

RANGKAIAN TIGA FASA

Rangkaian 3 fasa (Sistem 3 fasa) dalam praktisnya banyak digunakan pada Pusat pembangkit tenaga listrik (Generator sinkron 3 fasa) di PLTA, PLTU, PLTD, PLTG, dsb. Digunakan untuk transformator 3 fasa, motor listrik 3 fasa, serta peralatan control atau pengatur putaran motor dalam bentuk 3 fasa (Elektronika daya).

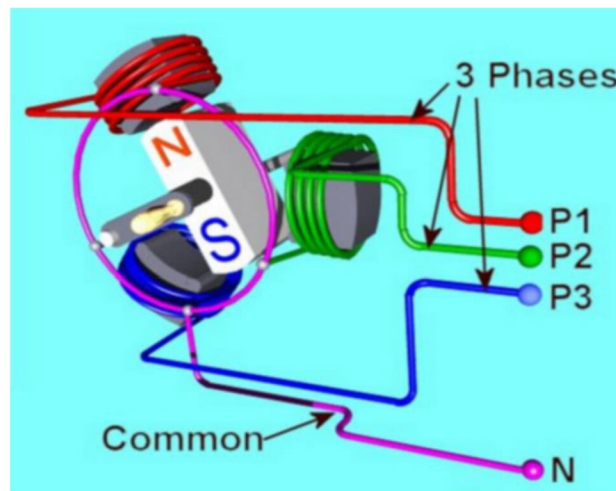
Rangkaian 3 fasa secara garis besar terdiri dari dua, yaitu :

1. Sumber tegangan 3 fasa
2. Beban listrik 3 fasa

1. Sumber Tegangan 3 Fasa

Sumber tegangan 3 fasa (gelombang sinusoida) merupakan sumber tegangan yang terdiri dari tiga buah sumber tegangan satu fasa yang besarnya sama dan masing-masing tegangan mempunyai beda fasa 120 derajat.

Contoh sumber tegangan 3 fasa adalah generator sinkron 3 fasa, seperti diperlihatkan pada gambar 1 konsep generator sinkron 3 fasa.



Gambar 1. Konsep Generator Sinkron 3 Fasa

Generator sinkron 3 fasa terdiri dari 3 buah belitan yang berbeda fasa 120 derajat, yaitu :

1. Belitan (P1- N)
2. Belitan (P2- N)
3. Belitan (P3 –N)

P1, P2, P3 adalah ujung belitan, dan N adalah pangkal belitan.

Apabila rotor kutub N – S (Kutub magnet utara-selatan) diputar, maka pada masing-masing belitan akan timbul tegangan terinduksi, sebagai sumber tegangan 3 fasa.

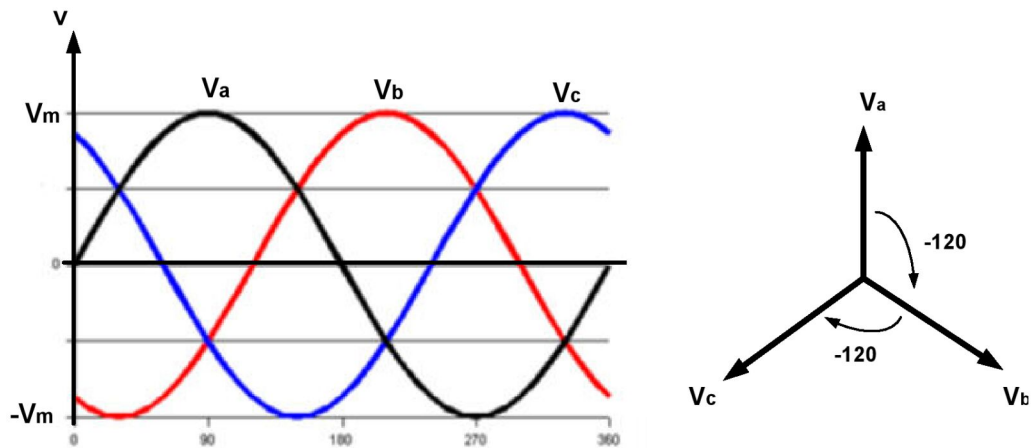
Belitan (P1 – N), menghasilkan tegangan : $v_a(t) = V_m \sin(\omega t)$

Belitan (P2 – N) menghasilkan tegangan : $v_b(t) = V_m \sin(\omega t - 120^\circ)$

Belitan (P3 – N) menghasilkan tegangan $v_c(t) = V_m \sin(\omega t - 240^\circ)$

Dari persamaan tegangan, terlihat bahwa ketiga tegangan mempunyai amplitudo yang sama dan masing-masing tegangan berbeda fasa 120 derajat.

