

ANALISIS SISTEM TENAGA LISTRIK

MOHON

ALAT KOMUNIKASI



**DI NON AKTIFKAN/
DIGETARKAN**

ANALISIS ARUS BOLAK-BALIK

Konsep Fasor

- ◆ Fasor adalah bilangan kompleks yang merepresentasikan besaran atau *magnitude dan fasa* fungsi sinusoidal dari waktu.
- ◆ Sebuah rangkaian yang dapat dijelaskan dengan menggunakan fasor disebut berada dalam kawasan frekuensi (*frequency domain*).

Contoh:

$V(t) = V_m \cos(\omega t + \theta)$ → dalam domain waktu

Notasi fasornya :

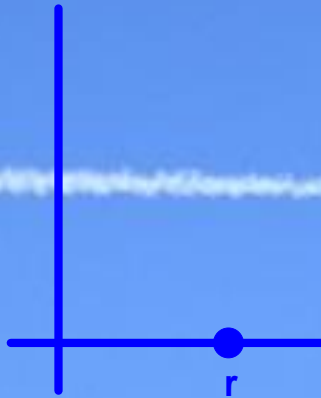
* Polar : $V = V_m \angle \theta$

* Rectangular : $V = V_m \cos \theta + j V_m \sin \theta$

* Eksponensial : $V = V_m e^{j\theta}$

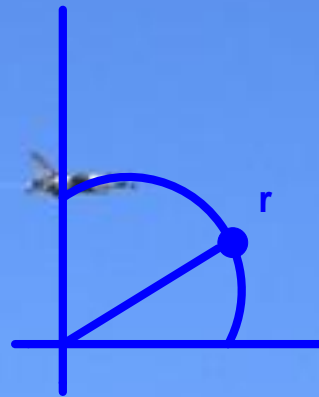
Diagram Fasor

$$f(t) = re^{j\omega t} = r \angle \omega t$$



$$t = 0$$

$$\omega t = 0$$



$$t = \frac{\pi}{4\omega}$$

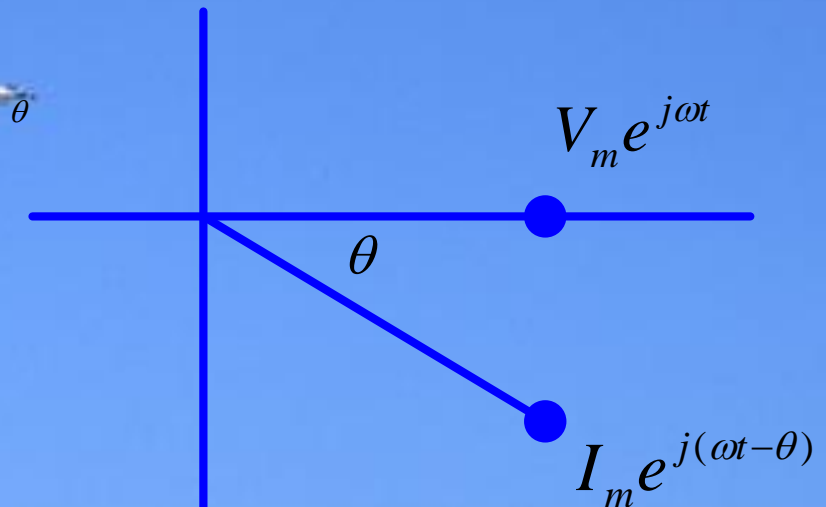
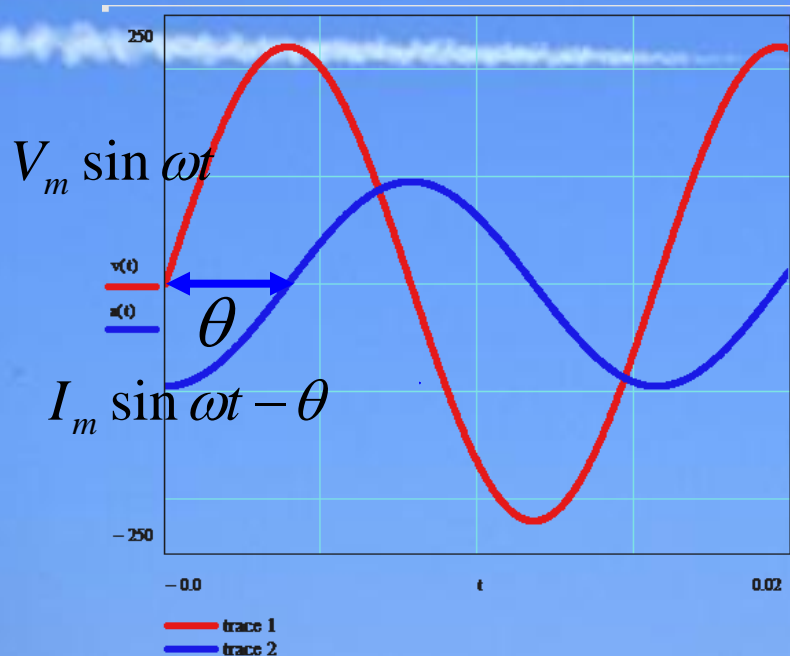
$$\omega t = \frac{\pi}{4}$$



$$t = \frac{\pi}{2\omega}$$

$$\omega t = \frac{\pi}{2}$$

Jika beda fasa antara tegangan dan arus sebesar θ , maka diagram fasornya sebagai berikut:



Bilangan Komplek

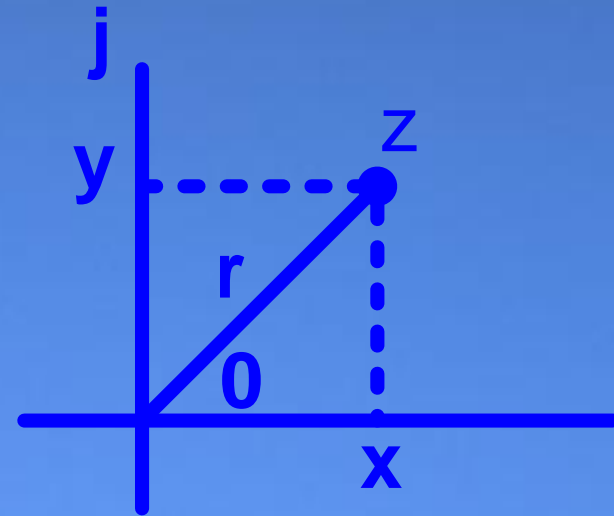
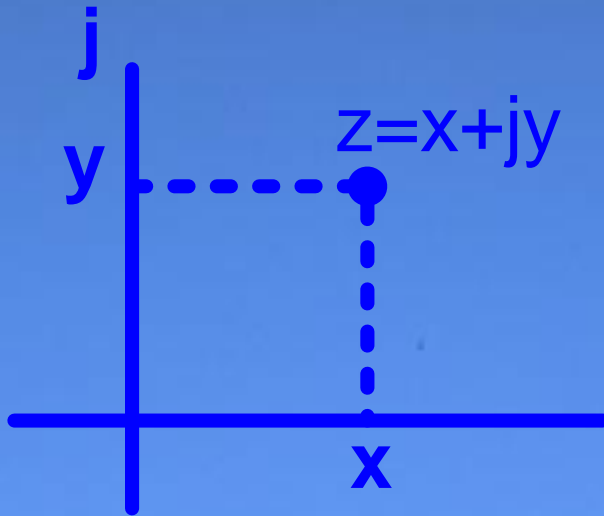
✿ Bilangan yang terdiri dari harga real (nyata) dan harga imajiner (khayal)

✿ Contoh :

$$z = x + jy$$

✿ Dimana $j = \sqrt{-1}$ atau $j^2 = -1$

✿ Grafik bilangan kompleks :



Bentuk-bentuk bilangan kompleks:

- ✿ Bentuk kartesian/rectangular

$$z = x + jy$$

✿ Bentuk polar

$$z = r \angle \theta$$

Dimana:

$$x = r \cos \theta \rightarrow r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$y = r \sin \theta \rightarrow \theta = \tan^{-1} \frac{y}{x}$$

✿ Bentuk eksponensial

$$z = r e^{j\theta} \rightarrow \text{dimana :}$$

$$x + jy = r \cos \theta + jr \sin \theta$$

$$= r(\cos \theta + j \sin \theta)$$

$$= r e^{j\theta}$$

Menggunakan formula Euler:

$$e^{j\omega t} = \cos \omega t + j \sin \omega t = \operatorname{Re} | e^{j\omega t} | + j \operatorname{Im} | e^{j\omega t} |$$

$$e^{-j\omega t} = \cos \omega t - j \sin \omega t = \operatorname{Re} | e^{-j\omega t} | - j \operatorname{Im} | e^{-j\omega t} |$$

