



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen.

Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

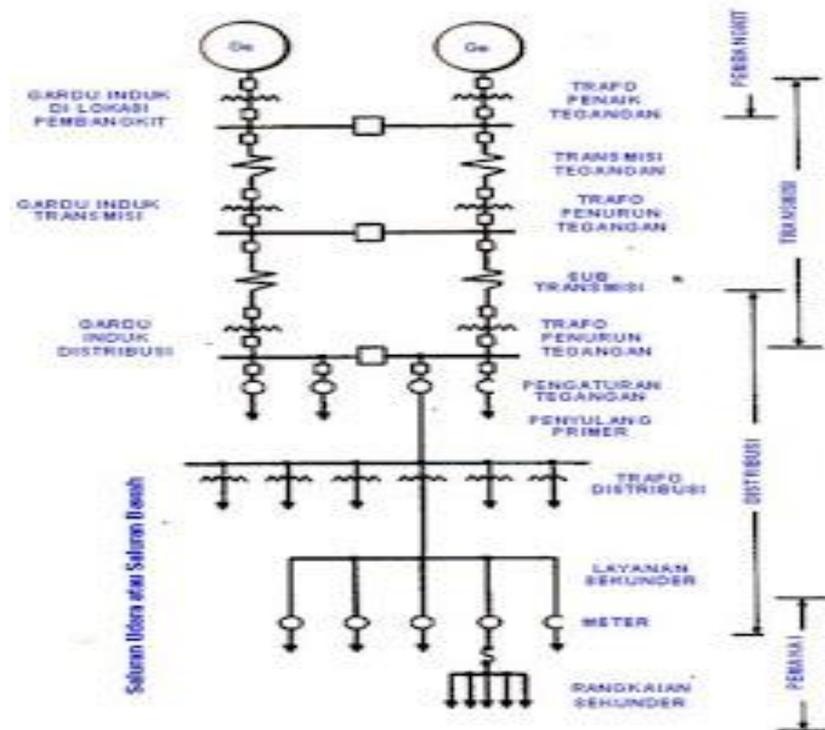
- pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan).
- merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir (I^2R). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



2.2 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2.1. Konfigurasi Sistem Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan - pembatasan seperti pada Gambar diatas:

Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)

Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission) , bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)

Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).

Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah.

2.3 Jaringan Tegangan Rendah

Berdasarkan penempatan jaringan, jaringan tegangan rendah dibedakan menjadi dua:

2.3.1 Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Saluran ini merupakan penghantar yang ditempatkan di atas tiang (di udara). Ada dua jenis penghantar yang digunakan, yaitu penghantar tak berisolasi



(kawat) dan penghantar berisolasi (kabel). Penghantar tak berisolasi mempunyai berbagai kelemahan, seperti rawan pencurian dan rawan terjadi gangguan fasa-fasa maupun fasa-netral, tetapi memiliki keunggulan harga yang relatif murah dan mudah dalam hal pengusutan gangguan. Sedang penghantar berisolasi memiliki keuntungan dan kerugian yang saling berlawanan dengan penghantar tak berisolasi. Pada umumnya PT. PLN (Persero) menggunakan SUTR dengan isolasi (kabel pilin), dengan inti aluminium. Standar ukuran kabel yang digunakan adalah $3 \times 70 + 50 \text{ mm}^2$.

2.3.2 Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

Saluran ini menempatkan kabel di bawah tanah, tujuan utama penempatan di bawah tanah pada umumnya karena alasan estetika, sehingga penggunaan SKTR umumnya adalah kompleks perumahan dan daerah perindustrian. Keuntungan penggunaan kabel ini adalah estetika yang lebih indah, tidak terganggu oleh pengaruh-pengaruh cuaca. Kelemahan kabel ini adalah jika terjadi gangguan sulit menemukan lokasinya dan jika terjadi pencurian dengan suntikan di bawah tanah petugas P2TL kesulitan mengungkapkannya.

2.4 Transformator

Transformator adalah suatu perlengkapan listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi magnetik (Zuhal, 1975).

Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnetik menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan rangkaian sekunder.

Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama.

Berdasarkan sifat tegangan masukan dan keluarannya,

transformator dibedakan menjadi dua jenis, yaitu :

- a. Transformator penaik tegangan (*step up*), di mana tegangan pada terminal belitansekunder (output) lebih besar dari pada tegangan pada terminal belitan primer (input).



- b. Transformator penurun tegangan (*step down*), di mana tegangan pada terminal belitan sekunder (output) lebih kecil dari pada tegangan pada terminal belitan primer (input).

Berdasarkan pemakaian di dalam bidang tenaga listrik, transformator dibedakan menjadi :

1. Transformator daya, digunakan pada sistem transmisi tegangan tinggi atau sistem transmisi tegangan ekstra tinggi. Transformator ini ditempatkan pada suatu gardu induk.
2. Transformator distribusi, digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi sebagai penurun tegangan, dari tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator ini ditempatkan pada suatu gardu distribusi atau ditempatkan pada tiang distribusi.
3. Transformator pengukuran, yang berfungsi untuk membantu dalam pengukuran listrik.

2.5 Transformator Distribusi

Transformator distribusi yang umum digunakan adalah *transformator step down* 20 / 0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt karena terjadi drop tegangan maka tegangan pada rak TR dibuat diatas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt. Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber listrik arus bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan *ferromagnet* akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks = Φ).

Karena arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik maka fluks yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah. Jika arus yang mengalir berbentuk sinus maka fluks yang terjadi akan berbentuk sinus pula karena fluks tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat lilitan primer dan lilitan sekunder maka pada lilitan primer dan sekunder tersebut akan timbul GGL (gaya gerak listrik) induksi, tetapi arah dari GGL induksi primer berlawanan dengan arah GGL induksi sekunder sedangkan frekuensi masing-masing tegangan tersebut sama dengan frekuensi sumbernya.



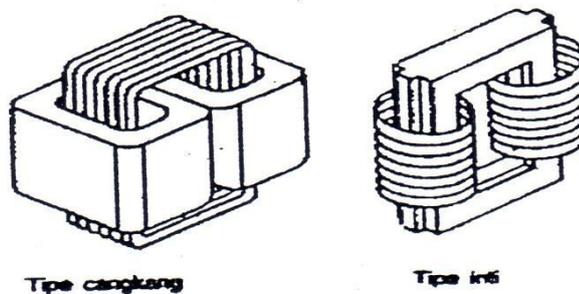
2.5.1 Bentuk dan Konstruksi Transformator.

Konstruksi transformator distribusi terdiri dari beberapa bagian :

1. Inti, terbuat dari lempengan-lempengan pelat besi lunak atau baja silikon yang diklem menjadi satu.
2. Belitan, terbuat dari tembaga yang letaknya dibelitkan pada inti dengan bentuk konsentrik atau *spiral*.
3. Sistem pendinginan, (pada transformator dengan kapasitas besar).
4. *Bushing*, berfungsi untuk menghubungkan rangkaian dalam dari transformator ke rangkaian luar, (pada transformator daya).
5. *Arrester*, sebagai pengaman trafo terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir dan *switching* (SPLN se.002/PST/73).

Bila dilihat dari letak belitannya, maka transformator terdiri dari :

1. Transformator jenis inti (*core type*), yaitu transformator dengan belitannya mengelilingi inti.
2. Transformator jenis cangkang (*shell type*), inti transformator ini mengelilingi belitannya.