Bentuk gelombang sumber tegangan 3 fasa terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Gambar Gelombang tegangan 3 Fasa.

Apabila ketiga tegangan ditulis dalam bentuk fasor adalah sebagai berikut :

$$V_a = V \angle 0^\circ$$

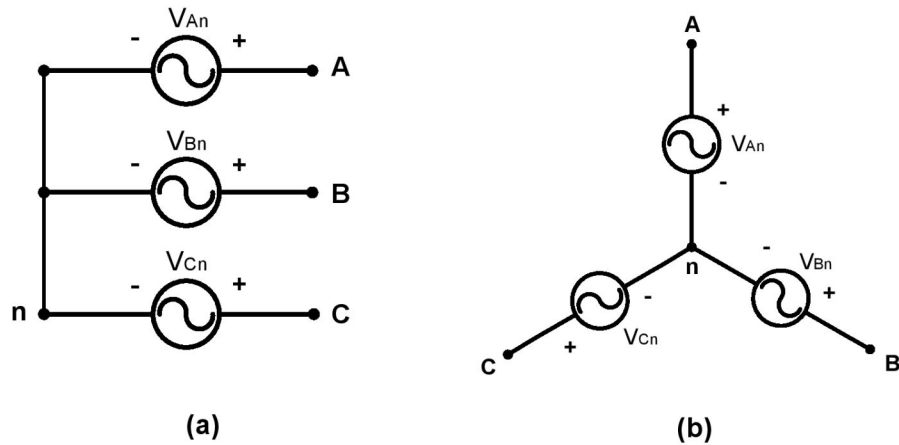
$$V_b = V \angle -120^\circ$$

$$V_c = V \angle -240^\circ$$

Dalam pemakaiannya sumber tegangan 3 fasa harus dihubungkan dalam hubungan bintang (Y) atau hubungan delta (Δ)

1.1 Sumber Tegangan Hubungan (Y)

Sumber tegangan 3 fasa hubungan Y diperlihatkan pada Gambar 3. yang terdiri dari tiga buah sumber tegangan 1 fasa.



Gambar 3 Sumber Tegangan 3 Fasa Hubungan Y

Pada Gambar 3.(a) Gambar diagram pengawatan sumber tegangan 3 fasa, sedangkan Gambar 3.(b) adalah gambar diagram skematik sumber tegangan hubungan Y.

1). Tegangan pada Sumber Tegangan hubungan (Y)

$$V_{An} = V_{Bn} = V_{Cn} = V_p$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_L$$

V_p :Tegangan fasa

V_L :Tegangan antar saluran

$$V_{An} = V_p \angle 0^\circ$$

$$V_{Bn} = V_p \angle -120^\circ$$

$$V_{Cn} = V_p \angle -240^\circ$$

Besarnya tegangan antar saluran dapat dihitung sebagai berikut :

$$V_{AB} = V_{An} + V_{nB} \quad \text{dan} \quad V_{nB} = -V_{Bn}$$

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_{An} - V_{Bn} \\ &= V_p \angle 0^\circ - V_p \angle -120^\circ \\ &= V_p (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) - V_p (\cos(-120^\circ) + j \sin(-120^\circ)) \\ &= V_p - V_p (\cos 120^\circ - j \sin 120^\circ) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{AB} &= V_p + \frac{1}{2}V_p + j\frac{\sqrt{3}}{2}V_p \\
 &= V_p \left(1\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\
 V_{AB} &= V_p (\sqrt{3} \angle 30^\circ) \\
 V_{AB} &= \sqrt{3} V_p \angle 30^\circ \quad \dots\dots (1)
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka akan diperoleh :

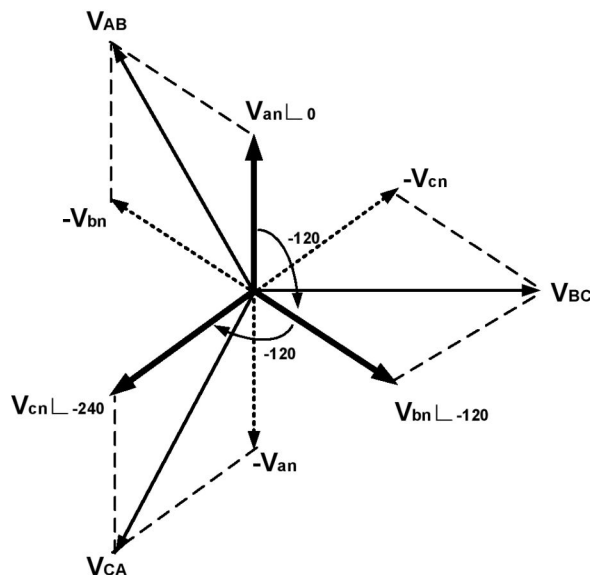
$$\begin{aligned}
 V_{BC} &= V_{Bn} + V_{nC} = V_{Bn} - V_{Cn} \\
 V_{BC} &= V_p (\sqrt{3} \angle -90^\circ) \\
 V_{BC} &= \sqrt{3} V_p \angle -90^\circ \quad \dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{CA} &= V_{Cn} + V_{nA} = V_{Cn} - V_{An} \\
 V_{CA} &= V_p (\sqrt{3} \angle -210^\circ) \\
 V_{CA} &= \sqrt{3} V_p \angle -210^\circ \quad \dots\dots (3)
 \end{aligned}$$

