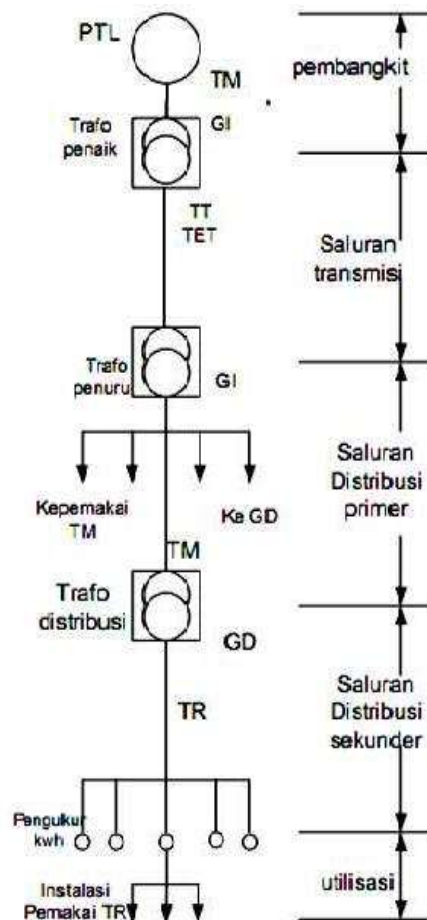


BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Komponen Pada Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah keseluruhan komponen dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan secara langsung antara sumber daya yang besar (seperti pada gardu transmisi) dengan konsumen tenaga listrik. Secara umum sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Jaringan distribusi primer merupakan sistem tenaga listrik yang mendistribusikan/menyalurkan daya listrik dari gardu transmisi ke gardu distribusi dengan tegangan kerja 20 kV. Untuk tegangan menengah (TM) atau tegangan jaringan primer terdiri dari sistem 3 fasa. Jaringan distribusi primer berfungsi menyalurkan daya listrik, melewati daerah asuhan ke gardu/transmutor distribusi. Jaringan distribusi primer dilayani oleh gardu hubung (GH)/langsung dari gardu induk atau dari pusat pembangkit. