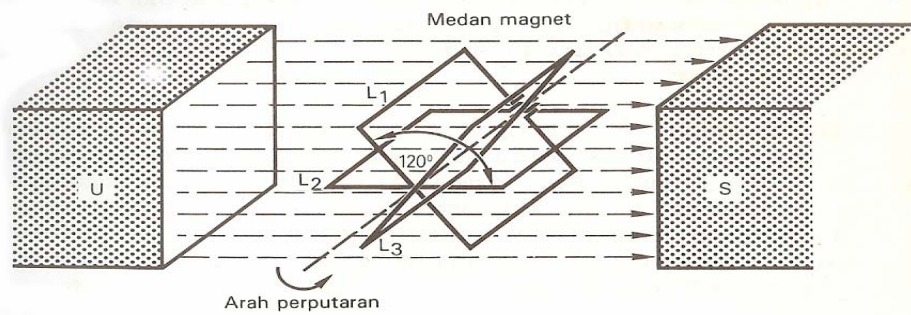
3.1. GEM (GAYA ELEKTROMOTORIS)

Bila sebatang penghantar digerakan sedemikian rupa didalam medan magnet, hingga garis-garis medan magnet terpotong bebas didalam penghantar akan bekerja gaya, yang menggerakkan elektron tersebut sejurus dengan arah penghantar. Akibatnya ialah penumpukan elektron (pembawa muatan negatif) disebelah bawah dan kekurangan elektron yang sebanding diujung batang sebelah atas. Didalam batang penghantar terjadi tegangan, selama berlangsungnya gerakan penghantar didalam medan magnet.

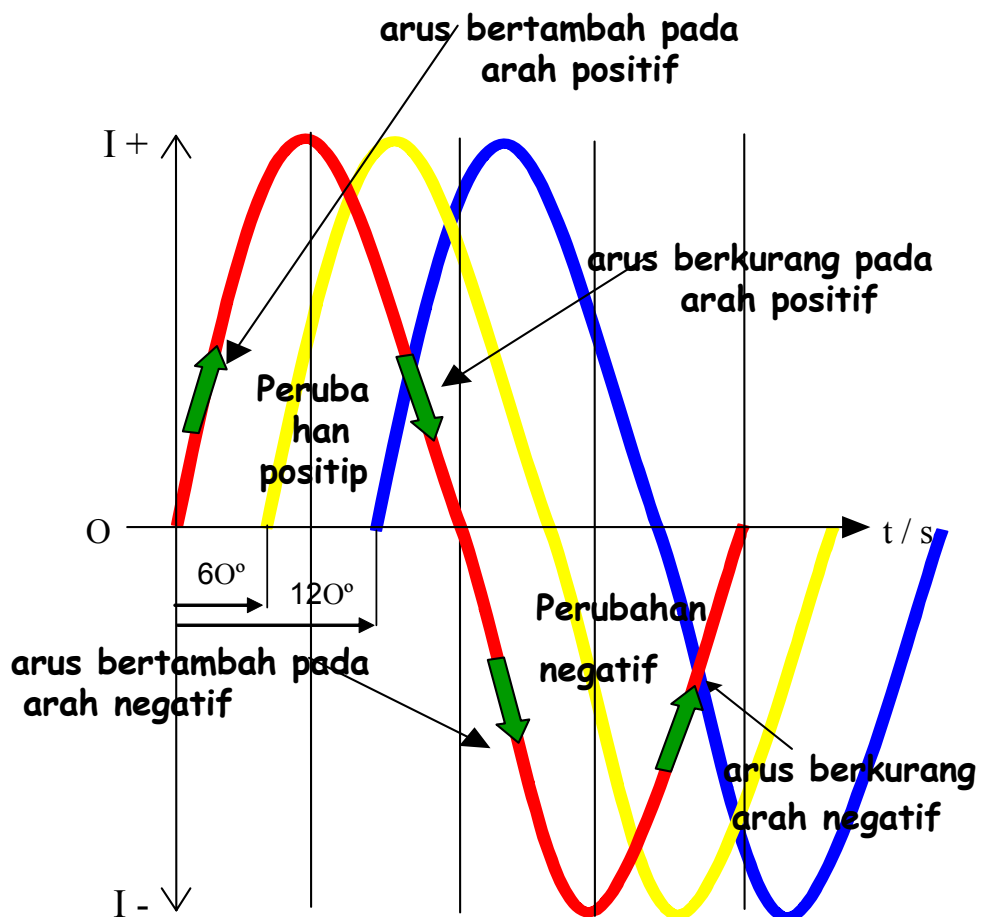
Membangkitkan tegangan dengan bantuan medan magnet dinamakan menginduksikan, dan kejadian itu sendiri dinamakan induksi tegangan



gambar 1 : bentuk arus bolak-balik 1 fasa



gambar 2 : prinsip membangkitkan arus bolak-balik 3





hubungan antara frekuensi, kecepatan putar dan tegangan yang timbul pada generator arus bolak balik.

- frekwensi.

$$f = \frac{PN}{120} \quad [Hz]$$

dimana : P = jumlah kutub magnit.

N = putaran rotor permenit

F = jumlah lengkap putaran perdetik.

- E.M.F (eletro motor force).

$$E = 4,44 K_C K_D \Phi f \quad [Volt]$$

dimana : K_C = jarak antar kumparan atau pitch factor.

K_D = faktor distribusi.

Φ = fluks per kutub [weber]

f = frekwensi.

Persamaan tegangan bolak-balik (Alternating voltage equations). dengan diketahui bahwa perputaran kumparan dengan percepatan tertentu yaitu ω radians second atau 2π radians dan grafik tegangan untuk satu cycle adalah :

$$\omega = 2\pi f$$

sesuai standar persamaan dari tegangan bolak-balik adalah :

- $e = E_m \sin \theta$
- $e = E_m \sin \omega\theta$
- $e = E_m \sin 2\pi ft$
- $e = E_m \sin \omega t$

a. Nilai sesaat (Instantaneous value).

didefinisikan sebagai harga sesaat ketika berputar dimana nilai pada lokasi tertentu, untuk membedakan dengan notasi tegangan dan arus nilai sesaat dinotasikan sebagai e dan i (huruf kecil).

b. Nilai Puncak (peak value).

disebut juga nilai maximum baik Positip (+) maupun negatip (-) baik untuk tegangan maupun arus dan disebut juga sebagai nilai maksimum.

c. Nilai rata-rata (average value).

Nilai rata-rata yang dihitung secara arithmetical satu cycle. nilai rata-rata arus dan tegangan bolak-balik yang berbentuk gelombang sinusoidal adalah :

$$E_{av} = 0,637 E_m \quad \text{dan} \quad I_{av} = 0,637 I_m \quad (0,637 = 2/\pi).$$

**d. Nilai efektif, (effectiv value)**

Harga efektif atau harga guna dari arus bolak-balik yang berbentuk sinus adalah suatu harga arus yang lebih penting dari pada harga arus rata-rata. Arus yang mengalir didalam suatu tahanan "R" selama waktu 't', akan melakukan sejumlah usaha yang menurut rumus :

$$A = I^2.R.t \quad \text{[joule]}$$

usaha ini dalam bentuk panas. Jika tahanan R dilalui arus bolak-balik

$$i = I_m.\sin \omega t$$

dan didalam waktu t yang sama, arus bolak-balik tersebut melakukan sejumlah pekerjaan yang sama besarnya dengan

$$= I_m^2.R.t \quad \text{[joule]}.$$

Harga efektif arus bolak-balik adalah harga tetap dari arus rata yang didalam waktu yang sama melakukan sejumlah usaha ($I_m^2.R.t$ [joule].) yang besarnya dengan usaha yang dilakukan oleh arus bolak-balik. sehingga bentuk persamaan ts diatas berubah menjadi sbb :

$$A = I_m^2.\sin^2\omega t$$

berarti ;

$$\begin{aligned} i^2 &= I_m^2.\sin^2\omega t \\ &= I_m^2 \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}.\cos 2\omega t \right) \\ &= \left(\frac{1}{2}I_m^2 - \frac{1}{2}. I_m^2 \cos 2\omega t \right) \end{aligned}$$