 **Bentuk trigonometri**

$$z = r(\cos \theta + j \sin \theta)$$

✿ Beberapa operasi bilangan kompleks

✿ Konjugate bilangan kompleks

$$z \rightarrow z^*$$

$$z = x + jy \rightarrow z^* = x - jy$$

$$z = r \angle \theta \rightarrow z^* = r \angle -\theta$$

$$z = re^{j\theta} \rightarrow z^* = re^{-j\theta}$$

$$z = r(\cos \theta + j \sin \theta) \rightarrow z^* = r(\cos \theta - j \sin \theta)$$

✿ Jumlah dan selisih bilangan kompleks

$$z_1 = x_1 + jy_1$$

$$z_2 = x_2 + jy_2$$

$$z_1 + z_2 = x_1 + jy_1 + x_2 + jy_2 = x_1 + x_2 + jy_1 + jy_2$$

$$z_1 - z_2 = x_1 + jy_1 - (x_2 + jy_2) = (x_1 - x_2) + j(y_1 - y_2)$$

✿ Perkalian dan pembagian bilangan kompleks

$$z_1 = r_1 e^{j\theta_1}$$

$$z_2 = r_2 e^{j\theta_2}$$

$$z_1 \times z_2 = r_1 e^{j\theta_1} \times r_2 e^{j\theta_2} = r_1 r_2 e^{j(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{r_1 e^{j\theta_1}}{r_2 e^{j\theta_2}} = \frac{r_1}{r_2} e^{j(\theta_1 - \theta_2)}$$

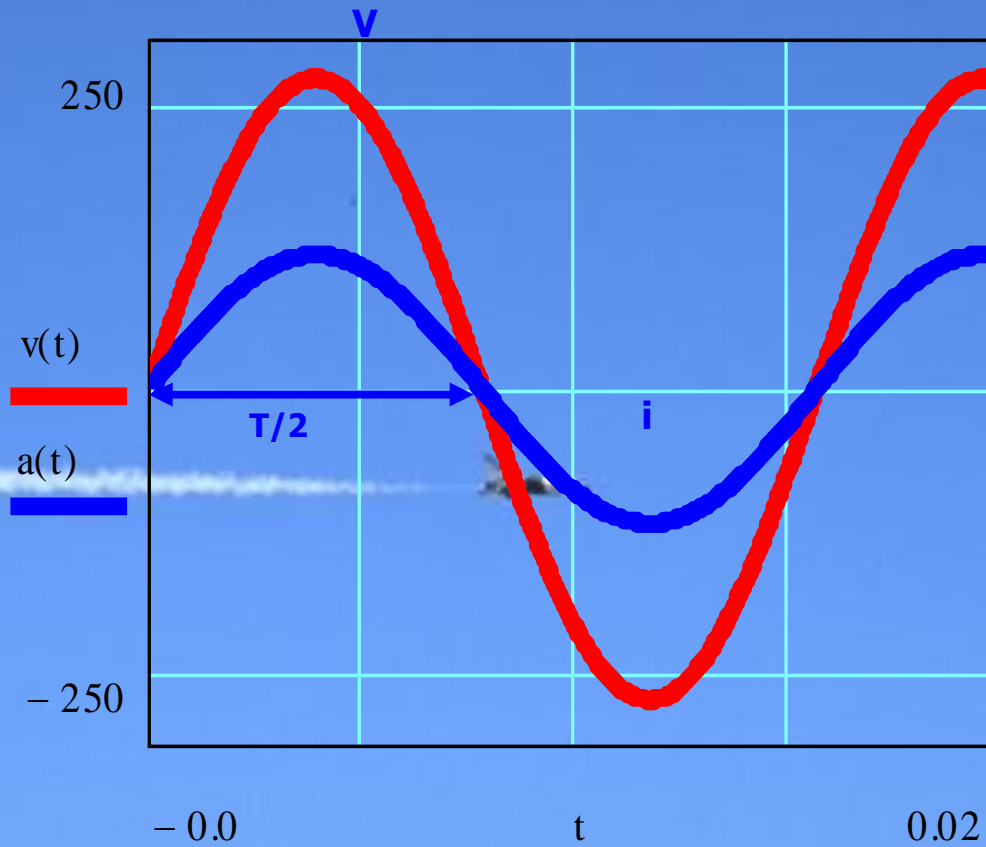
✿ Respon elemen terhadap gelombang sinusoidal

● Elemen R (resistansi):

$$i = I_m \sin \omega t \Rightarrow I = I_m \angle 0^\circ$$

$$V_R = RI_m \sin \omega t \Rightarrow V_R = RI_m \angle 0^\circ$$

Pada elemen R, arus dan tegangan mempunyai fasa yang sama, yang secara grafis dapat digambarkan:



- trace 1
- trace 2

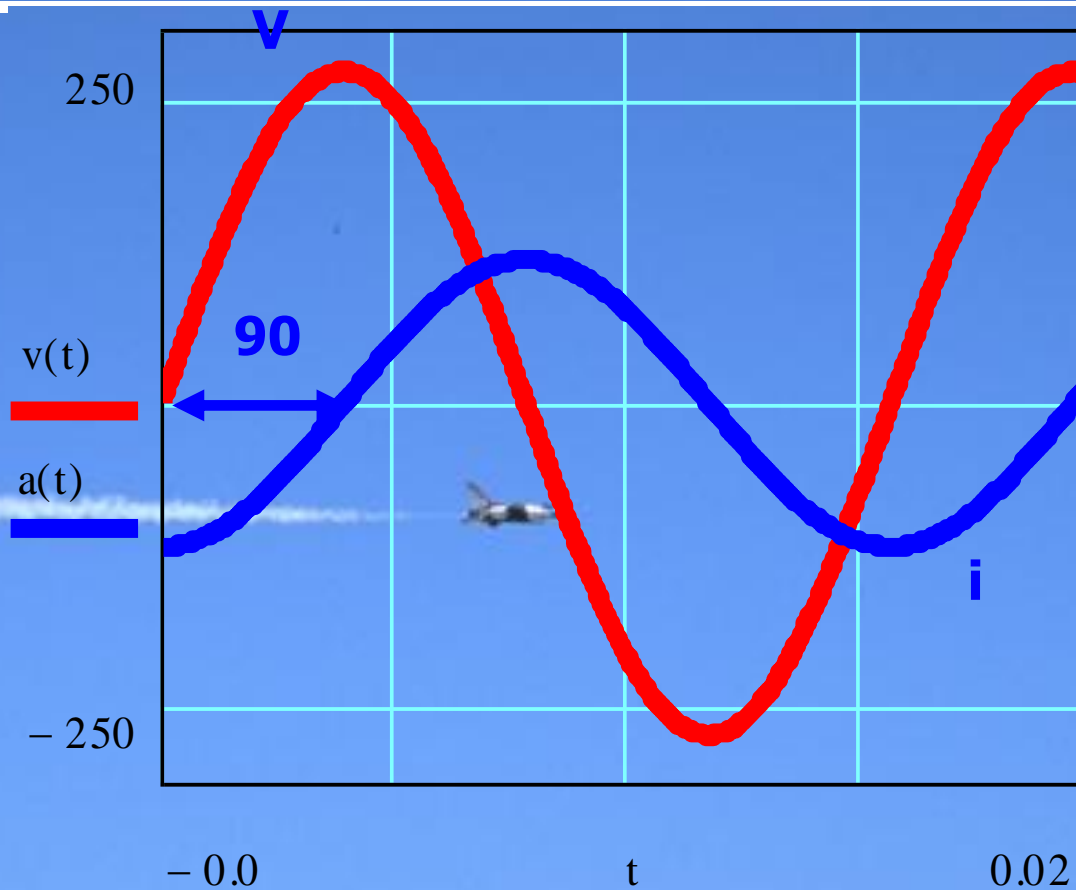
● Elemen L (Induktansi):

$$i = I_m \sin \omega t \Rightarrow I = I_m \angle 0^\circ$$

$$V_L = \omega L I_m \cos \omega t = \omega L I_m \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$\Rightarrow V_L = \omega L I_m \angle 90^\circ$$

Pada elemen L, arus tertinggal dibanding tegangan sebesar 90° (arus *lagging*), yang secara grafis dapat digambarkan:



— trace 1
— trace 2

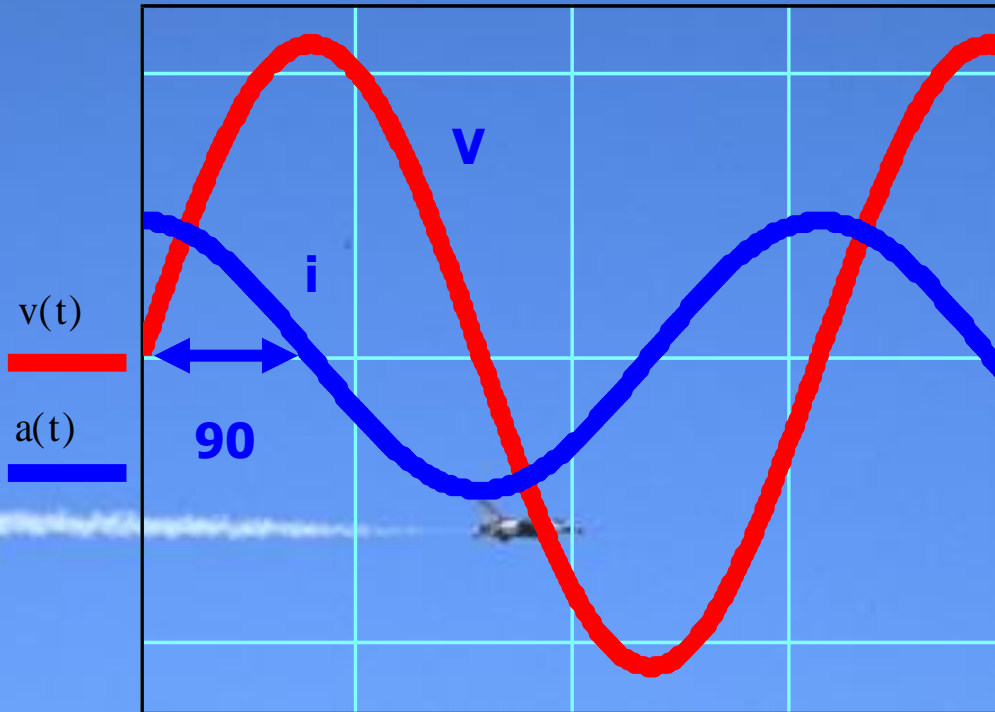
● Elemen C (Kapasitansi):

$$i = I_m \sin \omega t \Rightarrow I = I_m \angle 0^\circ$$

$$V_C = \frac{I_m}{\omega C} (-\cos \omega t) = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$\Rightarrow V_C = \frac{I_m}{\omega C} \angle -90^\circ$$

Pada elemen C, arus mendahului dibanding tegangan sebesar 90° (arus *leading*), yang secara grafis dapat digambarkan:



t

- trace 1
- trace 2

Pengertian Impedansi Dan Admitansi

- ✿ Impedansi adalah perbandingan fasor tegangan V dan fasor arus I pada suatu elemen kutub dua yang disuplai sinyal masukan gelombang sinusoidal dalam keadaan setimbang atau mantap atau tunak (*steady state*).
- ✿ Admitansi merupakan kebalikan dari impedansi.
- ✿ Impedansi dan admitansi bukan merupakan fasor.
- ✿ Impedansi dapat dihubungkan seri atau paralel seperti halnya pada resistansi.

➡ **Impedansi** $Z = V / I$ [Ohm]

$Z = R \pm jX$; R: resistansi; X: reaktansi

➡ **Admitansi** $Y = I / V$ [Mho]

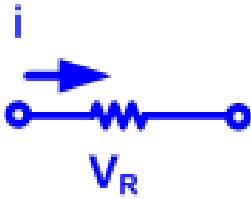
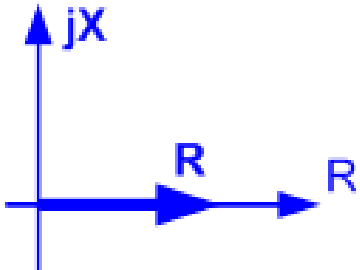
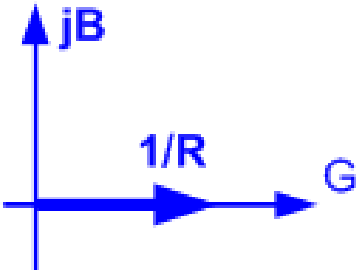
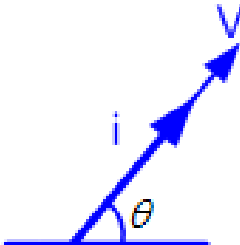
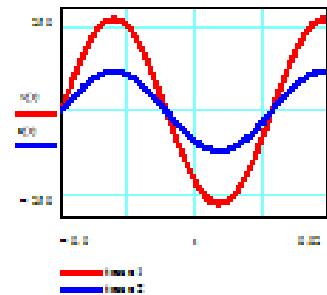
$Y = 1 / Z$

$Y = G \pm jB$; G: konduktansi;

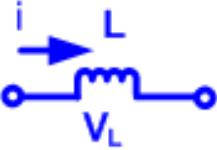
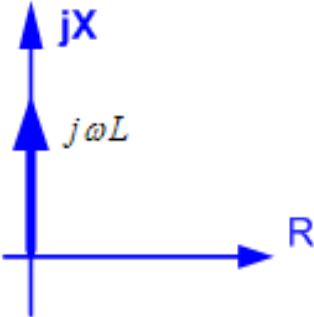
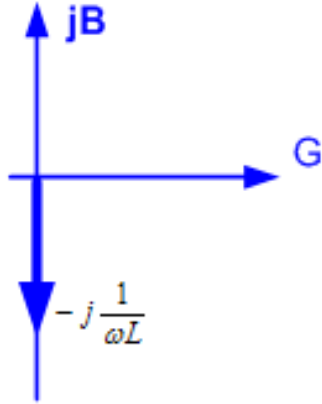
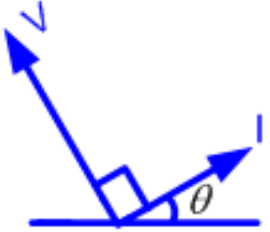
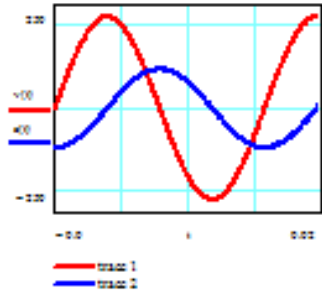
B: suseptansi

- ***Perhatian :*** Walaupun impedansi merupakan pernyataan yang berbentuk kompleks, akan tetapi impedansi bukanlah fasor. Impedansi dan fasor merupakan dua pengertian dari dua konsep yang berbeda.
 - ***Fasor adalah pernyataan dari sinyal sinus***
 - ***Impedansi adalah pernyataan elemen.***

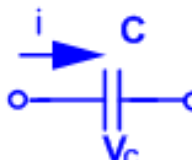
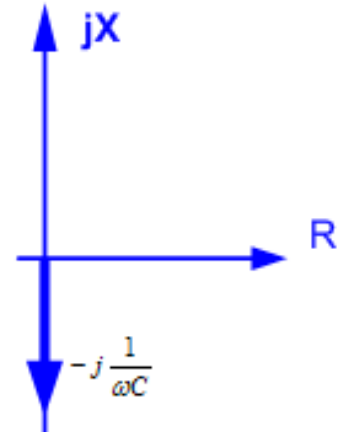
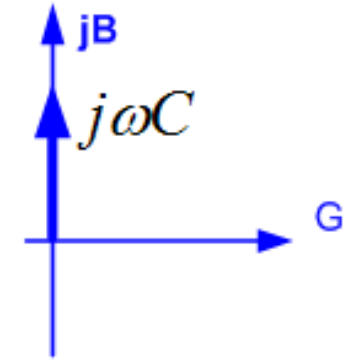
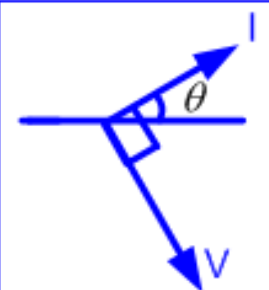
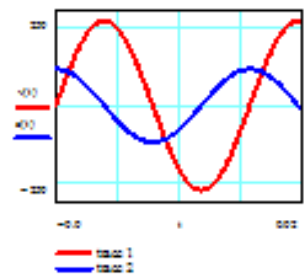
● Karakteristik elemen R (Resistansi):

		
Hubungan Phasor	Diagram Impedansi	Diagram Admitansi
$\frac{V}{I} = Z = R$ $(X = 0)$ $Y = \frac{1}{R}$ $B = 0$		
Diagram Phasor	Fungsi Waktu	Bentuk Gelombang
	$i(t) = I_M \cos(\omega t + \theta)$ $v(t) = V_M \cos(\omega t + \theta)$	

Karakteristik elemen L (Induktansi):

		
Hubungan Phasor	Diagram Impedansi	Diagram Admitansi
$\frac{V}{I} = Z = j\omega L$ $(R = 0)$ $(X = \omega L)$ $Y = -j\frac{1}{\omega L}$ $G = 0$ $B = -j\frac{1}{\omega L}$		
Diagram Phasor	Fungsi Waktu	Bentuk Gelombang
	$i(t) = I_M \cos(\omega t + \theta)$ $v(t) = V_M \cos(\omega t + \theta) + \frac{\pi}{2}$	