Dari persamaan (1), (2) dan (3) diperoleh kesamaan :

$$V_L = \sqrt{3} V_p$$

Apabila digambarkan dalam diagram tegangan, diperlihatkan pada Gambar 4 sebagai berikut ini.

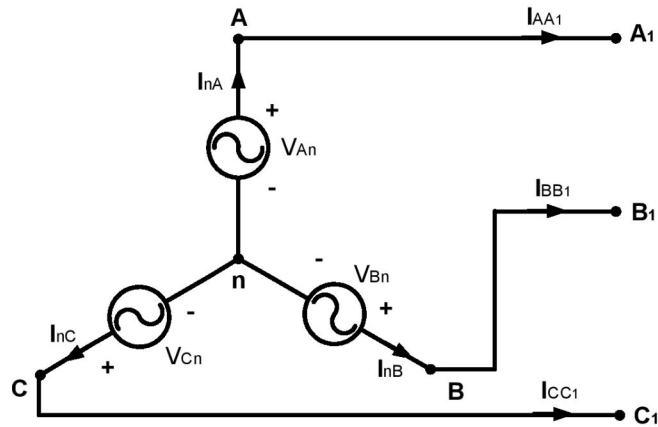


$$\begin{aligned}
 V_{An} &= V_p \angle 0^\circ \\
 V_{Bn} &= V_p \angle -120^\circ \\
 V_{Cn} &= V_p \angle -240^\circ \\
 V_{AB} &= V_{An} + (-V_{Bn}) \\
 V_{BC} &= V_{Bn} + (-V_{Cn}) \\
 V_{CA} &= V_{Cn} + (-V_{An})
 \end{aligned}$$

Gambar 4. Diagram vektor tegangan hubungan Y

2). Arus pada Sumber Tegangan hubungan (Y)

Hubungan arus fasa dan arus saluran pada sumber tegangan hubunga Y, diperlihatkan pada gambar 5, terlihat bahwa arus fasa besarnya sama dengan arus saluran.



Gambar 5. Hubungan Arus Pada Sumber Tegangan Hubungan Y

Sumber tegangan hubungan Y, besarnya arus fasa sama denga arus saluran, yaitu :

$$I_{nA} = I_{nB} = I_{nC} = I_p$$

$$I_{AA_1} = I_{BB_1} = I_{CC_1} = I_L$$

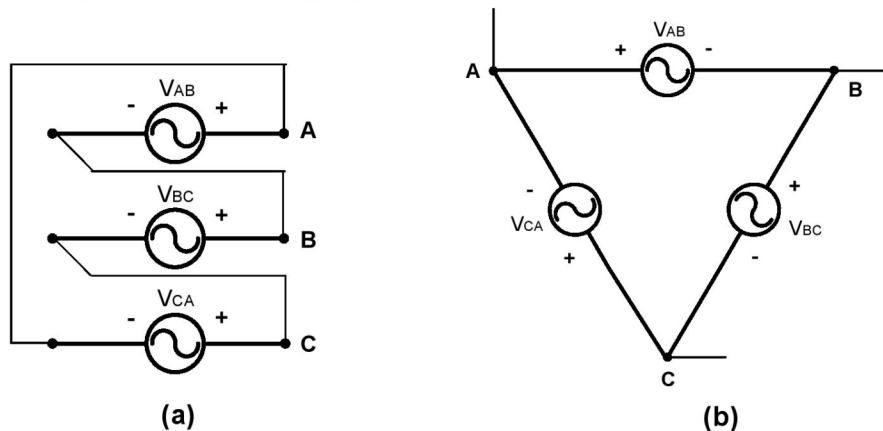
$$I_L = I_p$$

I_p : Arus fasa

I_L : Arus saluran

1.2 Sumber Tegangan Hubungan (Δ)

Sumber tegangan 3 fasa hubungan Δ diperlihatkan pada Gambar 6. yang terdiri dari tiga buah sumber tegangan 1 fasa.