Jadi arus i^2 merupakan arus campuran yang terdiri dari dua bagian yaitu :

- Bagian arus yang rata dengan harga $\frac{1}{2} I_m^2$.
- bagian yang berubah –ubah menurut rumus cosinus (grafik). $\frac{1}{2}. I_m^2 \cos 2\omega t$

dari bagian yang rata adalah sebagai harga puncak yang jika dihitung merupakan harga efektif dari arus bolak-balik adalah akar dari harga puncak yaitu :

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}. I_m^2}$$

$$I_{eff} = I_m \sqrt{\frac{1}{2}}.$$

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

untuk tegangan sama :

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



3.2. FREKUENSI DAN PERIODE ARUS BOLAK-BALIK

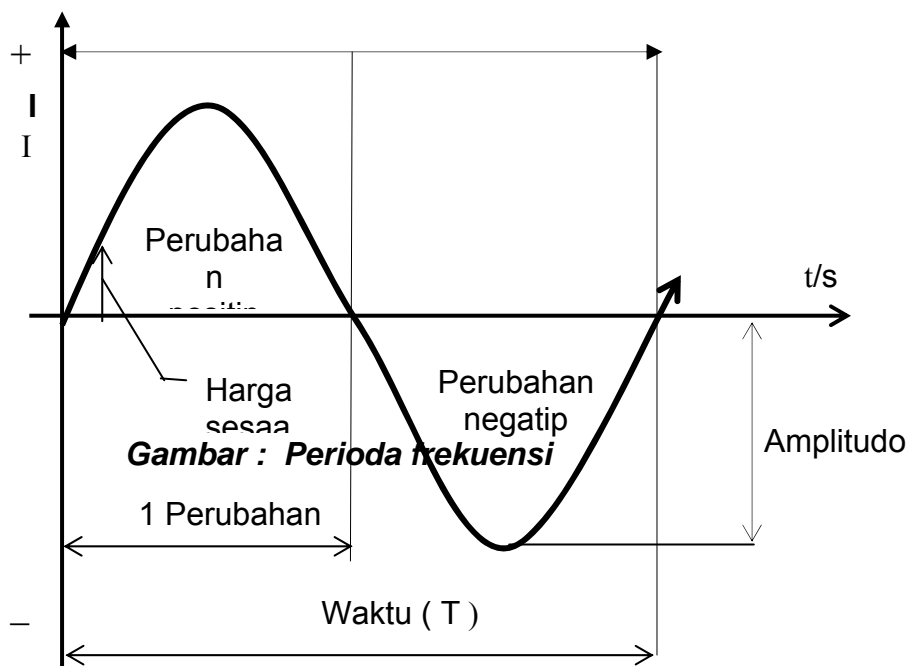
Frekuensi arus bolak-balik dapat dinyatakan sebagai berikut (gbr.8.) :

- Waktu yang diperlukan oleh arus bolak-balik untuk kembali pada harga yang sama dan arah yang sama (1 cycle) disebut periode, dengan symbol T dan dinyatakan dalam detik/cycle.
- Amplitudo adalah harga maximum arus yang ditunjukkan garis grafik.
- Harga sesaat adalah harga yang ditunjukkan garis grafik pada suatu saat.

FREKUENSI arus bolak-balik adalah jumlah perubahan arah arus per detik

$$f = 1/T$$

Frekuensi dinyatakan dalam HERTZ, dimana 1 Hz = 1 Cycle per detik





3.3. FREKUENSI SISTEM.

Frekuensi system PLN adalah 50 HZ, artinya :

- Dalam waktu 1 detik menghasilkan 50 gelombang
- 1 gelombang membutuhkan waktu 1/50 detik

Apabila frekuensi besarnya f Hz, maka :

- Dalam waktu 1 detik menghasilkan f gelombang
- 1 gelombang membutuhkan waktu $1/f$ detik.

Untuk mencapai 1 gelombang penuh (periode penuh) dibutuhkan waktu T detik.

Jadi :

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

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{\frac{1}{f}} = 2\pi f$$

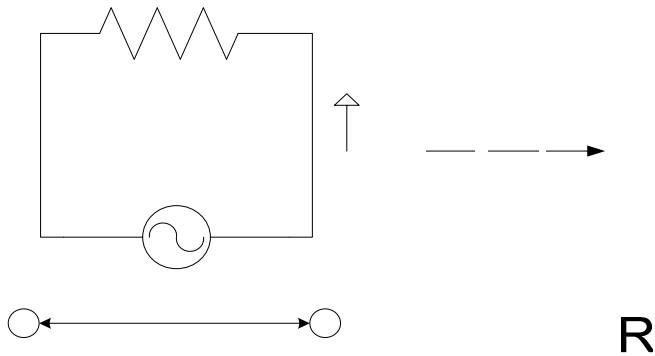
$$\omega = 2\pi f$$

3.4. Tahanan Ohm (Resistansi) didalam Rangkaian Arus Bolak-Balik.

Jika sebuah tahanan Ohm "R" (resistansi) dipasangkan pada generator G yang mengeluarkan tegangan bolak-balik sebesar :

$$e = E_m \cdot \sin \omega t.$$

seperti pada gambar rangkaian :



$$i_R = \frac{e}{R}$$

$$i_R = \frac{E_m \sin \omega t}{R}$$

$$i_R = \frac{E_m}{R} \sin \omega t$$

$\frac{E_m}{R}$ adalah arus harga puncak, jika :

 arus harga puncak :

 arus efektifnya adalah :

$$\sin \omega t = 1$$

$$I_{Rm} = \frac{E_m}{R}$$

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

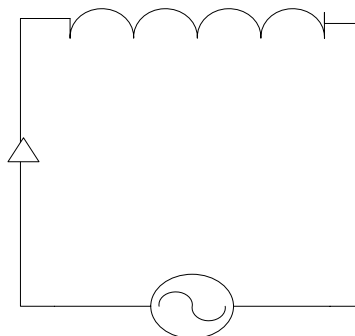
i_R

0

3.5. Tahanan Induktif.

Gambar dibawah ini menunjukkan sebuah gulungan induksi yang mempunyai koefisiensi induksi diri "L" dihubungkan pada sumber tegangan arus bolak-balik atau tegangan yang berbentuk sinusioda.

$$e = E_m \cdot \sin \omega t$$





dengan demikian gulungan akan dilalui arus listrik bolak-balik (i_L), yang perlu kita pelajari dan selidiki adalah bagaimana perubahan sifat-sifat dari arus i_L tersebut. Untuk itu perlu diketahui bahwa didalam gulungan induksi "L" mengalir arus bolak-balik yang berbentuk gelombang sinus yang besarnya adalah :

$$i_L = I_{LM} \cdot \sin \omega t \quad \text{atau} \quad i_L = I_{LM} \cdot \sin 2\pi f t$$

akan membangkitkan sejumlah garis gaya magnet (fluks) didalam gulungan tersebut menurut rumus :

$$\Phi = L \cdot i_L$$

maka

$$\Phi = L \cdot I_{LM} \cdot \sin \omega t$$

dimana

$$\Phi = \Phi_m \cdot \sin \forall \quad (\text{teori cara-cara membangkitkan tegangan berbentuk gelombang sinus})$$

Garis gaya elektromagnet (N) akan berubah-ubah menurut garis sinus dengan harga puncak

$$N = L \cdot I_{LM}$$

sebagaimana diketahui, bahwa besarnya tegangan induksi e_L ditetapkan dengan rumus :

$$e_L = - \frac{d\Phi}{dt} \quad 10^{-8} \text{ Volt}$$

jadi :

$$e_L = - \frac{d(L \cdot I_{LM} \cdot \sin \omega t)}{dt} \quad 10^{-8} \text{ Volt}$$

$$e_L = -L \frac{d(I_{LM} \cdot \sin \omega t)}{dt} \quad 10^{-8} \text{ Volt}$$

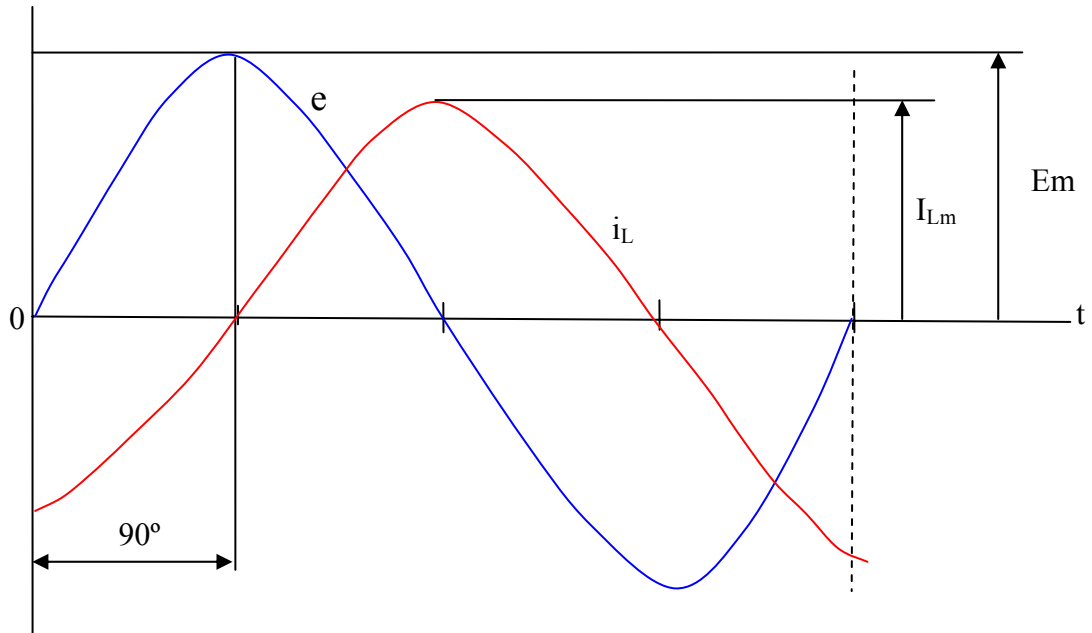
Besarnya tegangan arus bolak-balik dari generator adalah :

$$e = E_m \cdot \sin \omega t.$$

dan disambungkan dengan induktor L sehingga mengalir arus bolak-balik i_L yang akan terbelakang 90° terhadap tegangan "e" sehingga i_L tersebut mempunyai bentuk rumus sbb :

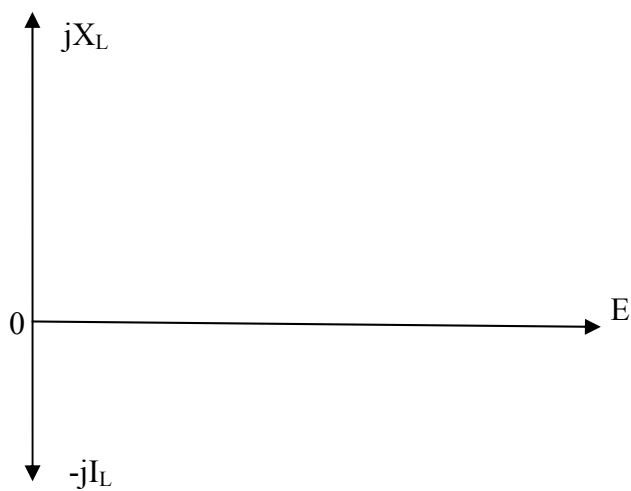


$$I_L = I_{LM} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$



diketahui :

I_{Lm} dan E_m dibagi $\sqrt{2}$ akan menjadi **harga efektif I_L dan E_m** maka :





$$I_L = \frac{E}{\omega L} = \frac{E}{X_L}$$

dimana :

I_L = harga efektif dari kuat arus yang mengalir pada gulungan induksi.

E = harga efektif dari tegangan sumber yang dihubungkan kepada gulungan induksi.

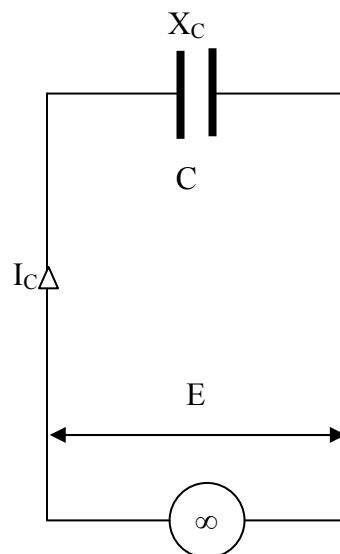
L = koefisien induksi diri dari gulungan diukur dalam satuan Henry.

ω = frekwensi putar generator yang diukur dalam satuan rad/detik.

3.6. Reaktansi Kapasitif. (Tahanan Kapasitif).

Sebuah kondensator yang sering disebut kapasitor "C" dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak-balik berbentuk sinus yang ditetapkan dengan rumus sbb:

$$e = E_m \sin \omega t$$



Jika sebuah kapasitor dihubungkan dengan sumber arus searah, maka arus searah yang dapat mengalir hanya sesaat saja dan waktu yang pendek, yaitu pada saat kapasitor dalam keadaan diisi (charged). Kemudian arus searah didalam kapasitor akan menjadi nol kembali. Hal tersebut membuktikan bahwa kapasitor tidak dapat dilalui arus searah atau dikatakan kapasitor memblokir arus searah. Menurut teori arus searah yang mengalir jumlah muatannya ditentukan dengan rumus :

$$Q = i \cdot t \quad \text{atau} \quad i = Q/t.$$



Pada hakikatnya kapasitor tidak dilalui arus bolak-balik, akan tetapi secara berganti-ganti diisi dalam arah positif dan negatif. Selama saat yang pendek (dt), kapasitor ini diisi oleh harga saat dari arus bolak-balik i_c . Jumlah listrik yang diisikan pada kapasitor selama saat dt , adalah :

$$dQ = i_c \cdot Dt$$

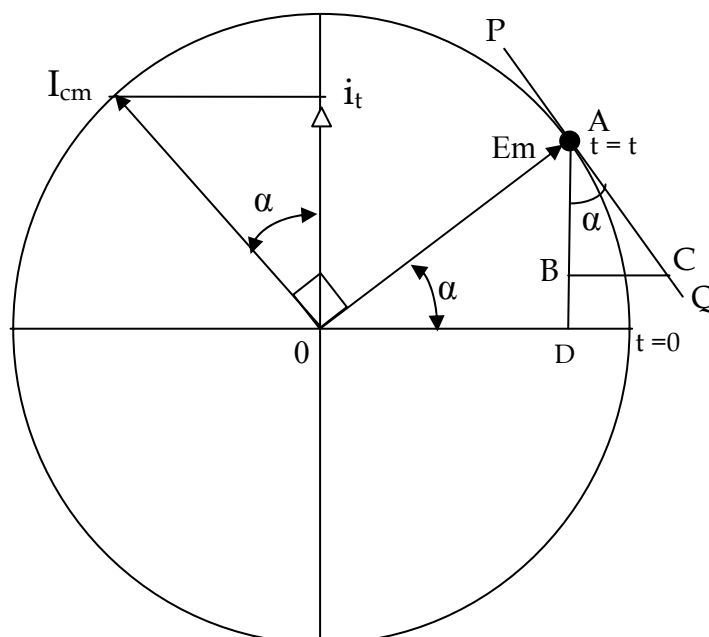
$$i_c = dQ/dt.$$

Karena $Q = c.e$, maka rumusnya berubah menjadi :

$$i_c = \frac{d(c.e)}{dt}$$

$$i_c = \frac{d(c.E_m \cdot \sin \omega t)}{dt}$$

$$i_c = C \frac{d(E_m \cdot \sin \omega t)}{dt}$$





selama waktu yang sangat singkat (dt), ujung vektor \hat{A} senantiasa akan melintasi panjang busur sebesar :

$$\omega \cdot dt \text{ radial}$$

karena radial lingkaran mempunyai harga E_m maka :

$$dt = \omega \cdot dt \cdot E_m$$

dan tegangan bolak-balik menjadi :

$$d (E_m \cdot \sin \omega t).$$

Dari titik A ditarik garis singgung PQ, yang kemudian buat segitiga ABC siku dititik B, maka berlaku :

$$AC = \text{pembesaran dari } \omega \cdot dt \cdot E_m$$

$$AB = \text{pembesaran dari } d (E_m \cdot \sin \omega t).$$

$$\angle BAC = \alpha$$

Jadi :

$$\cos \alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{d(E_m \cdot \sin \omega t)}{dt \cdot E_m}$$

atau

$$E_m \cdot \omega \cdot \cos \alpha = \frac{d(E_m \cdot \sin \omega t)}{dt}$$

diketahui :

