

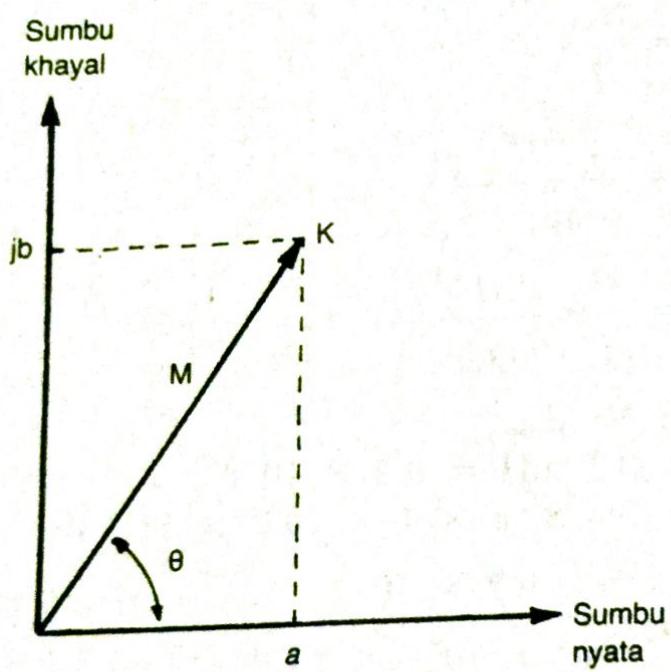
DIKTAT KULIAH
TEKNIK TENAGA LISTRIK
Iriandi Ilyas, Ir. MT



ANALISIS FASOR, FAKTOR DAYA, DAN PERHITUNGAN TIGA FASA

FASOR GELOMBANG SINUSOID

DI DALAM bidang elektroteknik, persoalan yang menyangkut besaran-besaran arus dan tegangan dapat dihitung dengan cara melakukan pengukuran, karena besaran tersebut memang nyata ada dalam suatu rangkaian. Namun dalam perhitungan-perhitungan rangkaian, sering persoalan tersebut diselesaikan melalui cara abstraksi dan tidak memilih besaran arus dan tegangan yang nyata. Hal tersebut disebabkan selain untuk memudahkan perhitungan, konsep abstraksi melalui analisis fasor adalah penting dalam pendidikan elektroteknik. Fasor menyatakan transformasi dari fungsi waktu ke dalam bidang kompleks yang mengandung informasi tentang amplitudo dan sudut fasa.



Gambar 3.1

Misalkan sebuah bilangan kompleks K , mempunyai besaran A dan arah sudut θ (lihat Gambar 3.1).

$$K = a + jb$$

atau

$$K = M (\cos \theta + j\sin \theta)$$

dengan menggunakan Dalil Euler,

$$\cos \theta + j\sin \theta = e^{j\theta}$$

maka

$$K = M e^{j\theta}$$

Perlu diperhatikan bahwa j adalah operator, yaitu operator khayal. Bekerjanya operator itu adalah memutar suatu bilangan atau harga tertentu $\pi/2$ derajat berlawanan arah jarum jam. Meskipun j bukan merupakan bilangan, namun ia dapat dinyatakan dengan nilai $\sqrt{-1}$. Artinya bila operator bekerja sebanyak 2 kali, maka harga bilangan tersebut (misalnya 5), setelah berputar $2 \times \pi/2 = 180^\circ$, akan mempunyai nilai -5 .

maka

$$\begin{aligned} j(jb) &= j^2b = -b \text{ atau } j^2 = -1 \\ j(j^2b) &= j^3b = -jb \text{ atau } j^3 = -j \\ j(j^3b) &= j^4b = +b \text{ atau } j^4 = +1 \end{aligned}$$

Bentuk $K = Me^{j\theta}$ ini disebut bentuk polar atau eksponensial dari bilangan kompleks K dan secara simbolis dapat ditulis

$$K = M \angle \theta$$

di mana

$$M = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Analisis vektor yang berputar pada selang waktu tertentu inilah yang disebut *analisis fasor*. Analisis fasor yang dikaitkan dengan bentuk gelombang sinus akan memungkinkan penggambaran fasor sinusoid yang sangat penting dalam membahas persoalan bidang elektroteknik.

Tiga hal yang menyebabkan mengapa bentuk gelombang sinus dipandang sangat penting adalah:

- (1) Terdapat banyak sekali gejala di alam ini yang dapat digambarkan sebagai gelombang berbentuk sinus.
- (2) Karena mudah pembangkitannya, maka arus dan tegangan dalam pembangkitan tenaga listrik berbentuk sinus.
- (3) Sesuai uraian deret Fourier, semua gelombang periodik yang lain, dengan syarat tertentu dapat diuraikan ke dalam perjumlahan dari gelombang-gelombang sinus dengan frekuensi yang bermacam-macam.