Gambar 2.2 Tipe kumparan transformator

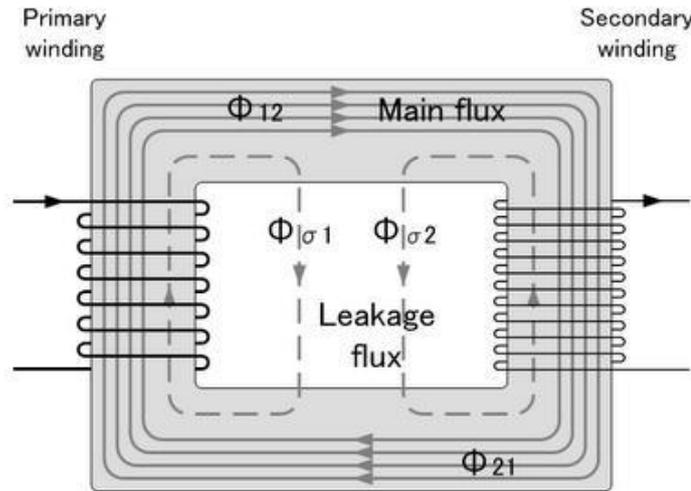
2.5.2 Prinsip kerja transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan Hukum *ampere* dan Hukum *faraday*, yaitu arus listrik menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Adapun gambar prinsip kerja transformator dapat dilihat pada gambar 2.7.

Jika pada sisi kumparan primer transformator diberi arus bolak-balik,



maka pada kumparan tersebut akan timbul sejumlah garis-garis gaya magnet atau fluksi. Garis gaya magnet selalu berubah-ubah menurut bentuk gelombang sinusoidal yang mengakibatkan pada kumparan sisi primer terjadi induksi.



Gambar 2.3 Prinsip kerja transformator

Kumparan sekunder akan menerima garis gaya magnet atau fluksi yang berubah-ubah dan mempunyai harga yang sama dengan jumlah garis gaya yang dikeluarkan sisi primer, sehingga pada sisi sekunder terjadi induksi. Besarnya ggl induksi yang dihasilkan masing-masing kumparan berbanding lurus dengan jumlah lilitannya, sehingga didapat :

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

e_1 = ggl induksi sesaat pada sisi primer

e_2 = ggl induksi sesaat pada sisi sekunder

N_1 = jumlah lilitan kumparan primer

N_2 = jumlah lilitan kumparan sekunder

Jika dianggap bahwa tidak ada daya yang hilang, maka daya yang dilepas sisi primer sama dengan daya yang diterima sisi sekunder :

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (2.4)$$



Dimana

E_1 = ggl induksi sisi primer

E_2 = ggl induksi sisi sekunder

I_1 = arus sisi primer

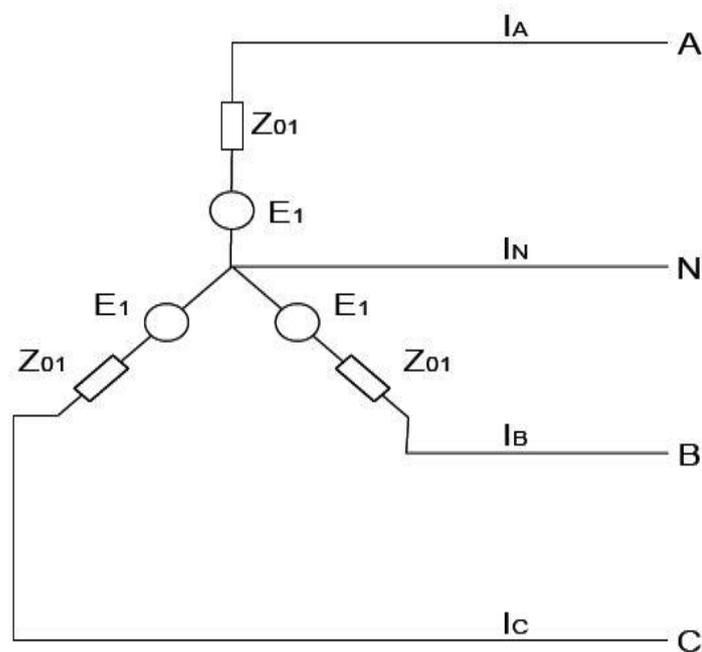
I_2 = arus sisi sekunder

2.6 Hubungan Tiga Fasa Dalam Transformator

Secara umum hubungan belitan tiga fasa terbagi atas dua jenis, yaitu hubungan wye (Y) dan -hubungan masingbelitandeltaini (Δ). Masing-masing hubungan belitan ini memiliki karakteristik arus dan tegangan yang berbeda-beda, selanjutnya akan dijelaskan dibawah. Baik sisi primer maupun sekunder masing-masing dapat dihubungkan wye ataupun delta. Kedua hubungan ini dapat dijelaskan secara terpisah, yaitu :