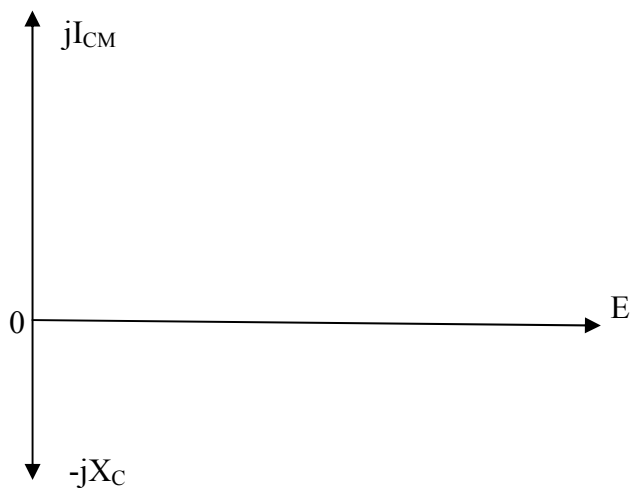
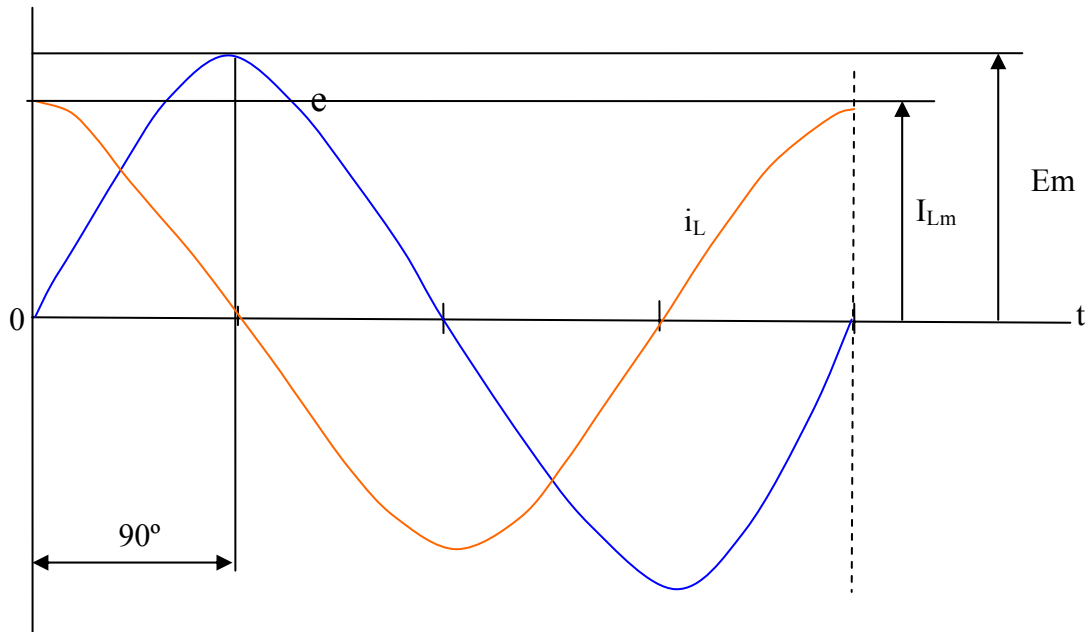
$$i_c = C \frac{d(E_m \cdot \sin \omega t)}{dt}$$

maka :

$$i_c = C \cdot E_m \cdot \omega \cdot \cos \alpha$$



gambar grafiknya menunjukkan grafik tegangan berbentuk sinus dan grafi arus berbentuk cosinus sehingga arus mendahului 90° terhadap tegangan adalah sbb :



pada saat sudut $\alpha = 0^\circ$, maka $\cos \alpha = \cos 0^\circ = 1$, dengan demikian i_C ini akan mencapai harga puncaknya menjadi I_m sehingga :

$$I_{cm} = C \cdot E_m \omega \cos \alpha .$$

$$I_{cm} = C \cdot E_m \omega .$$



Maka rumus $i_c = I_{cm} \cos \alpha$ dan dengan sumber $e = E_m \sin \omega t$ yang dipasangkan pada C akan membuat kuat arus i_c mendahului terhadap tegangan C. Sehingga i_c berbentuk :

$$i_c = I_{cm} \sin(\omega t + 90^\circ)$$

dari gambar vektor \vec{E}_m diatas, dimana i_c terlihat sebagai vektor \vec{I}_{cm} yang mendahului 90° dimuka vektor \vec{E}_m . sehingga I_{cm} ini dapat ditulis kan dengan rumus :

$$I_{cm} = \frac{E}{\frac{1}{\omega C}}$$

maka harga efektifnya adalah :

$$I_c = \frac{E}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{E}{X_c}$$
$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

dimana :

I_c = harga efektif dari kuat arus yang mengalir pada kapasitor.

E = harga efektif dari tegangan sumber yng dihubungkan kepada kapasitor.

C = kapasitas kapasitor yang diukur dalam satuan Farad.

ω = frekwensi putar generator yang diukur dalam satuan rad/detik.

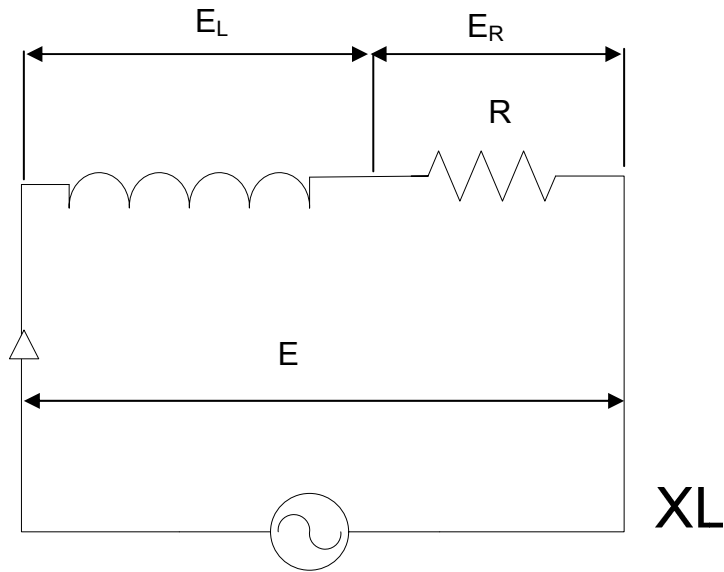
3.7. Hubungan Deret dengan Tahanan Ohm.