Gambar 6 Sumber Tegangan Hubungan Δ

Pada Gambar 6.(a) Gambar diagram pengawatan sumber tegangan 3 fasa, sedangkan Gambar 6.(b) adalah gambar diagram skematik sumber tegangan hubungan Δ .

1). Tegangan pada Sumber Tegangan Hubungan (Δ)

Hubungan tegangan antar saluran dan tegangan fasa dapat dilihat pada Gambar 7.

Sumber tegangan hubungan Δ , besarnya tegangan fasa dan tegangan antar saluran adalah sama, yaitu :

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_p$$

$$V_{A_1B_1} = V_{B_1C_1} = V_{C_1A_1} = V_L$$

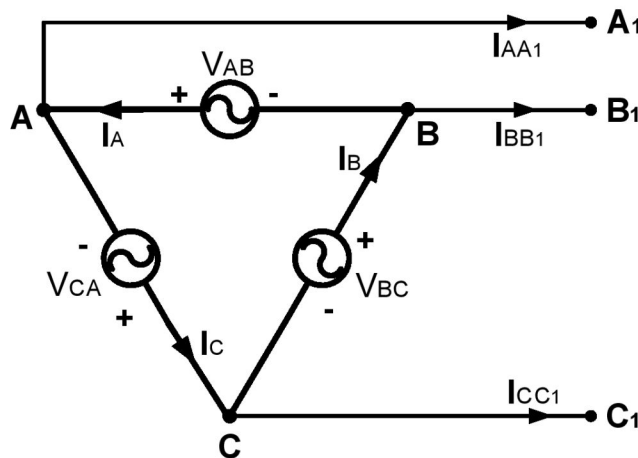
$$V_L = V_p$$

V_p :Tegangan fasa

V_L :Tegangan antar saluran

2). Arus pada Sumber Tegangan Hubungan (Δ)

Hubungan arus fasa dan arus saluran pada sumber tegangan hubungan Δ , diperlihatkan pada gambar 7, terlihat bahwa arus fasa besarnya :



$$I_A = I_p \angle 0^\circ$$

$$I_B = I_p \angle -120^\circ$$

$$I_C = I_p \angle -240^\circ$$

Gambar 7 Hubungan Arus Pada Sumber Tegangan Hubungan Δ

Besarnya arus fasa :

$$I_A = I_B = I_C = I_p$$

Besarnya arus saluran :

$$I_{AA_1} = I_{BB_1} = I_{CC_1} = I_L$$

Pada titik hubung (A), berlaku hukum Kirchhoff untuk arus : $\sum I = 0$

$$\begin{aligned}
-I_{AA_1} - I_C + I_A &= 0 \\
I_{AA_1} &= I_A - I_C \\
&= I_p \angle 0^\circ - I_p \angle -240^\circ \\
&= I_p - I_p \{ \cos(-240^\circ) + j \sin(-240^\circ) \} \\
&= I_p - I_p \{ \cos 240^\circ - j \sin 240^\circ \} \\
&= I_p - I_p \left\{ -\frac{1}{2} + j \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right\} \\
I_{AA_1} &= I_p + \frac{1}{2} I_p - j \frac{\sqrt{3}}{2} I_p \\
&= I_p \left(\frac{3}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \\
&= \sqrt{\left(\frac{3}{2} \right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} I_p \angle -\tan^{-1} \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{3}{2}} \\
&= \sqrt{3} I_p \angle -\tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}} \\
I_{AA_1} &= \sqrt{3} I_p \angle -30^\circ \dots\dots\dots(1)
\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama diperoleh :

$$\begin{aligned}
I_{BB_1} &= I_B - I_A \\
I_{BB_1} &= \sqrt{3} I_p \angle -150^\circ \dots\dots\dots(2) \\
I_{CC_1} &= I_C - I_B \\
I_{CC_1} &= \sqrt{3} I_p \angle 270^\circ \dots\dots\dots(3)
\end{aligned}$$