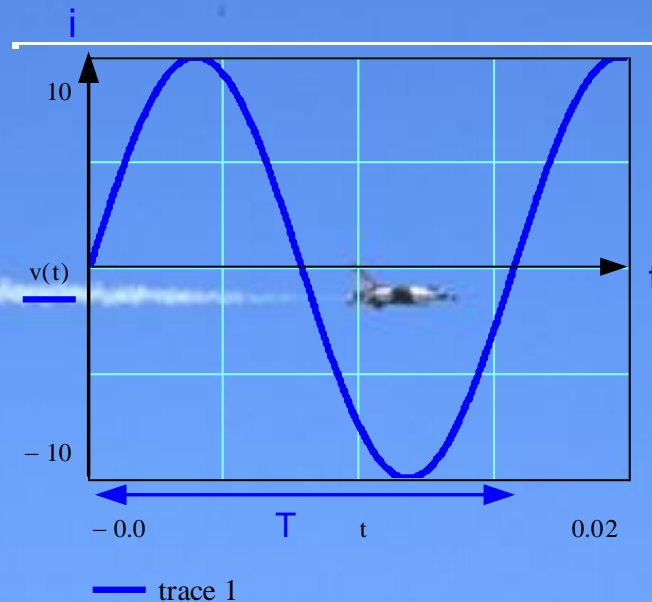
Karakteristik elemen C (Kapasitansi):

		
Hubungan Phasor	Diagram Impedansi	Diagram Admitansi
$\frac{V}{I} = Z = -j \frac{1}{\omega C}$ $(R = 0)$ $(X = -j \frac{1}{\omega C})$ $Y = -j \omega C$ $G = 0$ $B = \omega C$		
Diagram Phasor	Fungsi Waktu	Bentuk Gelombang
	$i(t) = I_M \cos(\omega t + \theta)$ $v(t) = V_M \cos(\omega t + \theta) - \frac{\pi}{2}$	

Fungsi Periodik

Suatu fungsi bersifat periodik jika memenuhi: $f(t+T) = f(t)$, di mana adalah perioda dalam detik atau $T = 1/f$ atau $T = 2\pi/\omega$.

Ilustrasi:



$$i(t) = 10 \cos \omega(t + T) = 10 \cos \omega \left(t + \frac{2\pi}{\omega} \right)$$

$$i(t) = 10 \cos \omega(t + 2\pi) = 10 \cos \omega t$$

Nilai Maksimum

- ◆ Nilai maksimum ditulis sebagai $V_{maks} = V_m$ atau bila arus $I_{maks} = I_m$.
- ◆ Dalam arus bolak balik terdapat dua nilai maksimum, yaitu maksimum positif dan maksimum negatif.
- ◆ Bila dua nilai maksimum tersebut dijumlahkan disebut sebagai nilai puncak-ke-puncak (*peak-to-peak*).

Nilai Efektif (*root means square/rms*)

Nilai tegangan/ arus bolak-balik (ac) yang dapat menghasilkan panas sama besar dengan panas yang dihasilkan oleh tegangan/ arus searah (dc). Secara matematis dapat dinyatakan:

$$I_{eff} = I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

$$V_{eff} = V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

Nilai Sesaat

Nilai sesaat tegangan atau arus adalah nilai tegangan atau arus pada sebarang waktu peninjauan. Hal ini mengakibatkan munculnya daya sesaat: $p(t) = v(t) \times i(t)$.

Nilai Rata-Rata

Nilai rata-rata suatu arus $i(t)$ dalam satu perioda merupakan arus konstan I_{av} , yang dalam perioda itu dapat memindahkan muatan Q yang sama.

Dengan cara yang sama didapatkan :

$$V_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

Berdasarkan penyederhanaan persamaan matematis, diperoleh bahwa:

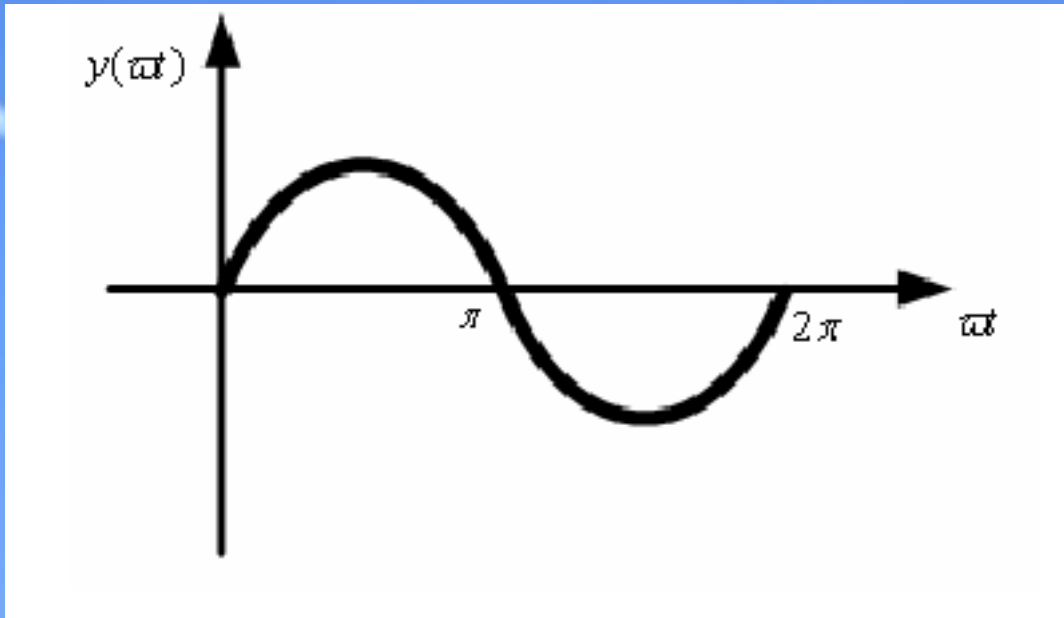
$$V_{avg} = 0,637 V_{mak} = \frac{2}{\pi} V_{mak}$$

$$V_{rms} = 0,707 V_{mak} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_{mak}$$

☀ Contoh 1:

Tentukan harga rata-rata dan efektif dari fungsi:

$$y(t) = A \sin \omega t$$



✦ Penyelesaian Contoh 1:

Harga rata-rata:

$$Y_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} A \sin \omega t dt = \frac{A}{2\pi} - \cos \omega t \Big|_0^{2\pi}$$
$$= \frac{A}{2\pi} [-\cos 2\pi - (-\cos 0)] = \frac{A}{2\pi} [-1 + 1] = 0$$

Harga efektif:

$$Y_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} A^2 \sin^2 \omega t d(\omega t)} = \sqrt{\frac{A^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right] d(\omega t)}$$

$$= \sqrt{\frac{A^2}{\pi} \left[\frac{1}{2} \omega t \Big|_0^\pi - \frac{\cos 2\omega t}{4} \Big|_0^\pi \right]} = \sqrt{\frac{A^2}{\pi} \left[\frac{1}{2} (\pi - 0) - \left(\frac{\cos 2 \cdot \pi}{4} - \frac{\cos 2 \cdot 0}{4} \right) \right]}$$

$$= \sqrt{\frac{A^2}{\pi} \left[\frac{\pi}{2} - (1 - 1) \right]} = \sqrt{\frac{A^2}{2}} = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

☀ Contoh 2:

Sebuah sumber tegangan dan arus dinyatakan sebagai fungsi waktu, yang dinyatakan sebagai:

$$v = 141,4 \cos (\omega t + 30^\circ); \text{ dan } i = 7,07 \cos \omega t.$$

Notasi yang menggunakan huruf kecil menunjukkan nilai sesaat (*instantaneous*).

Tentukan nilai maksimumnya dan nilai efektifnya.