3.7.1. Hubungan deret gulungan induksi dengan tahanan ohm.

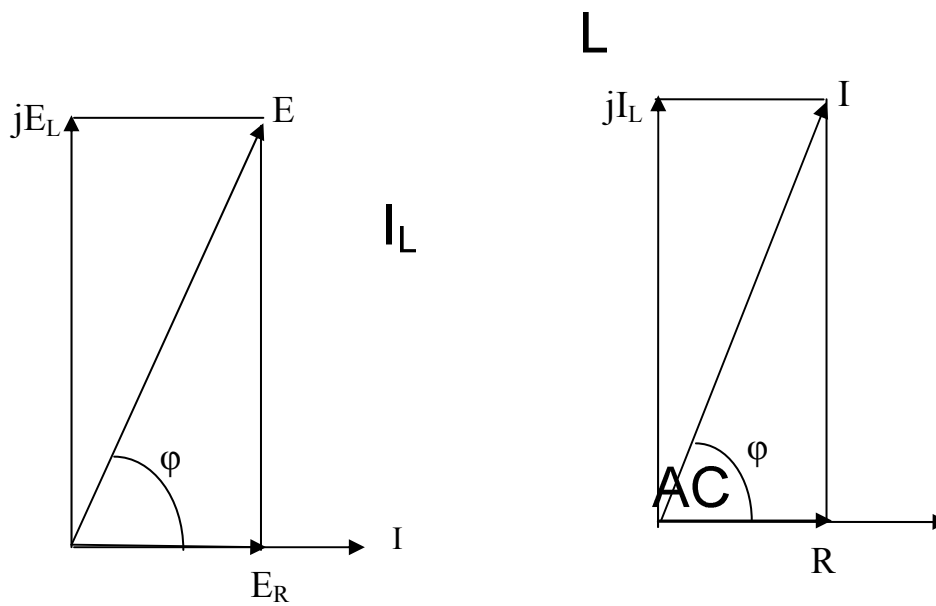
Gambar dibawah ini menunjukkan hubungan deret antara gulungan induksi (reaktansi induktif atau X_L) dengan tahanan Ohm (R), pada rangkaian disambungkan pada sumber tegangan arus bolak-balik sebesar E Volt.

Kuat arus (I) yang mengalir kedalam rangkaian ini mempunyai harga tetap yaitu I. Sedangkan untuk tegangan E akan terbagi dua menjadi komponen yaitu :

- komponen E_L yang terdapat pada terminal gulungan reaktansi induktif (X_L).
- komponen E_R yang terdapat pada termonal resistansi (R).



Dan gambar vektornya adalah sbb :



Maka :

$$\frac{j\bar{E}_L}{I} = jx_L \quad \text{dan} \quad \frac{\bar{E}_R}{I} = R$$

Karena terhubung deret atau serie maka nilai dari hubungan kedua tahanan adalah :

$$\text{Tahanan jumlah} = \bar{R} + j\bar{x}_L$$



Tahanan jumlah ini disebut tahanan bayangan atau impedansi yang notasikan dengan huruf " Z " maka :

$$\bar{Z}_s = \bar{R} + j\bar{x}_L$$

dan dari diagram diatas bahwa tegangan "E" dari generator akan mendahului terhadap kuat arus (I) sebesar sudut φ° maka tahanan impedansi \check{Z} akan mempunyai argumen sebesar sudut φ° positif. Nilai mutlak impedansi (modulus) dapat dihitung menurut dalil Phytagoras.

$$Z_s^2 = R^2 + X_L^2$$

$$Z_s^2 = R^2 + (\omega L)^2$$

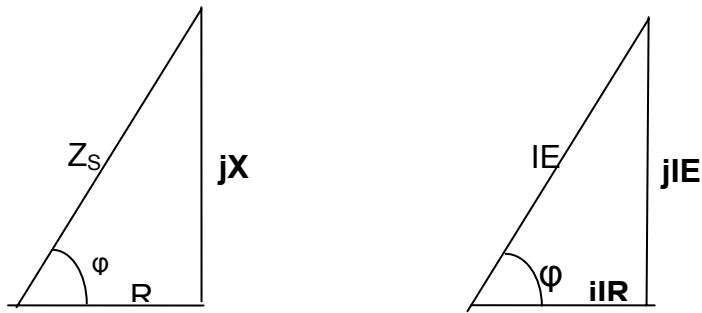
$$Z_s = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$$

$$tg\varphi = \frac{X_L}{R}$$

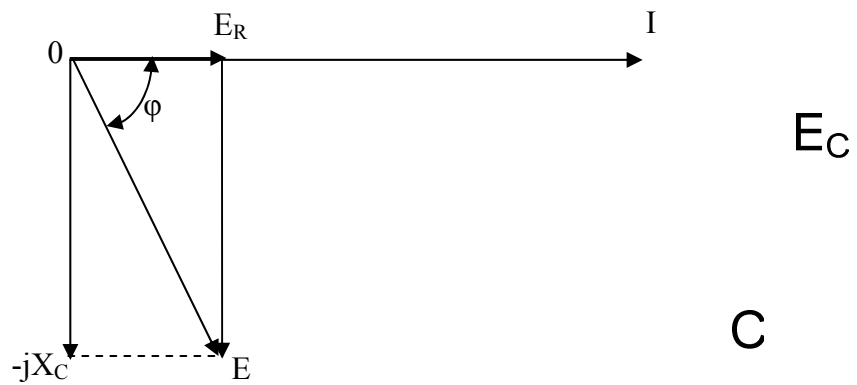
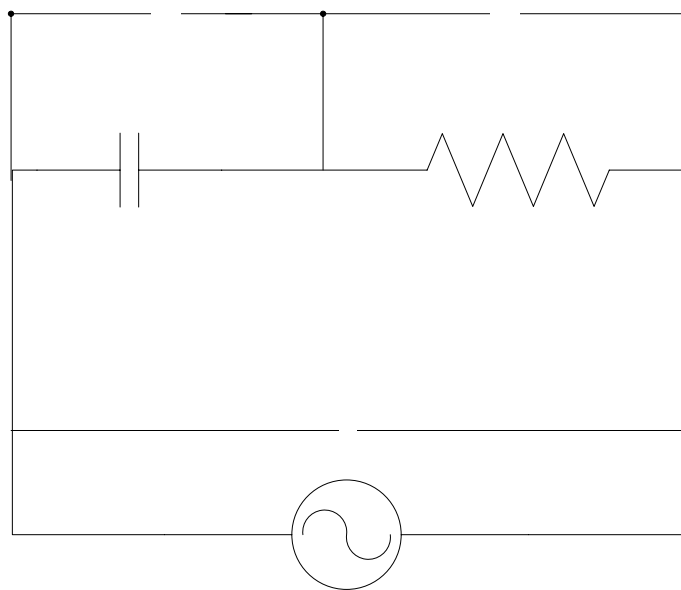
Sesuai dengan hukum OHM maka :

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_l^2}}$$

Dan gambar diagram vektornya menjadi :



3.7.2. Hubungan deret dari Kapasitor dan Tahanan Ohm.



$$\bar{E} = \bar{E}_R + (-j\bar{E}_C)$$

diketahui :

$$\frac{\bar{E}_R}{I} = \bar{R} \quad \text{dan} \quad \frac{(-j\bar{E}_C)}{I} = -j\bar{X}_C$$

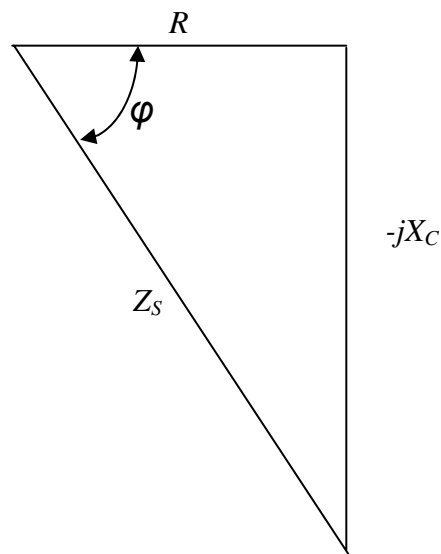
jadi :



$$\bar{Z}_S = R + -j\bar{X}_C \quad \text{atau} \quad \bar{Z}_S = R - j\bar{X}_C$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad \text{maka :}$$

$$\bar{Z}_S = R - \frac{1}{\omega C}$$



$$Z_S^2 = R^2 + X_C^2$$

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

$$Z_S = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}$$

Sehingga :