Dari persamaan (1), (2) dan (3), diperoleh :

$$I_L = \sqrt{3} I_p$$

Jadi besarnya arus saluran sama dengan akar tiga kali arus fasa

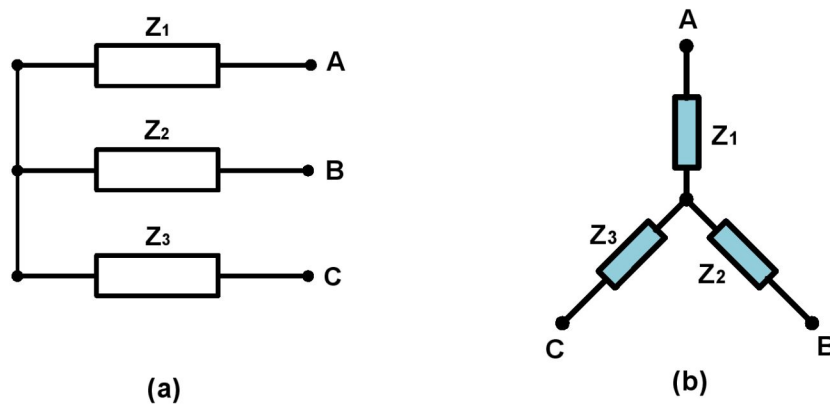
2. Beban Listrik 3 Fasa

Beban listrik 3 fasa, terdiri dari konstanta rangkaian (R,L,C) dan digambarkan dalam bentuk impedansi (Z), untuk beban listrik 3 fasa yang seimbang besarnya impedansi sama $Z_1 = Z_2 = Z_3$.

Beban listrik 3 fasa dapat dihubungkan dalam hubungan bintang (Y) atau hubungan delta (Δ).

5.2.1 Beban Listrik 3 Fasa Hubungan (Y)

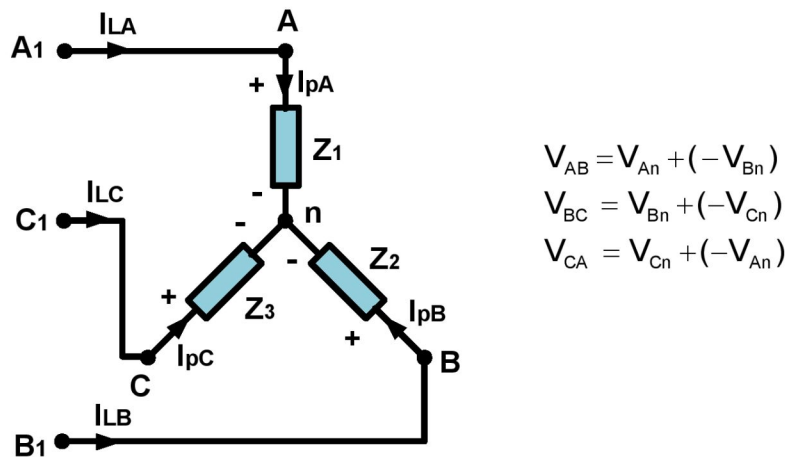
Beban listrik 3 fasa hubungan Y, diperlihatkan pada Gambar 12 (a) diagram pengawatan dan Gambar 12 (b) diagram skematik.



Gambar 8 Beban listrik 3 fasa Hubungan (Y)

1. Tegangan pada Beban Listrik Hubungan (Y)

Hubungan tegangan dan arus pada beban listrik 3 fasa hubungan (Y) diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Tegangan dan Arus pada Hubungan (Y)

Tegangan tiap fasa :

$$V_{An} = V_p \angle 0^\circ$$

$$V_{Bn} = V_p \angle -120^\circ$$

$$V_{Cn} = V_p \angle -240^\circ$$

$$V_{An} = V_{Bn} = V_{Cn} = V_p$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_L$$

V_p : Tegangan fasa

V_L : Tegangan antar saluran

Tegangan antar saluran :

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_{An} + (-V_{Bn}) \\ &= V_p \angle 0^\circ - V_p \angle -120^\circ \end{aligned}$$

$$V_{AB} = \sqrt{3} V_p \angle 30^\circ \dots\dots\dots (1)$$

$$\begin{aligned} V_{BC} &= V_{Bn} + (-V_{Cn}) \\ &= V_p \angle -120^\circ - V_p \angle -240^\circ \end{aligned}$$

$$V_{BC} = \sqrt{3} V_p \angle -90^\circ \dots\dots\dots (2)$$

$$\begin{aligned} V_{CA} &= V_{Cn} + (-V_{An}) \\ &= V_p \angle -240^\circ - V_p \angle 0^\circ \end{aligned}$$

$$V_{CA} = \sqrt{3} V_p \angle -210^\circ \dots\dots\dots (3)$$

Dari persamaan (1), (2) dan (3) diperoleh kesamaan :

$$V_L = \sqrt{3} V_p$$

2. Arus pada Beban listrik 3 Fasa hubungan (Y)

Besarnya arus fasa dan arus saluran dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{pA} = I_{pB} = I_{pC} = I_p$$

$$I_{LA} = I_{LB} = I_{LC} = I_L$$

I_p : Arus fasa

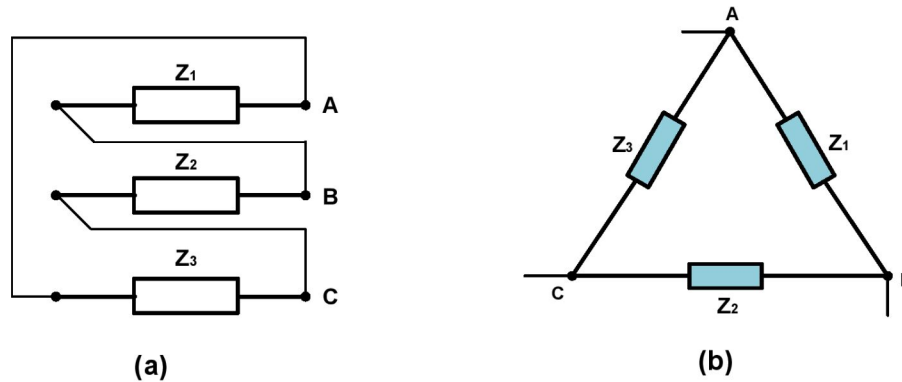
I_L : Arus saluran

Dalam hubungan (Y) besarnya arus saluran sama dengan arus fasa

$$I_L = I_p$$

2.2 Beban Listrik 3 Fasa Hubungan (Δ)

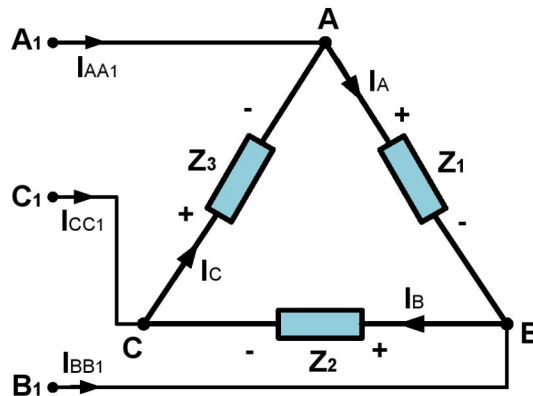
Beban listrik 3 fasa hubungan Δ , diperlihatkan pada Gambr 10 (a) diagram pengawatan dan Gambar 10 (b) diagram skematik.



Gambar 10 Beban listrik 3 fasa Hubungan (Δ)

1. Tegangan pada Beban Listrik Hubungan (Δ)

Hubungan tegangan dan arus pada beban listrik 3 fasa hubungan (Δ) diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Tegangan dan Arus pada Hubungan (Δ)

Beban listrik hubungan Δ , besarnya tegangan fasa dan tegangan antar saluran adalah sama, yaitu :

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_p$$

$$V_{A_1B_1} = V_{B_1C_1} = V_{C_1A_1} = V_L$$

$$V_L = V_p$$

V_p :Tegangan fasa

V_L :Tegangan antar saluran

2. Arus pada Beban Listrik Hubungan (Δ)

Hubungan arus fasa dan arus saluran pada beban listrik hubungan Δ , diperlihatkan pada gambar 11, terlihat bahwa arus fasa besarnya :

$$I_A = I_p \angle 0^\circ$$

$$I_B = I_p \angle -120^\circ$$

$$I_C = I_p \angle -240^\circ$$

Besarnya arus fasa :

$$I_A = I_B = I_C = I_p$$

Besarnya arus saluran :

$$I_{AA_1} = I_{BB_1} = I_{CC_1} = I_L$$

Pada titik hubung (A), berlaku hukum Kirchooff untuk arus : $\sum I = 0$

$$I_{AA_1} + I_C - I_A = 0$$

$$I_{AA_1} = I_A - I_C$$

$$= I_p \angle 0^\circ - I_p \angle -240^\circ$$

$$= \sqrt{3} I_p \angle -30^\circ \dots\dots\dots (1)$$

Dengan cara yang sama diperoleh :

$$I_{BB_1} = I_B - I_A$$

$$I_{BB_1} = \sqrt{3} I_p \angle -150^\circ \dots\dots\dots (2)$$

$$I_{CC_1} = I_C - I_B$$

$$I_{CC_1} = \sqrt{3} I_p \angle 270^\circ \dots\dots\dots (3)$$

Dari persamaan (1), (2) dan (3), diperoleh :