Arus dan tegangan sesaat dari suatu bentuk sinusoid dalam suatu periode waktu dapat dijelaskan dengan persamaan

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \phi)$$

$$v(t) = V_m \cos(\omega t)$$

di mana

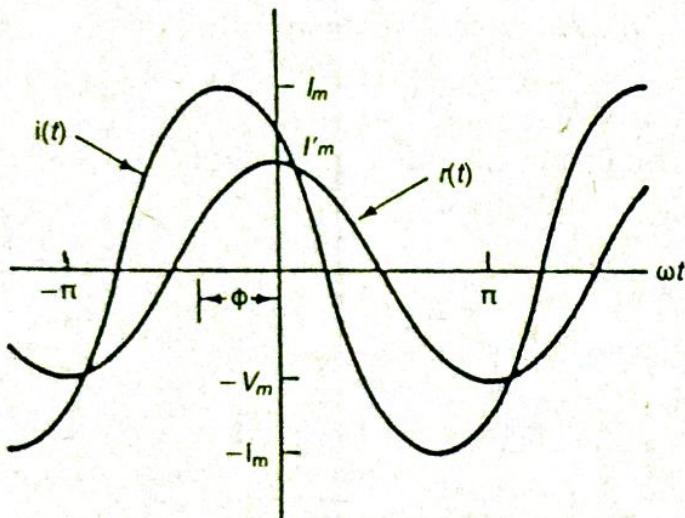
I_m = arus maksimum dalam ampere

ω = $2\pi f$ = kecepatan sudut dalam radial/detik

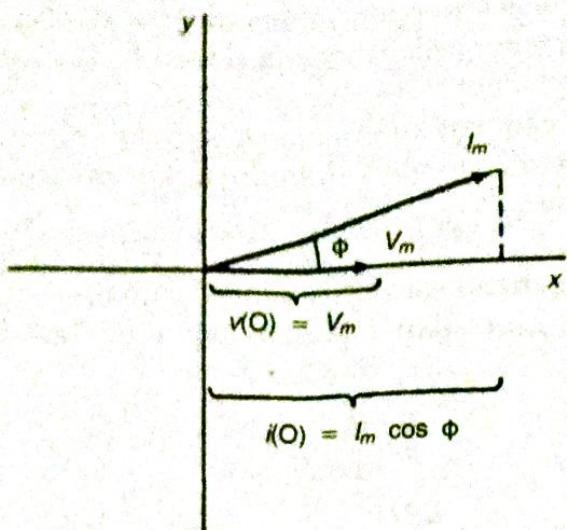
ϕ = sudut fasa dalam radial

V_m = tegangan maksimum dalam volt

Kurva kedua persamaan di atas terlihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2



Gambar 3.3

Dari vektor I_m dan V_m pada salib sumbu x dan y dapat ditentukan besar $v(t)$ dan $i(t)$ untuk $t = 0$ dengan cara memproyeksi vektor-vektor tersebut pada sumbu x . Jika vektor-vektor I_m dan V_m berputar berlawanan arah jarum jam dan memiliki kecepatan sudut yang sama, maka harga sesaat arus dan tegangan dari suatu rangkaian dapat dihitung. I_m dan V_m pada Gambar 3.3 adalah fasor-fasor. Fasor tegangan dan arus ditulis sebagai

$$\begin{aligned} \text{tegangan} &= V/\underline{\phi} \\ \text{arus} &= I/\underline{\alpha} \end{aligned}$$

di mana V dan I adalah harga RMS (*root-mean-square*). Jika V_m adalah harga tegangan maksimum, maka harga RMS tegangan tersebut adalah

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

IMPEDANSI

Di dalam suatu rangkaian linear yang terdiri atas tahanan (R), induktor (L), dan kapasitor (C), apabila suatu arus/tegangan listrik adalah sinusoid, maka semua arus dan tegangan yang lain juga berbentuk sinusoid dengan frekuensi yang sama. Melalui penerapan Hukum Kirchoff terdapat tiga cara untuk melakukan perjumlahan dan pengurangan bentuk-bentuk sinusoid:

- (1) Cara grafis, yaitu dengan menggambarkan gelombang demi gelombang dan dijumlahkan setiap saat. Cara ini memakan waktu dan tidak teliti.

- (2) Cara trigonometri, yaitu dengan menggunakan dalil-dalil trigonometri untuk menjumlahkan dan mengurangkan dua sinusoid. Cara ini sukar dan memakan waktu.
- (3) Cara aljabar kompleks dan analisis fasor seperti diuraikan terdahulu. Cara ini paling mudah di antara ketiga cara lainnya, karena itu akan digunakan dalam pembahasan berikut.

Hubungan antara tegangan dan arus yang berubah-ubah terhadap waktu yang melalui kapasitor, induktor, dan tahanan dapat dijelaskan sebagai

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt}$$

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

$$v(t) = i(t)r$$

$i(t)$ pada persamaan di atas adalah sinusoid dan mempunyai harga

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

persamaan $v(t)$ menjadi

$$v(t) = rI_m \sin (\omega t + \phi) = V_m \sin (\omega t + \phi)$$

di mana harga V_m sama dengan rI_m

Persamaan $v(t)$ dapat ditulis

$$V/\underline{\alpha} = rI/\underline{\phi}$$

Karena r adalah skalar, maka tidak ada pergeseran fasa dan $\alpha = \phi$. Persamaan tegangan $v(t)$ untuk induktor ini dapat ditulis menjadi

$$\begin{aligned} v(t) &= L \frac{dI_m \sin (\omega t + \phi)}{dt} \\ &= \omega L I_m \cos (\omega t + \phi) \\ &= \omega L I_m \sin (\omega t + \phi + \pi/2) \\ &= V_m \sin (\omega t + \phi + \pi/2) \end{aligned}$$

di mana harga V_m pada persamaan di atas sama dengan LI_m , dan dalam notasi fasor persamaan itu menjadi

$$V/\underline{\Phi} = \omega LI/\underline{\Phi} + \pi/2 = j\omega LI/\underline{\Phi}$$