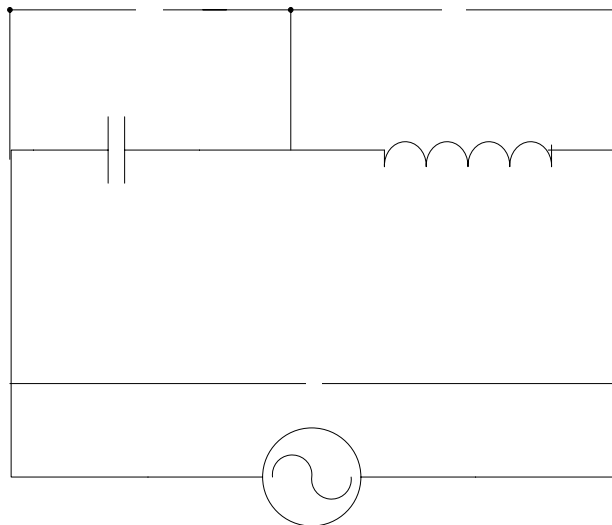
$$I = \frac{E}{Z_s}$$

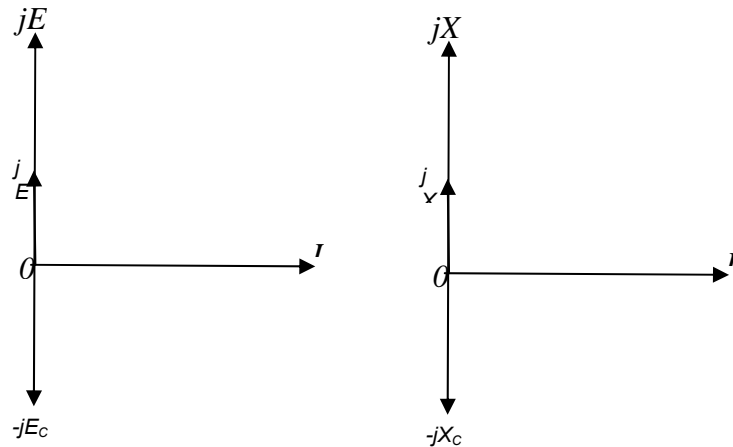
$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

atau

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}}$$

3.7.3. Hubungan deret antara sebuah Capacitor dengan Induktor.





diketahui :

$$\frac{j\bar{E}_L}{I} = j\bar{X}_L \quad \text{dan} \quad \frac{(-j\bar{E}_C)}{I} = -j\bar{X}_C$$

$$j\bar{X}_L + (-j\bar{X}_C) = j(\bar{X}_L - \bar{X}_C) = jX$$

$$jX = j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

maka :

$$I = \frac{E}{\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

$$E = I\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$



Terjadinya resonansi apabila :

$$X_L = X_C$$

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

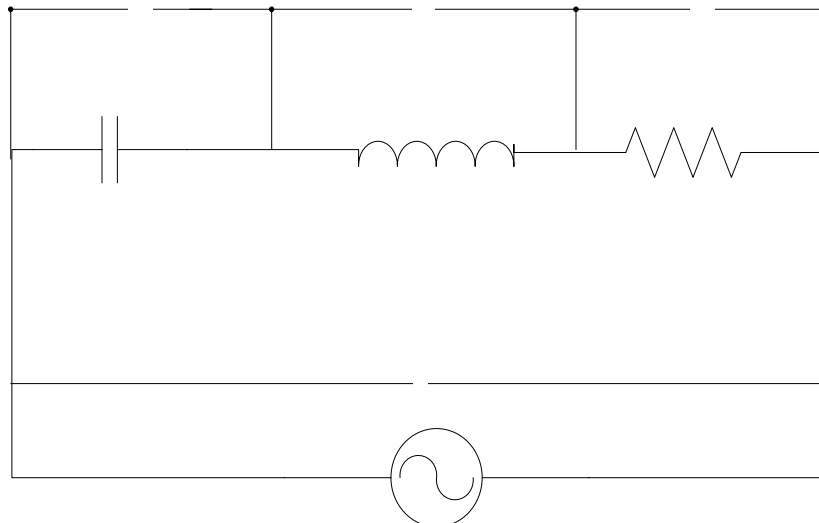
$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

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

3.7.4. Hubungan antara tahanan Reaktansi, Induktif dan Capacitor.



Impedansi adalah nilai pengganti hubungan antara kapasitor, tahanan dan induktansi baik terhubung seri, paralel atau campuran keduanya. Notasi impedansi "Z". maka :



$$\bar{Z}_S = R \pm j(X_L - X_C)$$

$$\bar{Z}_S = R \pm j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

Modulusnya impedansi adalah :

$$Z_S = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

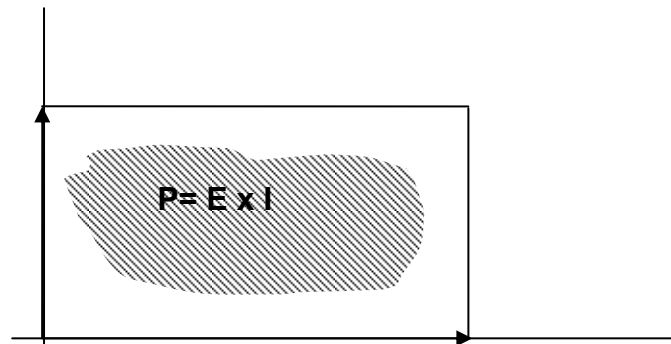
Maka :

$$I = \frac{E}{Z_S} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

IV Daya Listrik Arus Bolak-Balik.

4.1. Daya 1 fasa

Besarnya daya listrik untuk arus searah telah diketahui dengan rumus sbb:
jika digambarkan dalam grafik adalah sbb:



untuk arus bolak-balik diketahui :

$$e = E_m \cdot \sin \omega t$$



dan

$$i = I_m \cdot \sin \omega t.$$

maka :

$$P(W) = e \times i$$

$$P(W) = E_m \cdot \sin \omega t \times I_m \cdot \sin \omega t$$

$$P(W) = E_m \cdot I_m \cdot \sin^2 \omega t$$

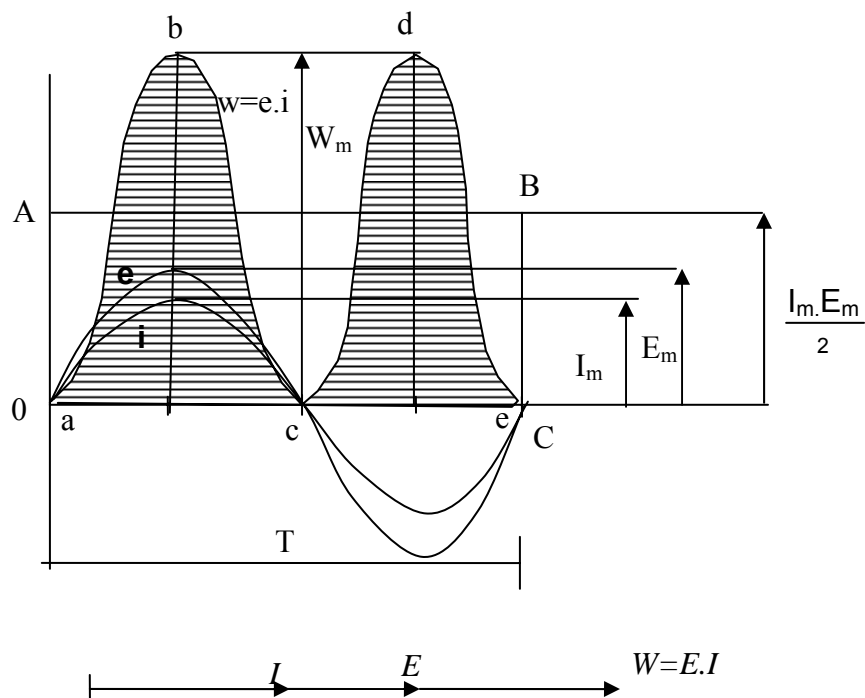
diketahui :

$$\cos 2\alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha$$

$$\sin^2 \alpha = \frac{\cos 2\alpha - 1}{2}$$

$$P(W) = E_m \cdot I_m \left(\frac{\cos 2\alpha - 1}{2} \right)$$

$$P(W) = \frac{E_m \cdot I_m}{2} \times \cos 2\omega t$$



dengan meratakan garis lengkung menjadi garis AB yang merupakan garis sumbu nol grafik cosinus, sehingga terdapat jajaran siku OABC yang luasnya sama dengan luas abcde (luas bidang arsir) dengan tinggi :



$$BC = \frac{I_m \times E_m}{2}$$

sama dengan :