2.6.1 Hubungan wye (Y)

Hubungan ini dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga belitan transformator yang memiliki rating yang sama.



Gambar 2.4 Hubungan wye



Dari gambar 2.8 dapat diketahui sebagai berikut,

$$I_A = I_B = I_C = I_{L-L} \text{ (ampere)}$$

$$I_{L-L} = I_{ph} \text{ (ampere)(2.5)}$$

Dimana :

I_{L-L} = Arus phasa - phasa

I_{ph} = Arus phasa - netral

Dan,

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \text{ (volt)}$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3}V_{PH} = \sqrt{3}E_1 \text{ (volt)(2.6)}$$

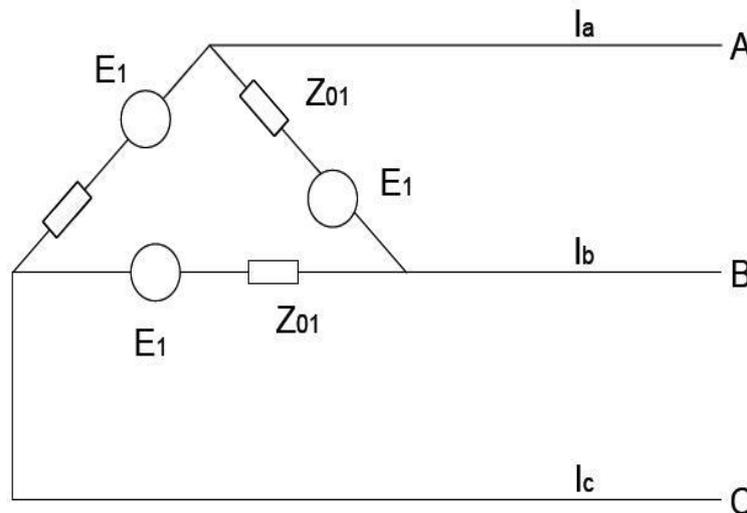
Dimana :

V_{L-L} = Tegangan fasa - fasa

V_{PH} = Tegangan fasa – netral

2.6.2 Hubungan delta (Δ)

Hubungan delta ini juga mempunyai tiga buah belitan dan masing-masing memiliki rating yang sama.



Gambar 2.5 hubungan delta

$$I_A = I_B = I_C = I_{L-L} \text{ (ampere)}$$

$$I_{L-L} = \sqrt{3} I_{PH} \text{ (ampere)(2.7)}$$



Dimana :

I_{L-L} = Arus phasa - phasa

I_{ph} = Arus phasa – netral

Dan,

$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$ (volt)

$V_{L-L} = V_{PH} = E_1$ (volt).....(2.8)

Dimana :

V_{L-L} = Tegangan fasa - fasa

V_{PH} = Tegangan fasa – netral

2.7 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Pembebanan Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

S = daya transformator (VA)

V = tegangan sisi primer transformator (V) I = arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana :

I_{FL} = arus beban penuh (A)

S = daya transformator (VA)

V = tegangan sisi sekunder transformator (V)

Besarnya persentase kenaikan beban yang di layani dapat dihitung dengan :

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{rata-rata \text{ beban}}}{I_{beban \text{ penuh transformator}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana :

$I_{rata-rata \text{ beban}}$ = Arus rata-rata beban yang digunakan (A)

$I_{beban \text{ penuh transformator}}$ = Arus beban penuh transformator (A)



2.8 Rugi-rugi Transformator

Rugi-rugi pada transformator dapat digolongkan dalam dua keadaan, yaitu keadaan tanpa beban dan keadaan berbeban.