☀ Penyelesaian contoh 2:

$$V_{\text{maks}} = 141,2$$

$$I_{\text{maks}} = 7,07 \text{ A.}$$

$$V_{eff}(rms) = \frac{141,42}{\sqrt{2}} = 100 \text{ V}$$

$$I_{eff}(rms) = \frac{7,07}{\sqrt{2}} = 5 \text{ A}$$

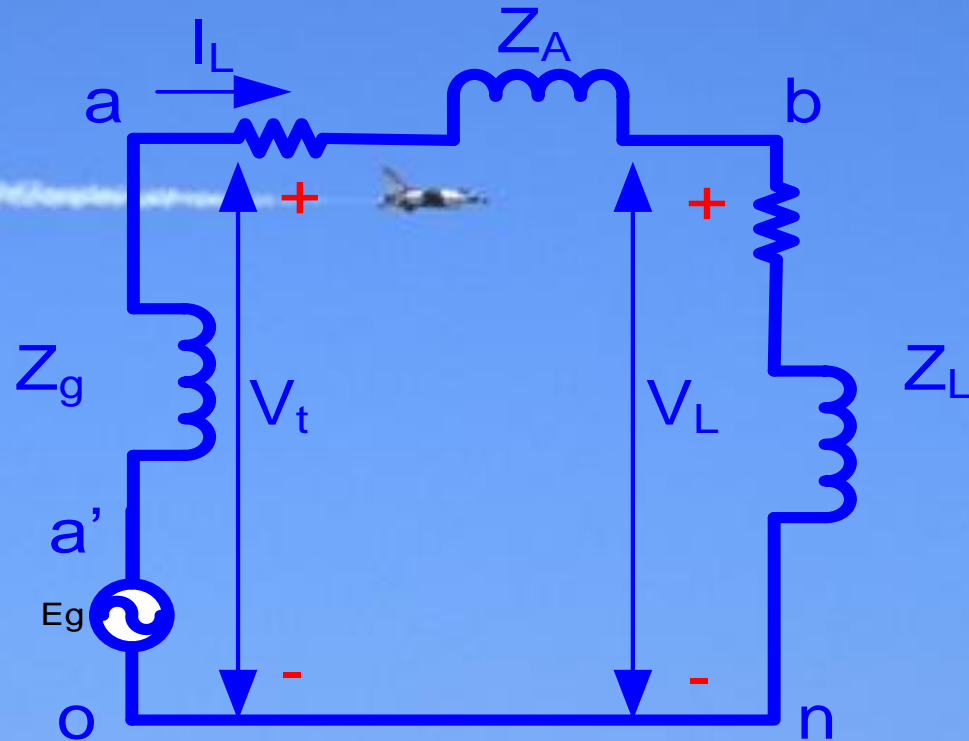
Atau bisa ditulis:

$$|V| = 100 \text{ V} \quad \text{dan} \quad |I| = 5 \text{ A}$$

Nilai efektif merupakan nilai yang terbaca pada voltmeter dan amperemeter.

Pemberian notasi *subscript* tunggal:

Misal sebuah rangkaian ditunjukkan seperti pada gambar di bawah ini:



- Gambar tersebut merupakan rangkaian AC dengan emf yang digambarkan berbentuk lingkaran.
- E_g adalah emf, dan tegangan antara titik a dan o dinotasikan sebagai V_t .
- Arus yang mengalir adalah I_L dan tegangan pada Z_L adalah V_L .
- Dalam rangkaian ac terminal yang ditandai $+$ adalah positif terhadap terminal yang ditandai $-$ untuk $\frac{1}{2}$ cycle tegangan dan negative selama $\frac{1}{2}$ cycle berikutnya.

- ✿ Arus yang mengalir pada rangkaian di atas adalah:

$$I_L = \frac{V_t - V_L}{Z_A}$$

$$V_t = E_g - I_L \cdot Z_g$$

- ✿ Tegangan sesaat v_a dan tegangan phasor V_a menyatakan tegangan pada simpul a terhadap simpul referensi o dan v_a adalah positif jika a berada pada potensial yang lebih tinggi dari o. Jadi:

$$V_a = V_t$$

$$V_a = V_t$$

$$V_b = V_L$$

$$V_b = V_L$$

Pemberian notasi *subscript* ganda:

- ✿ Penggunaan tanda polaritas untuk tegangan dan arah panah untuk arus pada sebuah rangkaian dapat dihindari dengan notasi *subscript* ganda.
- ✿ Dalam menggambarkan suatu arus, urutan *subscript* yang ditambahkan pada lambang arus menjelaskan arah dari aliran arus, jika arus itu dianggap positif.
- ✿ Pada gambar di atas, panah yang menunjuk dari a ke b memberikan arah positif untuk arus I_L yang tergambar dengan panah tersebut.

- ✿ Arus sesaat i_L positif jika arus tersebut mengalir dari a ke b, dalam notasi *subscript* ganda arus ini dinyatakan dengan i_{ab} .
- ✿ Arus i_{ab} adalah sama dengan arus $-i_{ba}$.
- ✿ Notasi *subscript* ganda pada tegangan menunjukkan titik-titik dari rangkaian yang diantaranya terdapat tegangan tersebut.
- ✿ *Subscript* pertama menunjukkan tegangan dari titik tersebut terhadap tegangan yang dinyatakan oleh *subscript* yang kedua.

- ✿ Pada gambar di atas, tegangan sesaat v_{ab} pada elemen Z_A merupakan tegangan pada titik a terhadap titik b.
- ✿ v_{ab} adalah positif selama $\frac{1}{2}$ cycle ketika berada pada potensial yang lebih tinggi dari b.
- ✿ Tegangan phasor V_{ab} dapat ditentukan dengan:

$$V_{ab} = I_{ab} \times Z_A$$

$$V_{ab} = V_{ba} \angle 180^\circ = -V_{ba}$$

- ✿ Hubungan antara notasi *subscript* tunggal dan ganda untuk rangkaian di atas dapat disimpulkan:

$$V_t = V_a = V_{ao}$$

$$V_L = V_b = V_{bo}$$

$$I_L = I_{ab}$$

- ✿ Dalam penulisan hukum tegangan Kirchoff, urutan dari *subscript-subscript* sesuai dengan urutan titik-titik yang dijumpai mengelilingi lingkaran tertutup pada sebuah rangkaian.

✿ Pada rangkaian di atas:

$$V_{oa} + V_{ab} + V_{ba} = 0$$

✿ Titik-titik n dan o sebenarnya sama dalam rangkaian di atas, dengan demikian:

$$-V_{ao} + I_{ab} \times Z_A + V_{bn} = 0, \text{ dan}$$

$$I_L = \frac{V_t - V_L}{Z_A}$$

Daya pada rangkaian AC berfasa tunggal

- ✿ Daya dalam watt yang diserap suatu beban pada setiap saat adalah sama dengan jatuh tegangan (*voltage drop*) pada beban tersebut dalam volt dikalikan dengan arus yang melalui beban dalam ampere.
- ✿ Bila terminal dari sebuah beban digambarkan sebagai titik a dan n, serta tegangan dan arus dinyatakan dengan:

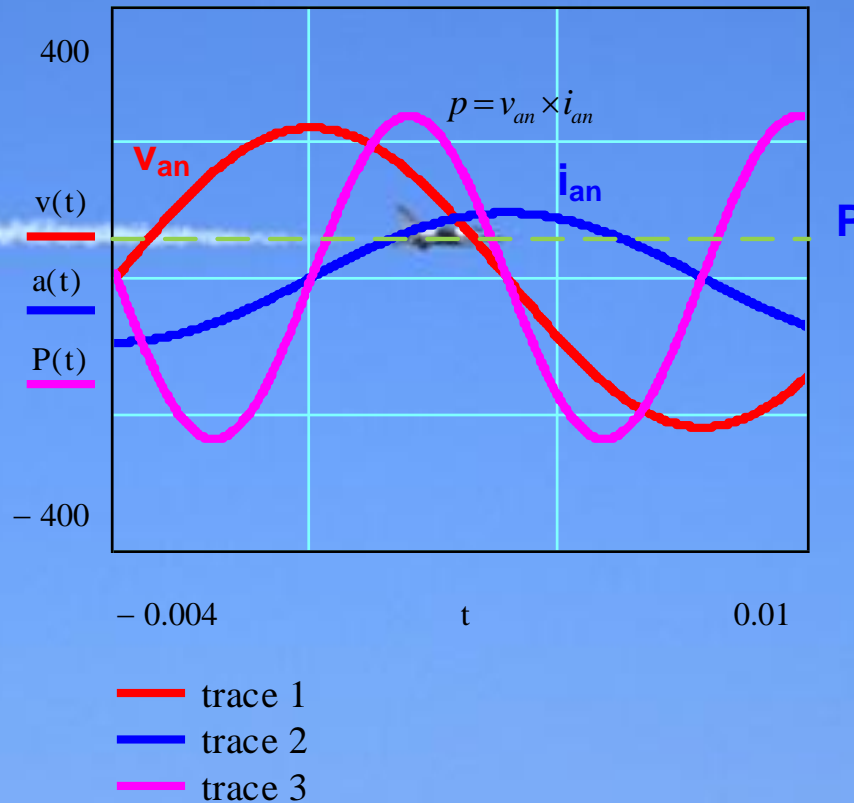
$$v_{an} = V_{maks} \times \cos \omega t$$

$$I_{an} = I_{maks} \times \cos \omega t - \theta$$

Maka daya sesaat adalah:

$$p = v_{an} \times I_{maks} \times \cos \omega t \cos \omega t - \theta$$

✿ Gambar arus, tegangan dan daya terhadap waktu dapat divisualkan seperti gambar berikut ini:



- ☀ Sudut θ pada persamaan diatas adalah positif untuk arus yang tertinggal (*lagging*) terhadap tegangan dan negatif untuk arus yang mendahului (*leading*) tegangan.
- ☀ Suatu nilai p yang positif menunjukkan kecepatan berubah-ubahnya energi yang diserap oleh bagian sistem diantara titik a dan n.
- ☀ Daya sesaat adalah positif jika v_{an} dan i_{an} keduanya positif dan akan menjadi negatif jika v_{an} dan i_{an} berlawanan tandanya.