Karena operator j menggeser fasor sebesar 90° , tegangan (V) letaknya terdahulu terhadap arus (I) sebesar $\pi/2$ radial. Oleh karenanya sudut fasa tegangan adalah

$$\alpha = \phi + 90^\circ$$

Dengan analisis yang sama seperti menentukan V , maka persamaan arus $i(t)$ untuk kapasitor menjadi

$$I/\underline{\Phi} = j\omega C V/\underline{\alpha}$$

Bentuk persamaan ini menunjukkan bahwa arus terdahulu 90° terhadap tegangan. Secara umum dapat dituliskan persamaan berikut

$$V = IZ$$

Impedansi merupakan bilangan kompleks yang bergantung pada elemen-elemen yang terdapat pada rangkaian (R, L, C). Harga impedansi yang berkaitan dengan elemen-elemen tersebut dapat dinyatakan.

Untuk

$$(L \text{ dan } C = 0), Z = r + j0$$

$$(R \text{ dan } C = 0), Z = 0 + j\omega L$$

$$(R \text{ dan } L = 0), Z = 0 - \frac{j}{\omega C}$$

Impedansi dapat merupakan rangkaian seri maupun pararel yang sama seperti tahanan, dan mempunyai satuan ohm (Ω). Impedansi total dari 2 impedansi yang dihubungkan pararel adalah

$$Z_T = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Bagian nyata dari impedansi disebut tahanan dan dinyatakan dengan huruf r , sedangkan bagian semu disebut reaktansi dan dinyatakan dengan huruf X .

DAYA RATA-RATA

Daya rata-rata sesaat didefinisikan sebagai hasil perkalian tegangan dan arus sesaat, dan ditulis sebagai

$$p = vi$$

Jika arus dan tegangan merupakan fungsi siklus, maka daya rata-rata (P) untuk suatu periode siklus tersebut dapat ditentukan besarnya dengan rumus

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

di mana

P = daya rata-rata dalam watt

T = periode dari siklus dalam detik

Tegangan dan arus fungsi sinus dinyatakan sebagai

$$\begin{aligned}v(t) &= V_m \cos \omega t \\i(t) &= I_m \cos (\omega t - \phi)\end{aligned}$$

maka persamaan daya menjadi

$$\begin{aligned}p(t) &= V_m I_m \cos \omega t \cos (\omega t - \phi) \\p(t) &= V_m I_m \frac{1}{2} [\cos (\omega t - \omega t + \phi) + \cos (\omega t + \omega t - \phi)] \\&= \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi + \frac{1}{2} V_m I_m \cos (2\omega t - \phi)\end{aligned}$$

Harga rata-rata dari fungsi sinusoid yang berubah terdapat waktu untuk satu periode adalah sama dengan nol, sehingga dari persamaan $p(t)$ hanya terdapat bentuk $\frac{1}{2} I_m V_m \cos \phi$ yang tidak bergantung terhadap waktu; maka bentuk yang ada:

$$\begin{aligned}P &= \frac{1}{2} V_m I_m \cos \phi \\&= VI \cos \phi\end{aligned}$$

di mana V dan I adalah harga rms atau harga efektif dari tegangan dan arus.

Harga efektif arus sesaat $i(t)$ dapat didefinisikan dalam persamaan

$$I = \left(\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt \right)^{1/2} \quad (A)$$

Dengan memperhatikan bahwa harga I_{rms} adalah akar dari arus sesaat kuadrat, maka

$$\begin{aligned} I &= \left[\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \cos^2(\omega t - \phi) dt \right]^{1/2} \\ &= \left\{ \frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} I_m^2 [\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos(2\omega t - 2\phi)] dt \right\}^{1/2} \quad (A) \end{aligned}$$

{A}

di mana $T = 1/f = 2\pi/\omega$

Oleh karena harga rata-rata dari fungsi sinusoid yang berubah terhadap waktu sama dengan nol dalam 1 periode, maka

$$\begin{aligned} I &= I_m \left(\frac{\omega}{2\pi} \int_0^{2\pi/\omega} \frac{1}{2} dt \right)^{1/2} \\ &= I_m \left[\frac{\omega}{2\pi} (\frac{1}{2}) \frac{2\pi}{\omega} \right]^{1/2} \\ &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} [A] \end{aligned}$$

Sehingga harga rms dari setiap fungsi sinusoid adalah harga maksimum dibagi dengan $\sqrt{2}$

FAKTOR DAYA DAN DAYA KOMPLEKS

Dari pembahasan terdahulu dapat diketahui bahwa daya rata-rata bukan fungsi rms dari arus dan tegangan saja, tetapi ada unsur perbedaan sudut fasa arus dan tegangan. Jika arus dan tegangan dari persamaan sefasa dan $\phi = 0^\circ$; maka persamaan daya menjadi

$$P = VI \cos \phi = VI[W]$$

untuk:

$$\phi = 60^\circ \rightarrow P = VI \cos (60^\circ) = 0.3 VI [\text{watt}]$$

$$\phi = 90^\circ \rightarrow P = VI \cos (90^\circ) = 0$$

Arus yang mengalir pada sebuah tahanan, akan menimbulkan tegangan pada tahanan tersebut sebesar

$$V_r = I_r r$$

sehingga

$$P = V_r I_m \cos \phi$$

karena tidak adanya beda fasa antara arus dan tegangan pada tahanan, maka sudut

$$\phi = 0^\circ$$

sehingga

$$P = VI$$

Untuk induktor dan kapasitor, arus yang mengalir pada elemen-elemen ini masing-masing akan tertinggal dan terdahulu sebesar 90° terhadap tegangan

$$V_L = I_L j \omega L$$

$$V_C = I_C \left(\frac{-j}{\omega C} \right)$$

di mana V_L ; V_C ; I_L ; I_C ; adalah besaran-besaran fasor.

Daya rata-rata elemen-elemen ini adalah nol.

Tegangan dikalikan dengan arus disebut *daya semu*. Daya rata-rata dibagi daya nyata disebut *faktor daya*. Untuk arus dan tegangan sinusoid, faktor daya dapat dihitung dengan rumus

$$\text{Faktor daya} = \frac{P}{VI} = \frac{VI \cos \phi}{VI} = \cos \phi$$

ϕ dinamakan sudut faktor daya; sudut ini menentukan kondisi terdahulu atau tertinggal tegangan terhadap arus.

Bila sebuah beban diberi tegangan, impedansi dari beban tersebut akan menentukan besar arus dan sudut fasa yang mengalir pada beban tersebut. Faktor daya merupakan petunjuk yang menyatakan sifat suatu beban.

Misalnya: faktor daya beban pertama = 1 dan faktor daya beban kedua = 0,5, maka beban kedua akan membutuhkan 2 kali besar arus beban pertama.

Untuk efisiensi dan operasi, diusahakan faktor daya mendekati satu. Persamaan bilangan kompleks daya adalah

$$S = V_a I_a^* [VA]$$

di mana S = bilangan kompleks daya

V_a dan I_a = besaran fasor

I_a^* = konjugasi kompleks dari I_a

Jika V_a dan I_a dinyatakan sebagai

$$V_a = V \angle \phi_1$$

$$I_a = I \angle \phi_2$$

persamaan S menjadi:

$$S = VI \cos (\phi_1 - \phi_2) + jVI \sin (\phi_1 - \phi_2)$$

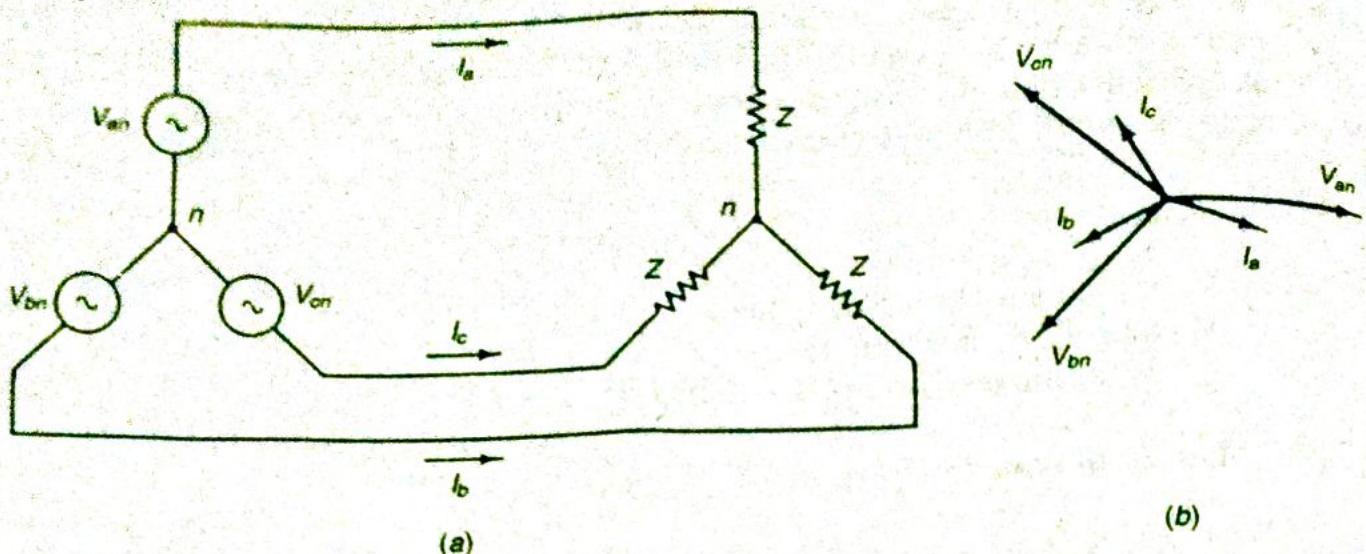
$\phi_1 - \phi_2$ adalah sudut yang menyatakan besarnya sudut tegangan yang mendahului arus. Bilangan nyata dari bilangan kompleks S didefinisikan sebagai daya rata-rata. Oleh karena itu, daya rata-rata ini sering disebut *daya nyata* atau cukup disebut daya.

Bagian imajiner dari bilangan kompleks S disebut daya reaktif dan diberi simbol Q dengan satuan VAR. Sebagaimana daya nyata terdapat pada tahanan, daya reaktif terdapat pada sebuah reaktansi. Daya reaktif positif akan terdapat pada induktor dengan arus tertinggal terhadap tegangan. Dengan dasar itu pula, daya reaktif negatif terdapat pada sebuah kapasitor.

PERHITUNGAN TIGA FASA

Hampir semua listrik yang digunakan oleh industri, dibangkitkan, ditransmisikan, dan didistribusikan dalam sistem tiga fasa. Sistem tiga fasa ini memiliki besar yang sama (untuk tegangan atau arus) tetapi mempunyai perbedaan sudut sebesar 120° antarfasanya. Sumbu ini disebut juga sumbu yang seimbang.

Apabila sumber mensuplai sebuah beban seimbang, maka arus-arus yang mengalir pada masing-masing penghantar akan memiliki besar yang sama dan berbeda sudut fasa sebesar 120° satu sama lain. Arus-arus ini disebut arus seimbang. Gambar 3.4 memperlihatkan sebuah rangkaian sederhana dan diagram fasor sebuah sistem seimbang.



Gambar 3.4

Sistem pada Gambar 3.4 disebut sistem urutan *abc*, di mana fasa *b* tertinggal 120° terhadap fasa *a*, dan fasa *c* tertinggal 120° terhadap fasa *b*. Hanya satu kemungkinan urutan lagi selain urutan *abc*, yaitu urutan *acb*. Beban pada Gambar 3.4a dihubungkan dengan cara hubungan Y. Dalam hubungan tipe Y ini tegangannya adalah tegangan kawat netral dan arus yang mengalir pada tiap fasa beban adalah arus kawat. Tegangan antara masing-masing kawat (saluran) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V_{ab} &= V_{an} + V_{nb} = V_{an} - V_{bn} \\V_{bc} &= V_{bn} - V_{cn} \\V_{ca} &= V_{cn} - V_{an}\end{aligned}$$

Penulisan secara matematis dari Gambar 3.4b untuk urutan fasa *abc* dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}V'_{ab} &= V_{an} \sqrt{3} / 30^\circ \\V'_{bc} &= V_{bn} \sqrt{3} / 30^\circ \\V'_{ca} &= V_{cn} \sqrt{3} / 30^\circ\end{aligned}$$

Masing-masing tegangan kawat-kawat terdahulu 30° dan $\sqrt{3}$ kali besar terhadap tegangan kawat netral. Untuk urutan fasa *acb* persamaan di atas akan menjadi:

$$\begin{aligned}V_{ab} &= V_{an} \sqrt{3} / -30^\circ \\V_{bc} &= V_{bn} \sqrt{3} / -30^\circ \\V_{ca} &= V_{cn} \sqrt{3} / -30^\circ\end{aligned}$$

Untuk urutan ini tegangan kawat-kawat tertinggal 30° terhadap tegangan kawat-kawat netral. Fasor diagram untuk kedua jenis urutan fasa ini dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Daya yang digunakan pada masing-masing fasa pada beban adalah:

$$P_{1\phi} = |V_{an}| I_1 \cos \phi$$

di mana I_1 = arus I_a

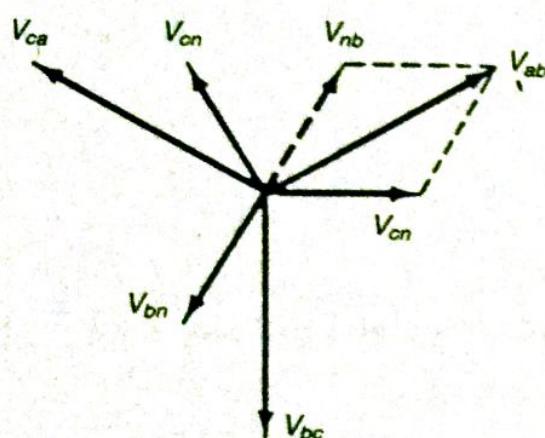
$$\cos \phi = \text{faktor daya}$$

Untuk sistem yang seimbang, daya total yang dipergunakan adalah

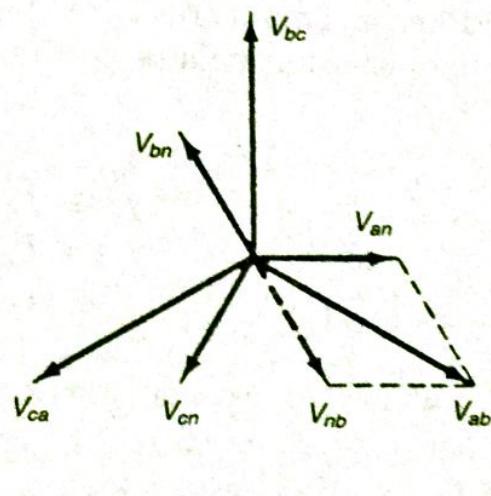
$$\begin{aligned} P_T &= P_{3\phi} = 3 |V_{an}| I_1 \cos \phi \\ &= 3 \frac{V_H}{\sqrt{3}} I_1 \cos \phi \\ &= \sqrt{3} V_H I_1 \cos \phi \end{aligned}$$

di mana

V_H = tegangan kawat ke kawat
 I_1 = arus kawat ke kawat

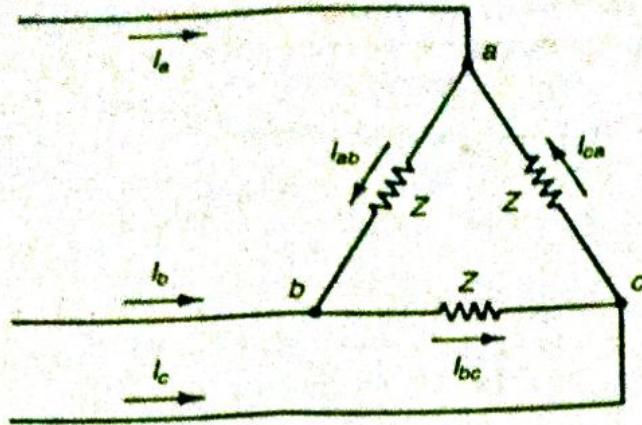


(a)