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{dan} \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$$

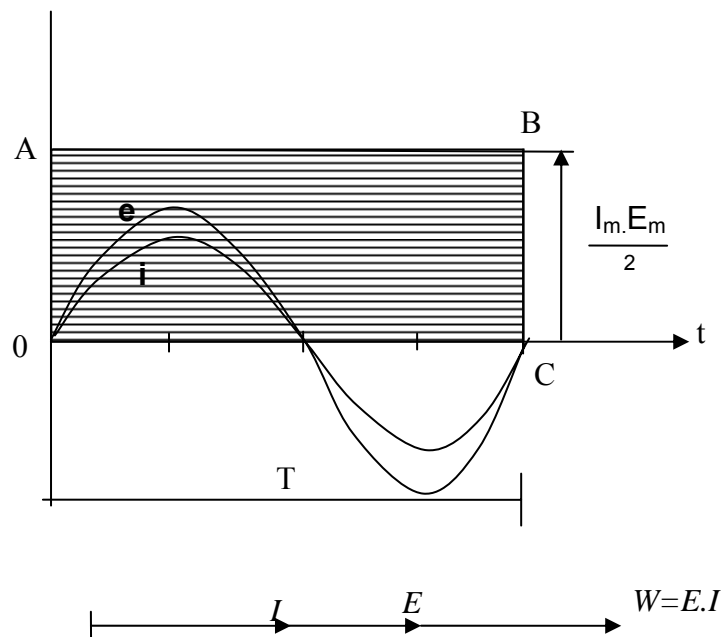
maka :

$$P(W) = E \times I \quad (\text{Watt})$$

sedangkan usaha listrik :

$$A = E \times I \times t \quad (\text{joule})$$

Jadi kuat arus (I) yang sefase dengan tegangan (E) akan menghasilkan daya listrik yang satuannya Watt.





4.2. Kuat Arus dan Daya Listrik Semu

Gambar dibawah ini menunjukkan lengkung sinus dari kuat arus tukar dengan rumus :

$$i = I_m \cdot \sin \omega t.$$

Dan tegangan tukar menurut rumus :

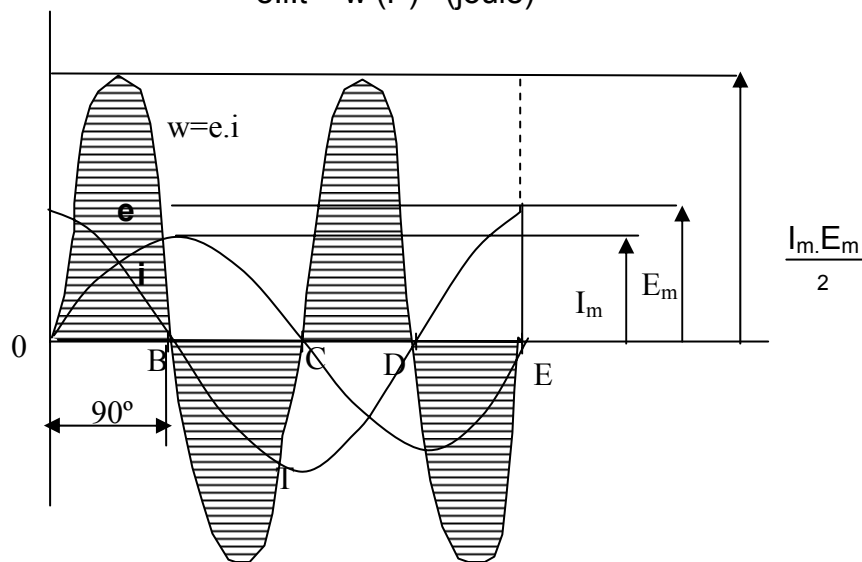
$$e = E_m \cdot \sin (\omega t + 90^\circ)$$

rumus tegangan e diatas.karena tegangan e mendahului 90° terhadap kuat arus i, sehingga tegangan itu dapat diaggap sebagai tegangan cosinus :

$$e = E_m \cdot \cos \omega t$$

Hasil kali e dan i antara saat-saat $t=0$ sampai $t=B$ memberikan lengkung w (P) yang positif; antara saat-saat $t = B$ sampai $t = C$ dimana hasil kali +i dan $-e$ akan menghasilkan lengkung garis w (P) yang negatif, antara saat-saat $t=C$ dan $t=D$ hasil kali $-i$ dan +e akan menghasilkan lengkung w positif dan antara saat $t=D$ dan $t=E$ dimana hasil klai +e dan $-i$ akan menghasilkan lengkung w (P) negatif, Sehingga jumlah usaha :

$$e \cdot i \cdot t = w (P) \text{ (joule)}$$



Usaha yang dihasilkan sebesar e.i.t joule ini terdiri dari bagian-bagian yang positif dan bagian-bagian yang negatif. Jika bagian-bagian positif sama besarnya dengan bagian-bagian negatif maka ini berarti bila kedua bagian itu dijumlahkan akan menjadi nol. Untuk menjelaskan hal ini maka dihitung sbb :



$$\begin{aligned}P &= i \times e \\ &= I_m \cdot \sin \omega t \times E_m \cdot \cos \omega t. \\ &= \frac{1}{2} I_m \cdot E_m \sin 2\omega t\end{aligned}$$

Dengan demikian rumus diatas menandakan bahwa garis lengkung w (P) berupa garis sinus dengan harga puncak :

$$E \cdot I = \frac{I_m \cdot E_m}{2}$$

dengan frekuensi putar $= 2 \omega t$

Karena sumbu nol dari garis lengkung w (P) terletak tepat pada sumbu waktu t , hal mana memberikan kesimpulan bahwa besarnya usaha dibagian positif sama besarnya dengan bagian negatif, atau dapat dikatakan bahwa kuat arus tukar itu tidak membangkitkan tenaga yang nyata dan juga tidak melakukan usaha yang nyata.

Dengan memperhatikan gambar diatas bahwa pada $\frac{1}{4}$ masa yang pertama yaitu $t = B$ maka generator mengeluarkan tenaga sebesar :

$$E \times I \quad (\text{dalam satuan watt}).$$

Dan melakukan usaha :

$$E \times I \times \frac{T}{4} \quad (\text{dalam satuan joule})$$

untuk $\frac{1}{4}$ masa berikutnya yaitu $t = B$ sampai $t = C$ maka generator diberi tenaga $E \times I$ watt dan menerima usaha sebesar

$$E \times I \times \frac{T}{4} \quad (\text{joule dari luar})$$

Penjelasan diatas juga berlaku, bila tegangan e mengikuti 90° dibelakang kuat arus i , karena itu dapat diambil suatu kesimpulan :

1. Arus bolak-balik yang mendahului atau mengikuti tegangan bolak-balik sebesar 90° , dinamakan kuat arus nol atau kuat arus buta disingkat dengan I_b .
2. Hasil perkalian dari kuat arus buta I_b dengan tegangan E dinamakan, tenaga buta yang diukur dengan watt buta atau Volt Amper (VA).
Jadi : $w_b (P) = I_b \times E$, dan usaha yang dilakukan oleh aliran buta adalah nol (0).