- ✿ Daya positif yang dihitung dari $v_{an} \times i_{an}$ terjadi bila arus mengalir searah dengan jatuh tegangan (drop tegangan) dan sama dengan kecepatan berpindahannya energi ke beban.
- ✿ Daya negatif yang dihitung dari $v_{an} \times i_{an}$ terjadi bila arus mengalir searah dengan kenaikan tegangan (*rise voltage*) yang berarti energi sedang berpindah dari beban ke sistem, dimana beban tersebut dihubungkan.

- ✿ Bila v_{an} dan i_{an} sefasa, seperti beban pada resistif murni, daya sesaat tidak akan pernah negatif.
- ✿ Bila arus dan tegangan berbeda fasa sebesar 90° , seperti pada elemen rangkaian ideal induktif murni atau kapasitif murni, daya sesaat akan mempunyai $\frac{1}{2}$ putaran positif dan $\frac{1}{2}$ putaran negatif yang sama besar, sehingga nilai rata-ratanya adalah nol.

- ✿ Dengan menggunakan kesamaan trigonometri persamaan di bawah ini dapat dirubah menjadi:

$$p = v_{an} \times I_{maks} \times \cos \omega t \cos(\omega t - \theta)$$

$$p = \frac{V_{maks} \cdot I_{maks} \cdot \cos \theta (1 + \cos 2\omega t)}{2} + \frac{V_{maks} \cdot I_{maks} \cdot \sin \theta \sin 2\omega t}{2}$$

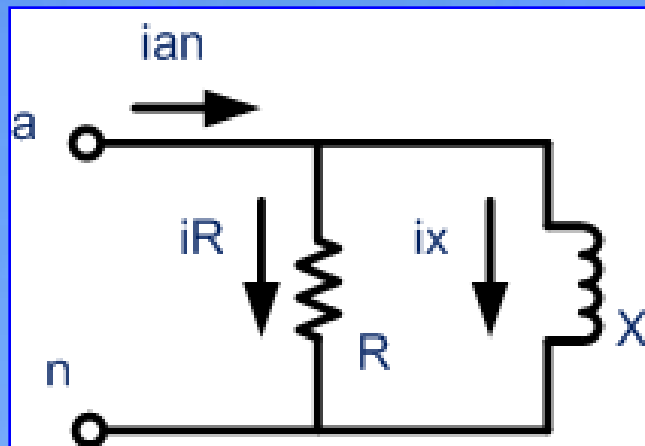
✿ Dimana:

$$p = \frac{V_{maks} \cdot I_{maks}}{2}$$

Dapat diganti dengan perkalian dari:

$$|V_{an}| \cdot |I_{an}| \quad \text{atau} \quad |V| \cdot |I|$$

- Cara lain untuk melihat persamaan daya sesaat adalah dengan memperhatikan komponen arus yang sefasa dengan V_{an} dan yang berbeda fasa 90° dengan V_{an} .
- Perhatikan gambar berikut:



Rangkaian Paralel

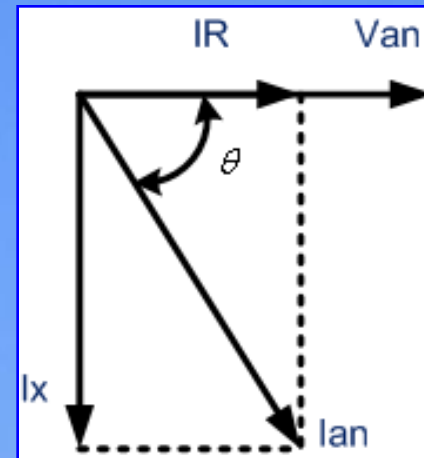


Diagram Phasor

- Komponen dari i_{an} yang sefasa dengan v_{an} adalah i_R , dan terlihat bahwa $|I_R| = |I_{an}| \cos \theta$
- Jika nilai maksimum dari i_{an} adalah I_{maks} , maka nilai maksimum dari i_R adalah $I_{maks} \cos \theta$.
- Arus sesaat i_R harus sefasa dengan v_{an} .

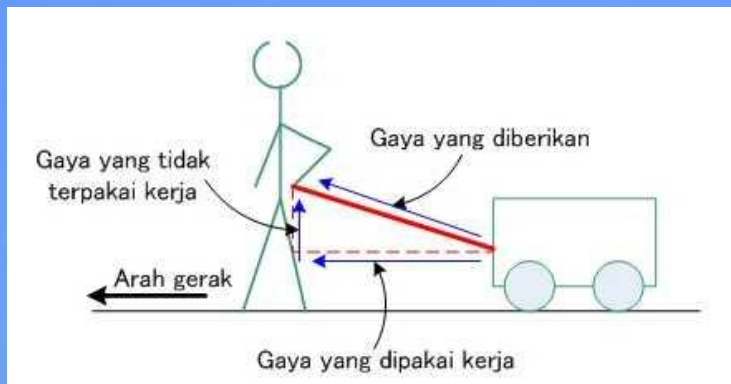
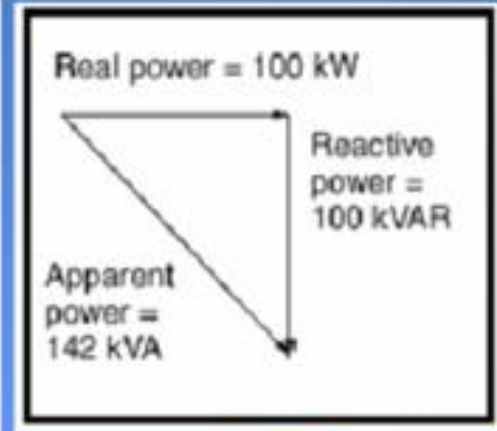
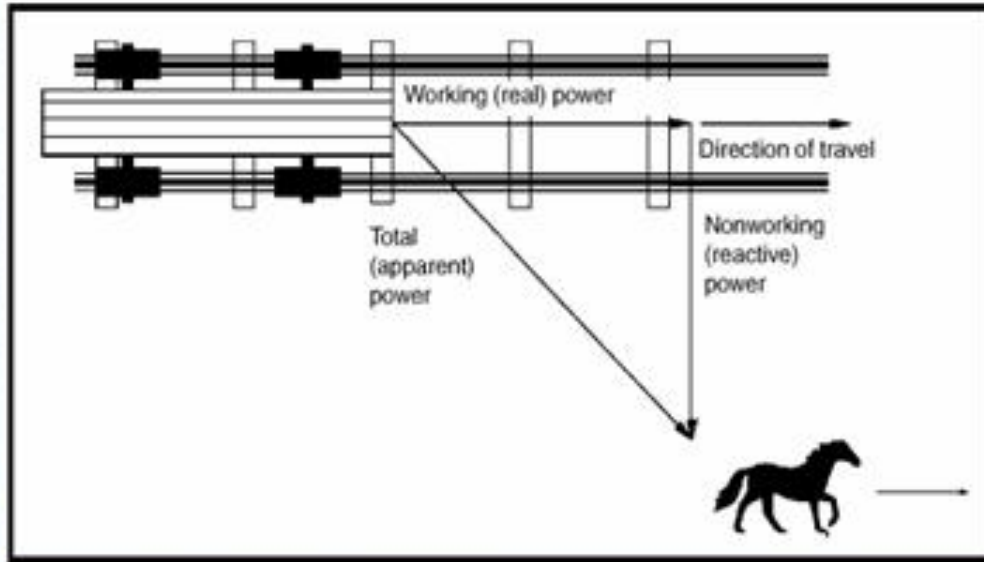
Power Factor

- ✿ Faktor daya adalah perbandingan antara true power (kW) dengan apparent power (kVA)
- ✿ True power atau daya nyata adalah daya yang menghasilkan kerja,
- ✿ Apparent power atau daya semu adalah daya yang dihitung berdasarkan arus semu/reaktif

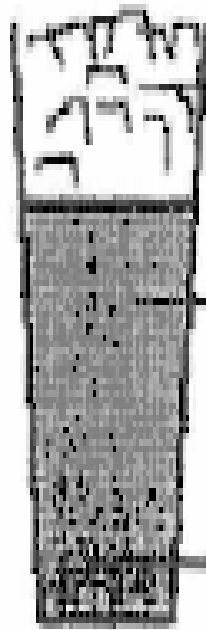
Faktor daya : jika kurang dari 0,85 dikenakan *finalty* PLN

Ilustrasi

What is Power Factor?