(b)

Gambar 3.5



Gambar 3.6

Beban pada Gambar 3.4 adalah terhubung secara bintang (Y), selain hubungan bintang ini masih terdapat satu buah hubungan lain untuk beban yang seimbang, yaitu hubungan delta (Δ) seperti digambarkan pada Gambar 3.6. Tegangan pada hubungan delta ini adalah tegangan kawat ke kawat. Hubungan antara arus kawat dengan arus yang mengalir pada beban dapat dijelaskan dengan rumus (lihat Gambar 3.7)

$$\begin{aligned}I_a &= I_{ab} + I_{ac} = I_{ab} - I_{ca} \\I_b &= I_{bc} - I_{ab} \\I_c &= I_{ca} - I_{bc}\end{aligned}$$

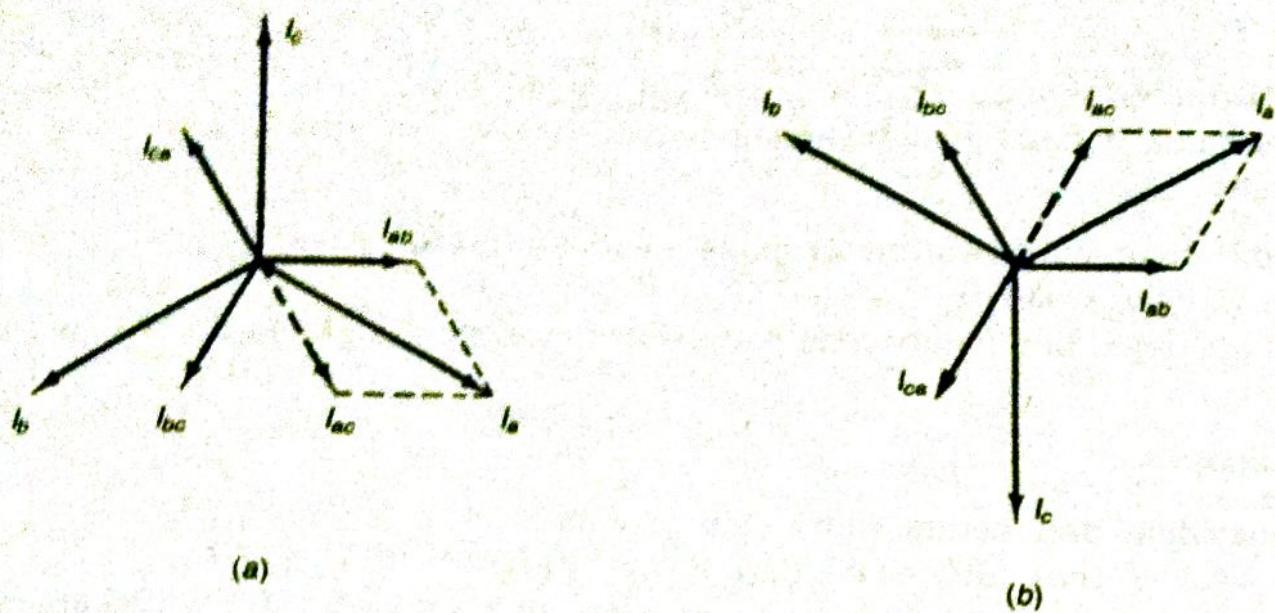
Hubungan antara arus kawat pada hubungan delta untuk urutan fasa *abc* dan *acb* dapat dijelaskan melalui persamaan-persamaan di bawah ini

$$\begin{aligned}I_a &= I_{ab} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\I_b &= I_{bc} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\I_c &= I_{ca} \sqrt{3} \angle -30^\circ\end{aligned}$$

Untuk urutan fasa *abc*, arus kawat $\sqrt{3}$ kali arus fasa dan tertinggal 30° arus fasa.

$$\begin{aligned}I_a &= I_{ab} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\I_b &= I_{bc} \sqrt{3} \angle -30^\circ \\I_c &= I_{ca} \sqrt{3} \angle -30^\circ\end{aligned}$$

Untuk urutan fasa *acb*, arus terdahulu 30° terhadap arus fasa.



Gambar 3.7

Daya yang dikonsumsi setiap fasa pada beban Gambar 3.6 adalah

$$P_{1\phi} = V_H |I_{ab}| \cos \phi$$

di mana

$$\begin{aligned}V_H &= \text{tegangan } V_{ab} \\ \cos \phi &= \text{faktor daya}\end{aligned}$$

Untuk sistem yang seimbang, daya total yang dikonsumsi ke beban adalah

$$\begin{aligned}P_T &= 3 P_{1\phi} = 3 V_H |I_{ab}| \cos \phi \\ &= 3 V_H \frac{I_1}{\sqrt{3}} \cos \phi \\ &= \sqrt{3} V_H I_1 \cos \phi\end{aligned}$$

di mana I_1 = arus kawat

Dengan memperhatikan persamaan di atas, maka tampak kedua persamaan itu adalah sama. Hal ini berarti, jika tegangan kawat-kawat, arus kawat dan $\cos \phi$ diketahui maka daya yang dikonsumsi dapat dihitung tanpa perlu mengetahui bentuk hubungan dari beban tersebut. Dengan penurunan yang sama, dapat diketahui bahwa

$$\begin{aligned}|S_T| &= \sqrt{3} V_H I_1 \\ Q_T &= \sqrt{3} V_H I_1 \sin \phi\end{aligned}$$

Contoh 1

Dua wattmeter dihubungkan dengan cara yang biasa untuk mengatur sistem 3 kawat pada 3 fasa. Jika tegangan beban 400 V dan arus kawat 20 ampere, hitunglah:

- Pembacaan pada wattmeter pada keadaan faktor daya sama dengan 1.0, 0.5 (*lagging*) dan 0
- Faktor daya, bila pembacaan pada wattmeter menunjukkan 2 kW dan 1 kW.