2.8.1 Rugi-rugi transformator tanpa beban

Rugi-rugi yang terjadi pada transformator tanpa beban adalah rugi besi atau rugi inti, yang terdiri dari rugi histerisis dan rugi arus eddy. Rugi histerisis timbul akibat fluks bolak-balik pada inti besi, yang dinyatakan sebagai :

$$P_h = k_h \cdot F \cdot B_m^{1.6} \text{ watt} \dots\dots\dots(2.12)$$

Rugi arus eddy timbul akibat adanya arus pusar pada inti besi, yang dinyatakan sebagai :

$$P_e = K_e \cdot F^2 \cdot B_m^2 \text{ watt} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

B_m = rapat fluksi maksimum (ϕ / m^2)

K_h = konstanta histerisis, tergantung pada bahan inti

K_e = konstanta arus eddy, tergantung pada volume inti

F = frekuensi jala-jala (Hz)

Dari persamaan rugi-rugi transformator tanpa beban, dapat diketahui besarnya total rugi inti (besi).

$$P_{total \text{ inti}} = P_h + P_e$$

$$(K_h \cdot F \cdot B_m^{1.6}) + (K_e \cdot F^2 \cdot B_m^2) \dots\dots\dots(2.14)$$

Besarnya rugi-rugi inti ditentukan berdasarkan hasil pengujian transformator, namun secara teoritis dapat dicari berdasarkan nilai (harga) pembebanan yang berbeda dan bekerja pada efisiensi dan faktor daya yang sama

2.8.2 Rugi-rugi transformator berbeban

Rugi-rugi yang terjadi pada transformator berbeban besarnya selalu berubah-ubah, hal ini tergantung pada arus beban yang mengalir pada tahanan transformator. Besarnya arus beban ini tergantung pada beban yang dioperasikan transformator. Sehingga rugi transformator dalam keadaan berbeban merupakan



perkalian kwadrat arus dengan tahanan transformator, yang dikenal sebagai rugi tembaga (P_{cu}), rugi tembaga kumparan primer primer dan sekunder berturut-turut adalah :

$$P_{CU1} = I_1^2 \cdot R_1 \dots\dots\dots (2.15)$$

$$P_{CU2} = I_2^2 \cdot R_2 \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan demikian rugi tembaga total adalah :

$$\begin{aligned} P_{CU} &= P_{CU1} + P_{CU2} \\ &= I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 \dots\dots\dots (2.17) \end{aligned}$$

Karena $I_2 = a I_1$, maka persamaan dapat juga ditulis dengan

$$\begin{aligned} P_{CU} &= I_1^2 + (aI_1)^2 \\ &= I_1^2 (R_1 + a^2 R_2) \\ &= I_1^2 R_{ek1} \dots\dots\dots (2.18) \end{aligned}$$

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah :

$$P_{\text{rugi total}} = \text{Rugi cu} + \text{Rugi inti} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.9 Ketidakseimbangan Pembebanan Pada Trafo Distribusi

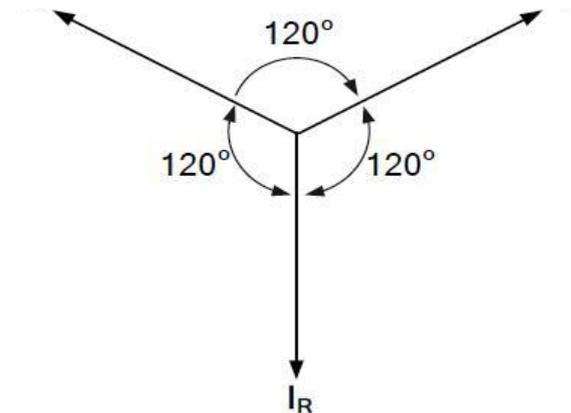
Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah.

2.9.1 Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana ketiga vektor arus / tegangan sama besar atau ketika ketiga vektor saling membentuk sudut 120° . Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang:



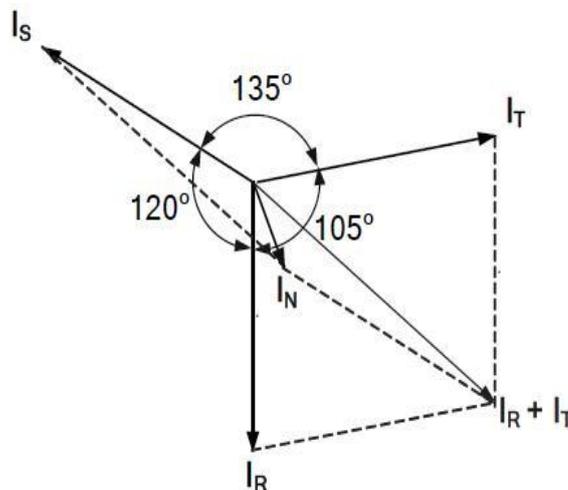
- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.6 vektor diagram arus keadaan seimbang

Gambar 2.6 menunjukkan diagram vektor arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N).

Sedangkan pada gambar 2.7 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari beberapa besar faktor ketidakseimbangannya.



Gambar 2.7 vektor diagram arus keadaan tidak seimbang



Sehingga rumus yang digunakan untuk menghitung arus pada penghantar netral ialah sebagai berikut :

$$I_N = I_R + I_S + I_T \dots\dots\dots(2.20)$$

$$I_N = I_R \angle 0^\circ + I_S \angle 120^\circ + I_T \angle 240^\circ$$

$$\begin{aligned} I_N &= I_R (\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + I_S (\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) + I_T (\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) \\ &= I_R \cos 0^\circ + j I_R \sin 0^\circ + I_S \cos 120^\circ + j I_S \sin 120^\circ + I_T \cos 240^\circ + j I_T \sin 240^\circ \end{aligned}$$

2.9.2 Penyebab ketidakseimbangan

Pada dasarnya, ada 3 sumber penyebab terjadinya ketidakseimbangan sistem 3 fasa ini, yaitu :

1. Tidak seimbang tegangan sejak pada sumbernya

Tegangan tak simetris pada output generator 3 fasa bisa saja terjadi (walaupun jarang) karena kesalahan teknis pada ketiga berkas kumparan dayanya (jumlah lilitan atau resistansi).

2. Tidak seimbang tegangan pada salurannya

Hal demikian dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

- a) Konfigurasi ketiga saluran secara total tidak seimbang, sehingga total kapasitansinya tidak seimbang. Keadaan demikian dapat terjadi pada penyaluran jarak jauh dan bertegangan tinggi, dimana jarak rata-rata masing-masing saluran fasa terhadap tanah tidak sama.
- b) Resistansi saluran tidak sama karena jenis bahan konduktor yang berbeda
- c) Resistansi saluran tidak sama karena ukuran konduktor tidak sama
- d) Resistansi saluran tidak sama karena jarak antara masing-masing saluran fasa dengan beban tidak sama (besar R dipengaruhi oleh jarak l).

3. Tidak seimbang pada resistansi bebannya

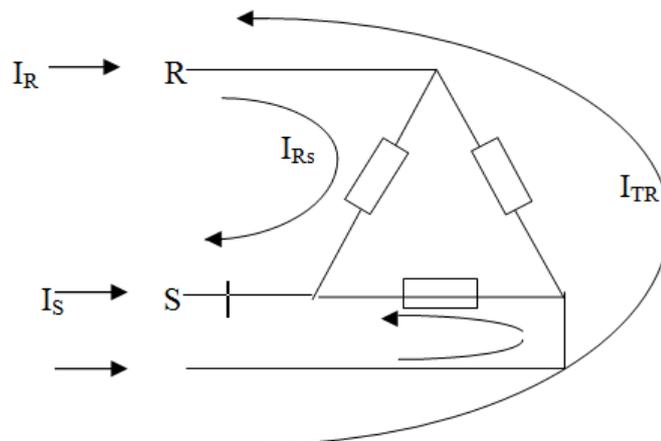
Besar I (arus beban) ditentukan oleh besar R (beban), maka pada keadaan tidak seimbang: $R_R \neq R_S \neq R_T$, maka arus bebannya: I_R kondisi tak seimbang pada tegangan sisi terima, tidak seimbangnnya beban ini

adalah suatu hal yang paling sering terjadi dalam praktek, antara lain oleh adanya