Real power = 100 kW
and
Apparent power = 142 kVA
then
Power Factor = $100/142 = 0.70$ or 70%.



busa = kvar

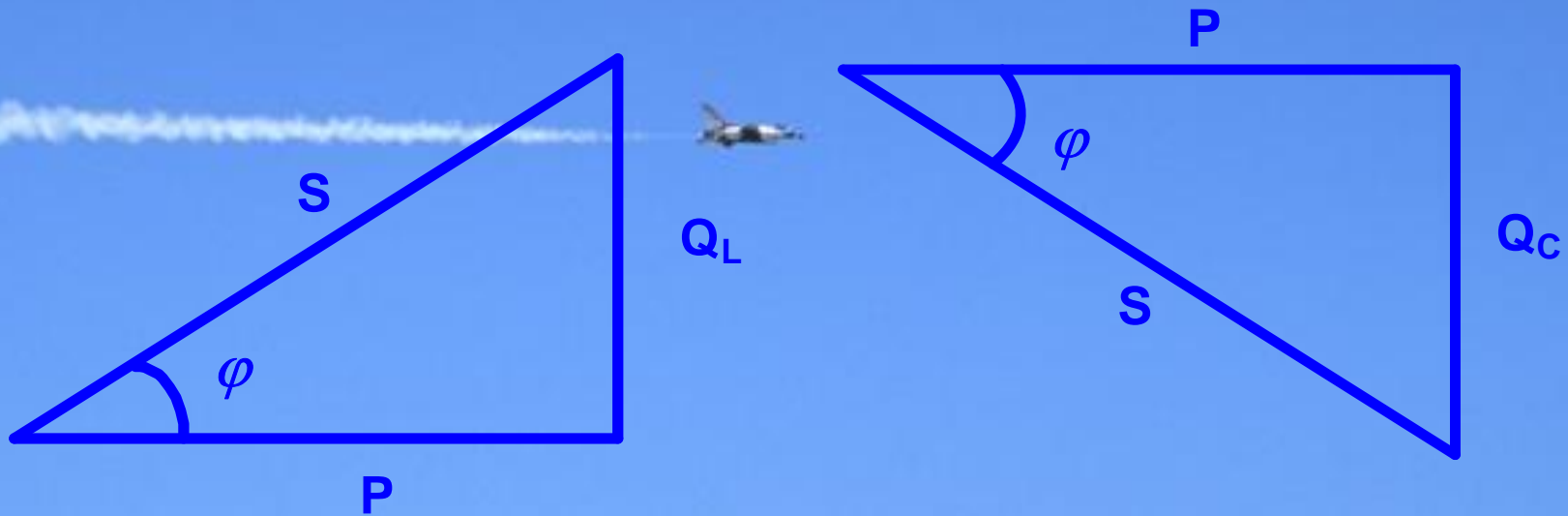
bir/cair = kw

ampas/
harmonik

KVA = daya langganan PLN

$$\text{Power Factor} = \text{PF} = \frac{\text{KW}}{\text{KVA}}$$

Secara teoritis, konsep power factor bisa dilustrasikan dengan metoda grafis segitiga daya.



Berdasarkan gambar tersebut, dapat dituliskan persamaan:

Daya semu (S) = V x I	<i>Volt-Ampere (VA)</i>
Daya nyata (P) = V x I x cos φ	<i>Watt (W)</i>
Daya reaktif (Q) = V x I x sin φ	<i>Volt-Ampere reaktif (Var)</i>

Faktor daya mempunyai harga yang sama besarnya dengan nilai $\cos \varphi^*$)

- Bila arus mendahului tegangan, jaringan bersifat kapasitif sudut φ positif dan $1 > \cos \varphi \geq 0$
- Bila arus mengikuti tegangan, jaringan bersifat induktif sudut φ negatif dan $0 > \cos \varphi \geq -1$
- Bila arus dan tegangan sefasa (berhimpit), jaringan bersifat resistif murni $\cos \Phi = 1$

*) Untuk sistem tenaga dengan operasi beban linier

Kerugian faktor daya yang rendah:

- **Peralatan PLN beroperasi (generator, transformator, transmisi, distribusi dsb) dalam kondisi tidak efisien.**
- **Susut energi dan susut tegangan lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi operasi dalam faktor daya yang lebih tinggi.**
- **KWh jual menjadi rendah**
- **Pelanggan tidak dapat menggunakan daya tersambung secara optimal.**

Sebab-sebab faktor daya rendah

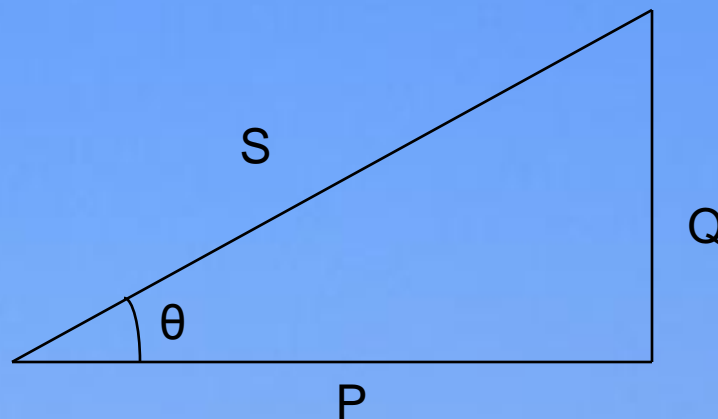
- Semua motor arus bolak – balik (kecuali motor sinkron dengan eksitasi lebih dan beberapa motor komutator), transformator, sebagian besar lampu TL, tanur – tanur busur beroperasi dengan faktor daya terbelakang (induktif)
- Motor dioperasikan dengan beban yang rendah dibandingkan dengan kapasitasnya. Faktor daya semakin rendah bila beban rendah dari nominalnya. Misalnya beban penuh $\cos \varphi = 0,85$, beban 75 % hanya 0,8, beban 50 % hanya 0,70, beban 25 % hanya 0,1
- Perbaiki kerusakan motor yang tidak sempurna. Misalnya celah udara antara rotor dan stator yang bertambah akan memperkecil faktor daya

Perbaiki Faktor Daya

- ✿ Memasang kondensor sinkron (motor sinkron dengan penguatan lebih beroperasi tanpa beban)
- ✿ Memasang kapasitor statis

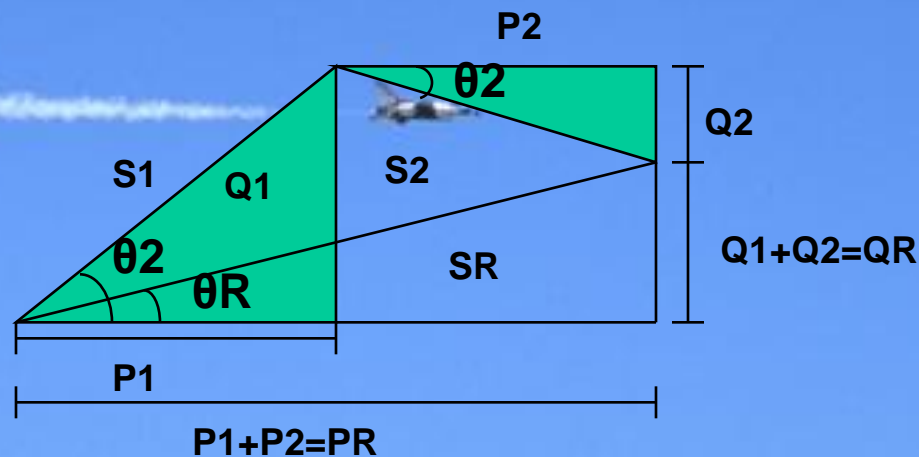
SEGITIGA DAYA

- Segitiga daya dapat digambar untuk suatu beban induktif dan beban kapasitif serta untuk beberapa beban yang dihubungkan paralel
- P total adalah jumlah daya rata-rata dari semua beban, yang harus digambar pada sumbu mendatar untuk suatu analisis grafis.



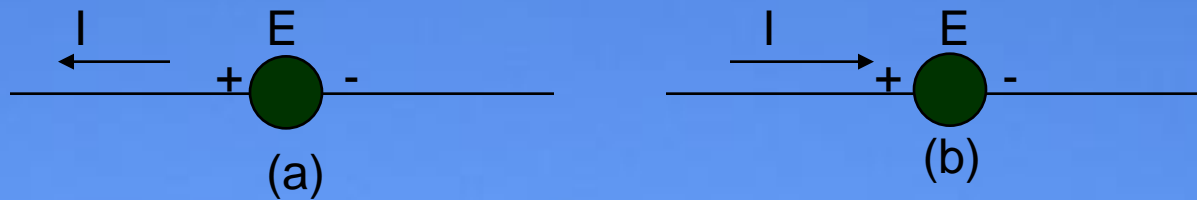
Gambar 2.7. Segitiga daya untuk suatu beban induktif

- Hubungan antara P , Q dan tegangan rel V , atau tegangan yang dibangkitkan E , dengan tanda-tanda dari P dan Q adalah penting dalam pembahasan aliran daya dalam suatu sistem.