Pemecahan

- Pemecahan dari kedua wattmeter adalah:

$$W_1 = V_L I_L \cos (30^\circ + \phi) \text{ dan } W_2 = V_L I_L \cos (30^\circ - \phi)$$

untuk kasus di mana faktor daya sama dengan 1, maka $\phi = 0^\circ$. Oleh karena itu:

$$\begin{aligned} W_1 &= W_2 = V_L I_L \cos 30^\circ \\ &= 400 \times 20 \times 0.6866 \\ &= 6928 \text{ watt} \end{aligned}$$

Jika faktor daya 0.5 (*lagging*), maka $\phi = 60^\circ$ sehingga;

$$\begin{aligned} W_1 &= V_L I_L \cos (30^\circ + 60^\circ) = 0 \text{ dan} \\ W_2 &= V_L I_L \cos (30^\circ - 60^\circ). \\ &= 6928 \text{ watt} \end{aligned}$$

Untuk kasus di mana faktor daya adalah 0 (nol), maka $\phi = 90^\circ$ sehingga

$$\begin{aligned} W_1 &= V_L I_L \cos (120^\circ) = -4000 \text{ watt} \\ W_2 &= V_L I_L \cos (-60^\circ) = 4000 \text{ watt} \end{aligned}$$

- Jika pembacaan dari wattmeter masing-masing adalah:

$$W_1 = 1 \text{ kW} \text{ dan } W_2 = 2 \text{ kW}$$

maka jumlah daya yang tertarik = $2 \text{ kW} - 1 \text{ kW} = 1 \text{ kW}$

dan
$$\phi = \frac{W_1 - W_2}{(W_1 + W_2)} = 1/3$$

$$\cos \phi = 0.949$$

Contoh 2

Suatu sistem 3 fasa 4 kawat, mempunyai beban dari masing-masing fasa sebesar: $Z_a = 10/0^\circ$, $Z_b = 20/30^\circ$, dan $Z_c = 10/-30^\circ$. Beban tersebut dihubung bintang, dan disuplai oleh tegangan 400 volt, 50 Hz. Hitunglah arus yang mengalir pada masing-masing fasa dan arus netralnya.

Pemecahan

Pada saat sistem 4 kawat, tegangan yang melewati beban akan seimbang. Dapatkan urutan *ACB* dengan tegangan fasa *A* sebagai titik acuan.

$$V_{AN} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ, V_{BN} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ, V_{CN} = \frac{400}{\sqrt{3}} \angle 120^\circ$$

dan

$$I_A = \frac{231 \angle 0^\circ}{10 \angle 0^\circ} = 23.1 + j0 \text{ ampere}$$

$$\begin{aligned} I_B &= \frac{231 \angle 120^\circ}{20 \angle 30^\circ} = 11.5 \angle 90^\circ \\ &= 0 + j11.5 \text{ ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_C &= \frac{231 \angle -120^\circ}{10 \angle -30^\circ} = 23.1 \angle -90^\circ \\ &= 0 - j23.1 \text{ ampere} \end{aligned}$$

sehingga arus netral

$$\begin{aligned} I_N &= -(I_A + I_B + I_C) \\ &= -(23.1 + j0 + 0 + j11.5 + 0 - j23.1) \\ &= -23.1 + j11.55 \text{ ampere} \end{aligned}$$

Contoh 3

Sistem 400 volt (fasa ke fasa), 3 fasa, 50 Hz mensuplai daya untuk beban yang seimbang dengan besarnya tahanan dan reaktansi berturut-turut 0 ohm dan 6 ohm. Hitung daya keseluruhan yang disuplai dan faktor daya dari arus yang ditarik dari sumber.

Pemecahan

Pada keadaan beban seimbang, tegangan fasa dari beban sama dengan

$$\frac{\text{tegangan saluran}}{\sqrt{3}}$$

Oleh karena itu, tegangan per fasa = $\frac{400}{\sqrt{3}} = 231$ volt

Arus per fasa:

$$I = \frac{V_{ph}}{Z_{ph}}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{ph} &= 8 + j6 \text{ ohm} \\
 &= 10 \text{ ohm} \\
 I &= \frac{231/10}{10} = 23.1 \text{ ampere}
 \end{aligned}$$

Maka besarnya arus dari tiap saluran 23.1 ampere
 Daya yang ditarik oleh beban:

$$\begin{aligned}
 \sqrt{3} V_L I_L \cos \phi \\
 \cos \phi = \frac{8}{10} = 0.8 (R/Z)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya total} &= \sqrt{3} \times 400 \times 23.1 \times 0.8 \\
 &= 12\,800 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Contoh 4

Tiga impedansi mempunyai tahanan 8 ohm dan reaktansi 6 ohm, dihubungkan: (a) Untuk beban bintang, (b) Untuk beban delta Hitung daya yang dipakai dari tiap-tiap kasus, jika beban di suplai sumber 200 V, 3 fasa.