4.3. Daya Aktif atau daya nyata (Watt)

Untuk tenaga listrik nyata (wujud) yang dikeluarkan oleh arus bolak-balik yang mempunyai fasa φ° dengan tegangan bolak-balik yaitu :

$$\text{Tenaga Watt (W)} = E \times I \times \cos \varphi.$$

Dalam jumlah usaha nyata/wujud yang dilakukan oleh arus dan tegangan bolak-balik dengan fasa φ° yaitu sebesar :

$$A = E \times I \times t \times \cos \varphi \quad \text{dalam satuan joule}$$

$\cos \varphi$ (dibaca cosinus phi) dinamakan **factor kerja (Power factor)**.

4.4. Daya Reaktif. (VAR).

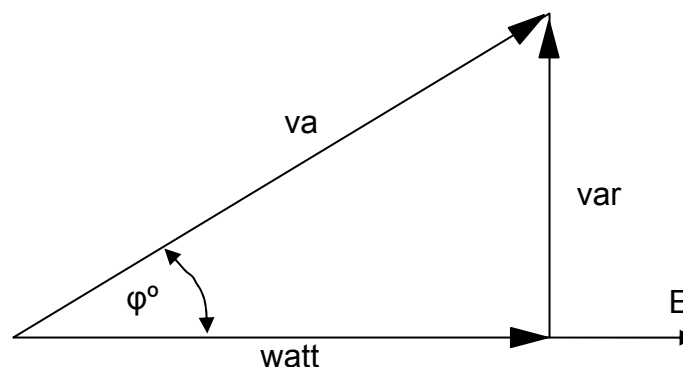
Adalah daya yang secara elektrik bisa diukur, Secara vektor merupakan penjumlahan dari vektor dari perkalian $E \times I$ dimana arus mengalir pada komponen resistor sehingga arah vektornya searah dengan tegangan (referensinya), dan vektor yang arah 90° terhadap tegangan, tergantung pada beban seperti induktif atau kapasitif. Biayanya daya yang searah dengan tegangan disebut dengan daya aktif sedangkan yang lain disebut dengan daya reaktif.

Untuk tenaga listrik reaktif yang dikeluarkan oleh arus bolak-balik yang mempunyai fasa φ° dengan tegangan bolak-balik yaitu :

$$\text{Tenaga reaktif (VAR)} = E \times I \times \sin \varphi.$$

4.5. Segi tiga daya

Dari hal tsb diatas maka daya listrik digambarkan sebagai segitiga siku, yang secara vektoris adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif dan sebagai resultan tenanya adalah daya semu atau daya buta.





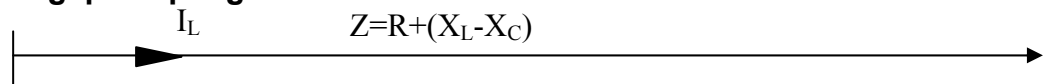
4.6. Rugi-rugi listrik.

Semua komponen listrik mengandung material yang mempunyai tahanan baik material konduktor, isolator maupun semi konduktor. Pada volume yang kecil hambatannya kecil, jika volumenya besar maka hambatannya menjadi besar sehingga dapat merugikan, hal ini sering disebut dengan rugi teknik (losses).

1. Rugi tahanan murni.
2. rugi dielektrik (media isolasi)

kerugian ini selalu berbubungan dengan besarnya arus karena beban, jadi semakin besar arus kerugian juga meningkat bahkan temperatur yang mempengaruhi nilai tahanan dan berkaitan langsung dengan kerugian pula.

Rugi pada penghantar

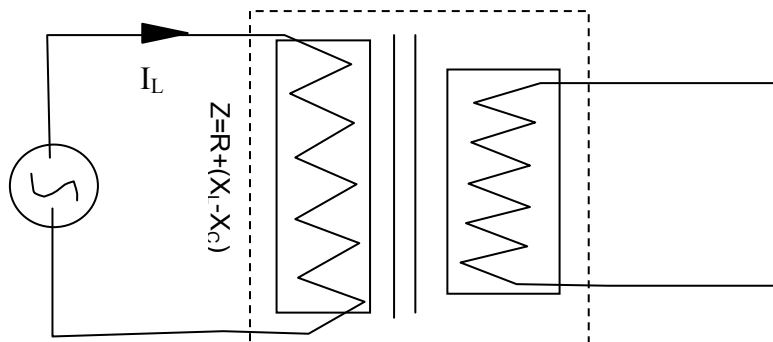


Drop tegangan pada konduktor

$$\Delta E = I_L \times Z \text{ (Volt)}$$

$$\begin{aligned} \text{Rugi daya} &= \Delta E \times I \text{ (watt)} \\ &= I^2 \times Z \text{ (watt)} \end{aligned}$$

Rugi pada Trafo



$$\begin{aligned} \text{Rugi daya} &= \Delta E \times I \text{ (watt)} \\ &= I^2 \times Z \text{ (watt)} \end{aligned}$$

Disebut rugi tembaga (cu), dan juga sebagai rugi beban kosong.

Rugi pada media.

Disebabkan media isolasi yang tidak baik sehingga arus bocor mengalir dan merupakan sebagai rugi-rugi listrik, perhitungan sama arus yang mengalir dikalikan besarnya tahanan dari media tsb.



V MACAM BESARAN LISTRIK DAN SATUANNYA.

5.1. BESARAN LISTRIK

Tabel.1. Macam-macam Besaran Listrik.

Besaran listrik	Satuan	Alat ukur
Arus	Amper	Ampere meter
Tegangan	Volt	Volt meter
Tahanan	Ohm	Ohm meter
Daya semu	VA	
Daya aktif	Watt	Watt meter
Daya reaktif	VAR	VAR meter
Energi aktif	Wh	KWh meter
Energi reaktif	VARh	KVARh meter
Faktor daya	-	Cos ϕ meter
Frekuensi	Hz	Frekuensi meter



5.2. SATUAN TURUNAN

Tabel.2. Satuan Turunan Besaran Listrik

Besaran Listrik	Satuan Dasar							
		10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9
Arus	A				mA	kA		
Tegangan	V				mVolt	kV		
Tahanan	Ω			$\mu\Omega$	m Ω	k Ω	M Ω	G Ω
Induktansi	H			μ H	mH			
Kapasitansi	F	nF	pF	μ F				
Daya semu	VA					kVA	MVA	
Daya aktif	Watt					KW	MW	GW
Daya reaktif	VAR					kVAR	MVAR	
Energi aktif	Wh					kWh	MWh	GWh
Energi reaktif	VARh					kVARh	MVARh	
Faktor daya	-	Tidak mempunyai satuan.						
Frekuensi	Hz					kHz	MHz	



DAFTAR PUSTAKA.

1. DASAR-DASAR TEKNIK LISTRIK (F.Suryatmo)
2. SWITCHGEAR AND PROTECTION (SUNIL S RAO)
3. TEGANGAN dan ARUS BOLAK-BALIK (SIEMENS)
4. RANGKAIAN ARUS BOLAK BALIK (SIEMENS)
5. INDUKSI dan INDUKSI-SENDIRI (SIEMENS)
6. ARUS PUTAR (SIEMENS)
7. Hand Book of ELECTRICAL ENGINERING (Academic's Hand books series)
8. STANDARD HANDBOOK FOR ELECTRICAL ENGINEERING (FINK & CARROLL)
9. PERALATAN TEGANGAN TINGGI (BONGAS L TOBING)
10. POWER SYSTEM ANALYSYS & STABILITY (SS VADHERA).
11. TEKNIK TEGANGAN TINGGI (Prof. Dr ARTONO ARISMUNANDAR).
12. SWITCHGEAR MANUAL (ABB Calor Emag).
13. diktat PROTEKSI dan PENGUKURAN (PLN KJB).
14. Pedoman Pemeliharaan (SE 032/PST/1984 dan SUPLEMEN).
15. A Text Book of ELECTRICAL TECHNOLOGI (BL THERAJA & AK THERAJA)