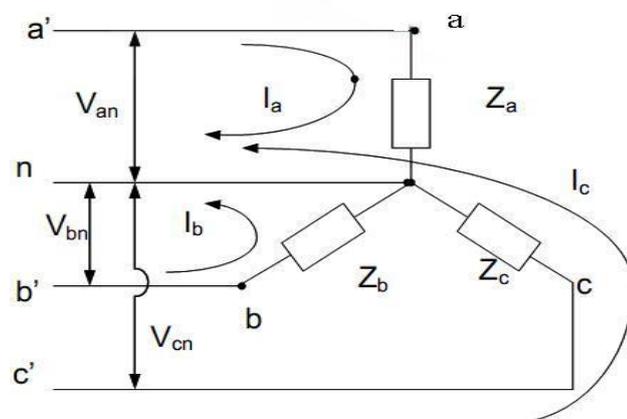


sambungan-sambungan di luar perhitungan dan perencanaan. Upaya teknis memang perlu dilakukan, agar diperoleh keadaan pembebanan yang seimbang. Pada sistem 3 fasa yang menggunakan saluran netral, dalam keadaan beban simetris maka arus yang lewat saluran nol adalah benar-benar nol (netral), tetapi bila terjadi keadaan tak simetris, maka sebagian arus (berupa arus resultan) akan lewat saluran netral ini, sehingga saluran tersebut menjadi tidak netral lagi.

Penyelesaian beban tak seimbang untuk hubungan bintang adalah sebagai berikut paada sistem 4 kawat, masing-masing fase akan mengalirkan arus yang tak seimbang menuju Netral (pada sistem empat kawat). Sedangkan pada sistem tiga kawat akan mengakibatkan tegangan yang berubah cukup signifikan dan meunculkan suatu netral yang berbeda dari netral yang semestinya.



Gambar 2.8 Beban tak seimbang terhubung delta



Gambar 2.9 Beban tidak seimbang terhubung Y



2.9.3 Penyaluran daya pada keadaan seimbang

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana :

- P = daya pada ujung kirim
- I = arus kirim
- V = tegangan pada ujung kirim
- cos = faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Penyusutan daya ini dapat diterangkan dengan menggunakan diagram fasor tegangan saluran model fasa tunggal seperti terlihat pada gambar 2.9. Model ini dibuat dengan asumsi bahwa arus pemuatan kapasitif pada saluran cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian besarnya arus di ujung kirim sama dengan arus di ujung terima. Apabila tegangan dan faktor daya pada ujung terima berturut-turut adalah V' dan $\cos \phi'$, daya pada ujung terima adalah :

$$P' = 3 \cdot [V'] \cdot [I] \cdot \cos \phi' \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana :

- P' = daya pada ujung terima
- I = arus terima
- V' = tegangan pada ujung terima
- $\cos \phi'$ = faktor daya ujung terima