Pemecahan

Kasus (a)—beban dihubung bintang

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan per fasa} &= 200/\sqrt{3} \\
 \text{Impedansi} &= 8 + j6 = 10 \text{ ohm} \\
 I_{\text{fasa}} &= I_{\text{kawat}} = 20/\sqrt{3} \text{ ampere} \\
 \text{Daya masuk} &= \sqrt{3} \times 200 \times 20/\sqrt{3} \times \cos \phi \\
 \cos \phi &= 0.8 (R/Z) \\
 \text{maka daya masuk} &= \sqrt{3} \times 200 \times 20/\sqrt{3} \times 0.8 = 3200 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Kasus (b)—beban dihubung delta

$$\begin{aligned}
 \text{Tegangan saluran} &= \text{Tegangan fasa} = 200 \text{ volt} \\
 \text{Arus fasa} &= 200/10 = 20 \text{ ampere} \\
 \text{Besar arus pada beban yang terhubung delta:}
 \end{aligned}$$

$$\sqrt{3} I_{\text{fasa}} = 20 \sqrt{3} \text{ ampere}$$

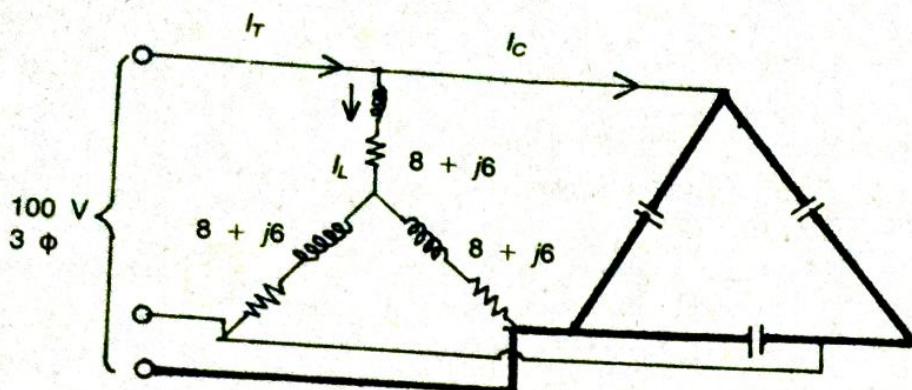
$$\begin{aligned}
 \text{Daya yang ditarik beban} &= \sqrt{3} \times 200 \times 20 \sqrt{3} \times 0.8 = 9600 \text{ watt} \\
 \text{Dari sini dapat dilihat bahwa untuk 2 kasus yang berbeda daya yang ditarik} \\
 \text{tidaklah sama.}
 \end{aligned}$$

Cerita 5

Hubungan bintang dengan masing-masing impedansi sebesar $8 + j6$ dilalui suplai 100 V, 3 fasa. Hitung besar kapasitor yang dibutuhkan agar faktor daya keseluruhan menjadi satu.

Pemecahan

Pada saat kedua sirkuit 3 fasa dihubung secara pararel, arus total yang melalui saluran: $I_T = I_C + I_L$ di mana I_C dan I_L arus-arus utama yang tidak saling bergantungan. Lihat Gambar 3.8.



Gambar 3.8

$$I_L = \frac{100}{\sqrt{3} \times 10} = \frac{10}{\sqrt{3}} \text{ ampere}$$

$$\text{Secara vektor } I_L = \frac{10}{\sqrt{3}} (0.8 - j0.6)$$

Pada rangkaian kapasitif arus mendahului tegangan dengan sudut 90° . Sehingga arus kapasitif dari rangkaian adalah:

$$I_C = \frac{10}{\sqrt{3}} \times 0.6$$

Dalam rangkaian delta, arus per fasa adalah $1/\sqrt{3}$ dari arus saluran. Arus per fasa pada kapasitor bank yang terhubung delta

$$= \frac{10}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0.6}{\sqrt{3}} = 2 \text{ ampere}$$

Impedansi dari kapasitansi per fasa

$$= \frac{\text{tegangan fasa}}{\text{arus fasa}}$$

$$= \frac{100}{2} = 50 \text{ ampere}$$

Jadi,

$$\frac{1}{2\pi fC} = 50 \text{ ohm}$$

$$C = \frac{1}{50 \times 100\pi}$$

$$= \frac{10^6}{5000\pi} = \frac{200}{\pi} = 63.66 \mu \text{ farad}$$

Sehingga besarnya kapasitor bank yang dihubung delta untuk mendapatkan faktor daya satu adalah 63.66 μF .

TUGAS

Untuk tugas : Membuat rangkuman dari materi diatas dan contoh soal yang ada di lapangan (minimal 3 soal), diketik dalam bentuk makalah

Tugas ini **wajib dikumpulkan maksimal 2 minggu sebelum jadwal UTS ke Koordinator matakuliah Teknik Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin.**

*****TUGAS KOORDINATOR MATAKULIAH:**

Daftar kehadiran tetap dibuat sesuai jadwal (**1 minggu sekali**), direkap oleh koordinator **setiap bulan (sebelum tanggal 13)**. Setelah direkap setiap bulan, daftar kehadiran diserahkan ke Dosen dalam format pdf, kemudian diserahkan juga ke Pak Sarjito (untuk kelas reguler dan karyawan)

SELAMAT BELAJAR...

SELAMAT MENGERJAKAN...