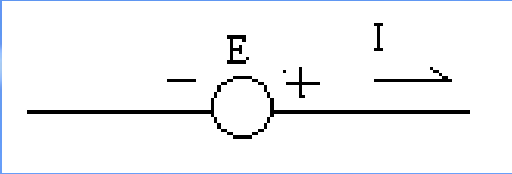
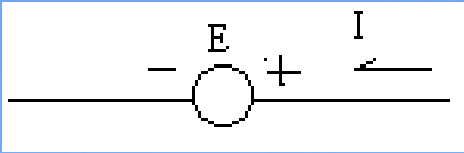
Segitiga daya untuk beban kombinasi.
Perhatikan Q_2 adalah negative.

- Gambar dibawah memperlihatkan sebuah sumber tegangan ideal (besarnya konstan, frekuensinya konstan dan impedansinya nol) untuk suatu sistem ac.
- Seperti biasa, tanda-tanda polaritas menunjukkan terminal positif selama setengah cycle dimana tegangan sesaat adalah positif. Sudah tentu terminal yang ditandai positif tersebut sebenarnya bertegangan negative selama setengah cycle berikutnya dimana tegangan sesaat adalah negative



Gambar Representasi rangkaian ac dari sebuah emf dan arus yang melukiskan tanda-tanda polaritas

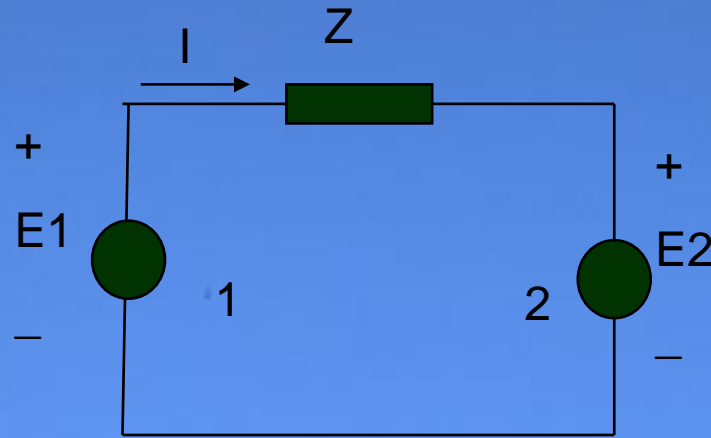
Tabel Arah Aliran Daya

Diagram rangkaian	Dihitung dari EI^*
<p data-bbox="131 472 658 572">Diperkirakan keadaan generator</p> 	<p data-bbox="838 472 1528 515">Jika $P +$, emf mensuplai daya</p> <p data-bbox="838 529 1508 572">Jika $P -$, emf menyerap daya</p> <p data-bbox="838 586 1798 686">Jika $Q +$, emf mensuplai daya reaktif (I lags E)</p> <p data-bbox="838 701 1798 801">Jika $Q -$, emf menyerap daya reaktif (I leads E)</p>
<p data-bbox="131 872 803 972">Diperkirakan keadaan motor</p> 	<p data-bbox="838 872 1528 915">Jika $P +$, emf menyerap daya</p> <p data-bbox="838 929 1508 972">Jika $P -$, emf mensuplai daya</p> <p data-bbox="838 986 1798 1086">Jika $Q +$, emf menyerap daya reaktif (I lags E)</p> <p data-bbox="838 1100 1798 1200">Jika $Q -$, emf mensuplai daya reaktif (I leads E)</p>

Contoh :

Dua buah sumber tegangan ideal berupa mesin 1 dan 2 dihubungkan seperti terlihat pada gambar di bawah ini, jika $E_1 = 100 \angle 0^\circ \text{ V}$, dan $E_2 = 100 \angle 30^\circ \text{ V}$ dan $Z = 0 + j5 \Omega$, tentukan:

- Apakah masing-masing mesin membangkitkan atau menyerap daya dan berapa besarnya daya tersebut,
- Apakah masing-masing mesin menerima atau mensuplai daya reaktif dan berapa besarnya daya tersebut, dan
- P dan Q yang diserap oleh impedansi.



Sumber-sumber tegangan ideal yang dihubungkan melalui impedansi Z .

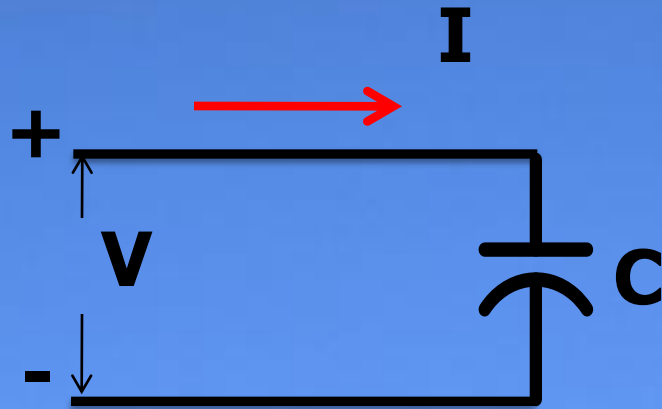
Jawaban :

- $I = \frac{E_1 - E_2}{Z} = \frac{100 + j0 - (86,6 + j50)}{j5}$
 $= \frac{13,4 - j50}{j5} = -10 - j2,68 = 10,35 \angle 195^\circ$
- $E_1 I^* = 100 (-10 + j2,68) = -1000 + j268$
- $E_2 I^* = (86,6 + j50)(-10 + j2,68)$
 $= -866 + j232 - j500 - 134 = -1000 - j268$
- $|I|^2 X = 10,252 \times 5 = 536 \text{ var}$

Jadi :

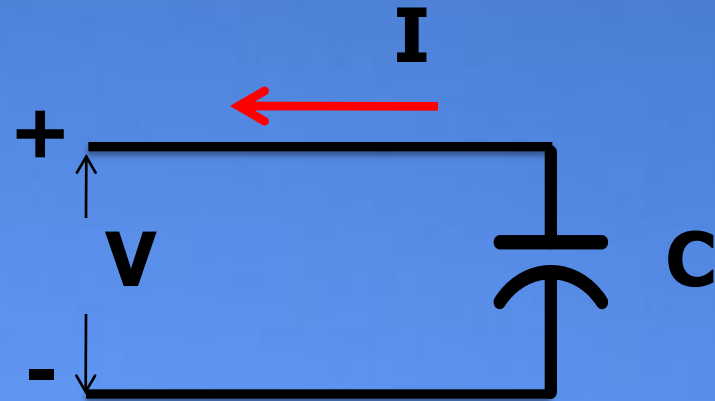
- Diharapkan bahwa mesin 1 adalah generator karena arah arus dan tanda-tanda polaritasnya. Karena P negative dan Q positif, mesin menyerap energi dengan laju sebesar 1000 W dan mencatu daya reaktif sebesar 268 var . jadi mesin ini sebenarnya adalah sebuah motor.
- Pada mesin 2, yang diharapkan merupakan sebuah motor, ternyata mempunyai P negatif dan Q negatif. Karena itu mesin ini membangkitkan energi dengan laju sebesar 1000 W dan mencatu daya reaktif sebesar 268 var . jadi mesin ini sebenarnya adalah sebuah generator.
- Daya reaktif yang dicatu adalah $268 + 268$ atau 536 var , yaitu yang diperlukan oleh reaktansi induktif dari $5\ \Omega$. Karena impedansi ini adalah reaktif murni, tidak ada P yang diserapnya, dan seluruh P yang dibangkitkan oleh mesin 2 dipindahkan ke mesin 1

Perhatikan:



**I mendahului V
dengan 90°**

Gambar 1



**I tertinggal 90°
dari V**

Gambar 2

Gambar 1, Kapasitor sebagai elemen rangkaian pasif yang menarik arus leading, sedangkan gambar 2 kapasitor sebagai generator yang mencatu arus lagging.

Daya reaktif Q akan menjadi positif jika sudut fasa antara α - β diantara tegangan dan arus adalah positif, jadi jika $\alpha > \beta$, yang juga berarti arus adalah tertinggal (*lagging*) terhadap tegangan. Sebaliknya, Q akan menjadi negatif untuk $\beta > \alpha$, yang berarti juga arus mendahului terhadap tegangan.

Bila: $V = |V| \angle \alpha$; **dan:** $I = |I| \angle -\beta$;

Daya reaktif Q akan menjadi positif jika sudut fasa antara α - β diantara tegangan dan arus adalah positif, jadi jika $\alpha > \beta$, yang juga berarti arus adalah tertinggal (*lagging*) terhadap tegangan. Sebaliknya, Q akan menjadi negatif untuk $\beta > \alpha$, yang berarti juga arus mendahului terhadap tegangan.

Ini adalah sesuai dengan pemilihan tanda positif untuk daya reaktif dari suatu rangkaian induktif dan tanda negatif untuk daya reaktif dari suatu rangkaian kapasitif. Untuk mendapatkan tanda yang benar bagi Q , diperlukan perhitungan S sebagai VI^* , dan bukannya V^*I karena yang tersebut belakangan ini akan membalikkan tanda untuk Q .