Selisih antara P pada persamaan (2.21) dan P' pada persamaan (2.22) memberikan susut daya saluran, yaitu :

$$P_l = P - P'$$

$$P_l = 3 \cdot I [V \cdot \cos \phi - V' \cos \phi'] \dots\dots\dots (2.23)$$

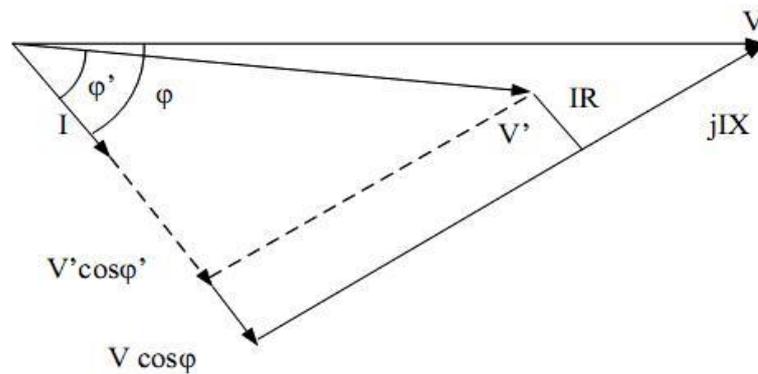


Sementara itu gambar 2.9 memperlihatkan bahwa:

$$[V \cdot \cos \varphi - V' \cos \varphi'] = I \cdot R$$

Dengan R adalah tahanan kawat penghantar tiap fasa. Oleh karena itu persamaan (2.24) berubah menjadi:

$$P_1 = 3 \cdot I^2 \cdot R \dots \dots \dots (2.24)$$



Gambar 2.10 diagram fasor tegangan saluran daya model fasa

2.9.4 Penyaluran daya pada keadaan tidak seimbang

Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 [I_R] &= a [I] \\
 [I_S] &= b [I] \dots \dots \dots (2.25) \\
 [I_T] &= c [I]
 \end{aligned}$$

Dengan I_R, I_S, I_T berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai:

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \dots \dots \dots (2.26)$$



Apabila persamaan (2.25) dan persamaan (2.21) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persamaan untuk koefisien a, b dan c yaitu:

$$a + b + c = 3$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$, maka untuk mencari % ketidakseimbangan digunakan persamaan:

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{[|a-1|+|b-1|+|c-1|]}{3} \times 100\% \dots\dots\dots(2.27)$$

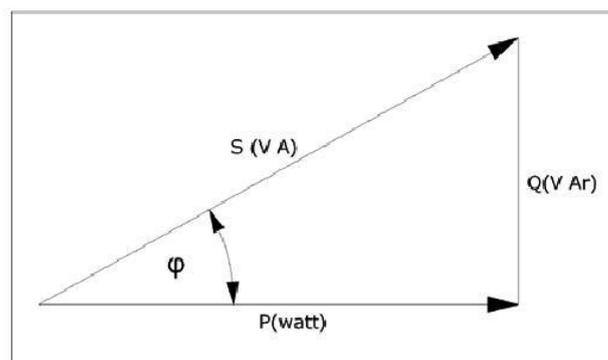
2.10 Faktor Daya

Pengertian faktor daya ($\cos \varphi$) adalah perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu (S). Dari pengertian tersebut, faktor daya ($\cos \varphi$) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Faktor Daya} &= \frac{\text{Daya Aktif}}{\text{Daya Semu}} \\ &= \frac{P}{S} \\ &= \frac{V.I.\cos \varphi}{V.I} \end{aligned}$$

$$\text{Faktor Daya} = \cos \varphi$$

Untuk menjelaskan tentang daya-daya dapat dilihat pada segitiga daya berikut ini:



Gambar 2.11 Segitiga Daya

$$\text{Daya Semu (S)} = V.I \text{ (VA)}$$

$$\text{Daya Aktif (P)} = V.I.\cos \varphi = S.\cos \varphi \text{ (Watt)}$$

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = V.I.\sin \varphi = S.\sin \varphi \text{ (Watt)}$$



2.11. Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Saluran Netral Sekunder Transformator dan arus yang mengalir ke tanah

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo menyebabkan rugi-rugi. Rugi-rugi pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana :

P_N = rugi-rugi pada penghantar netral trafo (watt)

I_N = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N = tahanan penghantar netral trafo (Ω).

Sedangkan rugi-rugi yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots \dots \dots (2.29)$$

Dimana :

P_G = rugi-rugi akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G = tahanan pembumian netral trafo (Ω)