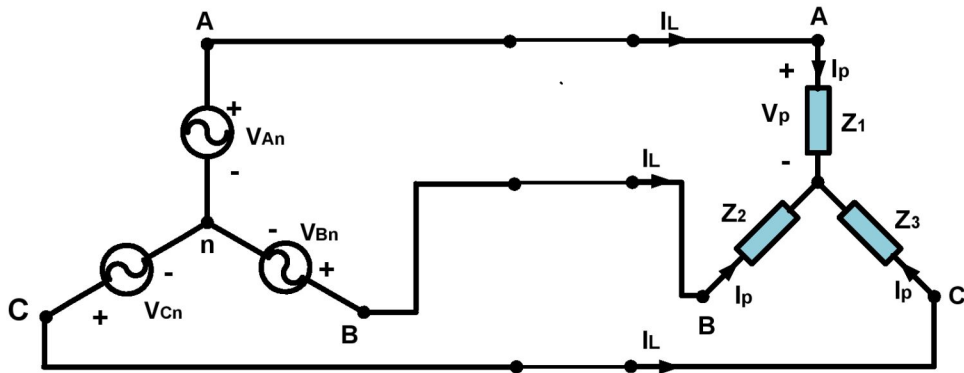
$$I_L = \sqrt{3} I_p$$

Jadi besarnya arus saluran sama dengan akar tiga kali arus fasa

3. Daya Dalam Rangkaian 3 Fasa

3.1 Sumber tegangan 3 fasa dan beban listrik 3 fasa Hubungan (Y)

Sumber tegangan 3 fasa dan beban listrik 3 fasa hubungan Y, diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Sumber Tegangan dengan Beban Listrik 3 Fasa Hubungan (Y)

Besarnya daya 3 fasa dapat dihitung dari daya 1 fasanya sebagai berikut :

Daya nyata 3 fasa :

$$P(3 \text{ fasa}) = 3 \times P(1 \text{ fasa})$$

$$P(3 \text{ fasa}) = 3 V_p I_p \cos \varphi \quad \text{watt}$$

Atau dapat ditulis dengan tegangan antar saluran dan arus saluran :

Beban hubungan (Y) :

$$V_L = \sqrt{3} V_p$$

$$I_L = I_p$$

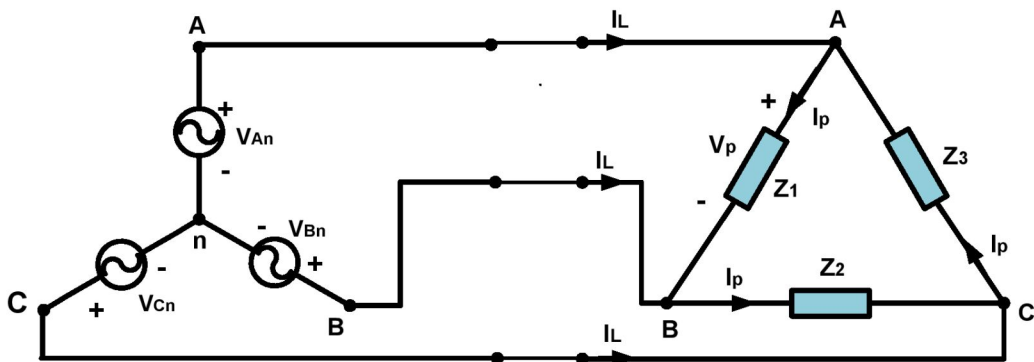
$$P(3 \text{ fasa}) = 3 V_p I_p \cos \varphi$$

$$= 3 \frac{V_L}{\sqrt{3}} I_L \cos \varphi$$

$$P(3 \text{ fasa}) = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad \text{watt}$$

3.2. Sumber tegangan 3 Fasa dan Beban Listrik 3 Fasa Hubungan (Δ)

Sumber tegangan 3 fasa dan beban listrik 3 fasa hubungan Δ , diperlihatkan pada Gambar 13



Gambar 13 Sumber Tegangan dengan Beban Listrik 3 Fasa Hubungan (Δ)

Besarnya daya 3 fasa dapat dihitung dari daya 1 fasanya sebagai berikut :

Daya nyata 3 fasa :

$$P(3 \text{ fasa}) = 3 \times P(1 \text{ fasa})$$

$$P(3 \text{ fasa}) = 3 V_p I_p \cos \varphi \quad \text{watt}$$

Atau dapat ditulis dengan tegangan antar saluran dan arus saluran :

Beban hubungan (Δ) : $V_L = V_p$

$$I_L = \sqrt{3} I_p$$

$$P(3 \text{ fasa}) = 3 V_p I_p \cos \varphi$$

$$= 3 V_L \frac{I_L}{\sqrt{3}} \cos \varphi$$

$$P(3 \text{ fasa}) = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi \quad \text{watt}$$

Dengan cara yang sama untuk beban listrik hubungan (Y), maupun hubungan (Δ), maka dapat dihitung besarnya daya reaktif dan daya semu.

Daya Reaktif :

$$Q(3 \text{ fasa}) = 3 \times Q(1 \text{ fasa})$$

$$Q(3 \text{ fasa}) = 3 V_p I_p \sin \varphi \quad \text{VAR}$$

$$Q(3 \text{ fasa}) = \sqrt{3} V_L I_L \sin \varphi \quad \text{VAR}$$

Daya Semu :

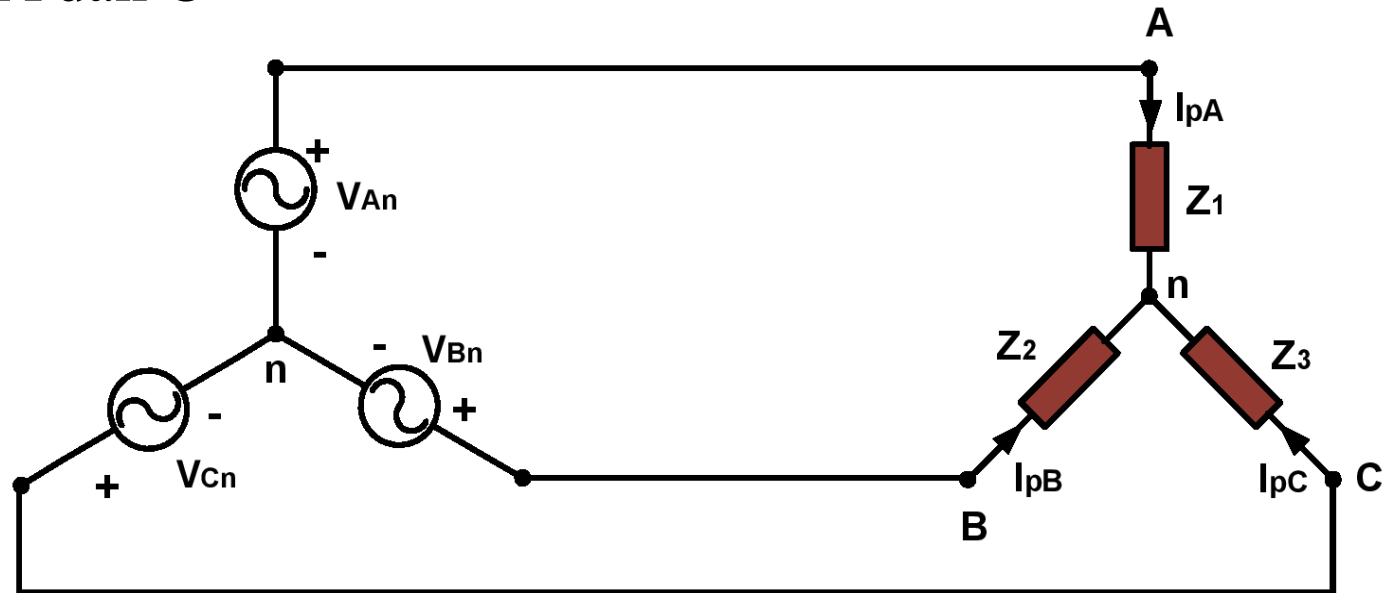
$$S(3 \text{ fasa}) = 3 \times S(1 \text{ fasa})$$

$$S(3 \text{ fasa}) = 3 V_p I_p \quad \text{VA}$$

$$S(3 \text{ fasa}) = \sqrt{3} V_L I_L \quad \text{VA}$$

Contoh Soal

1. Suatu beban listrik 3 fasa yang seimbang, dihubungkan secara bintang (Y) mempunyai impedansi tiap fasa $Z = 4\angle 60^\circ \Omega$. Beban listrik tersebut dicatu dari sumber tegangan 3 fasa, diketahui tegangan pada beban tiap fasa sebesar $V = 20\angle 30^\circ \text{ Volt}$
 - a) Hitung tegangan tiap fasa (bentuk fasor)
 - b) Hitung arus fasa A (I_{pA}) dan arus fasa B (I_{pB})
 - c) Hitung tegangan antara saluran A dan C



2. Tiga impedansi yang sama dihubungkan delta (Δ) dan dicatu oleh sumber tegangan 3 fasa hubung bintang (Y), salah satu tegangan antar saluran adalah $V_{AB} = 240\angle 60^\circ \text{ Volt}$ dan arus fasanya $I_{pA} = 6\angle 200^\circ \text{ Ampere}$.

- a) Hitung tegangan dan arus fasa yang lainnya
- b) Hitung impedansi tiap fasanya

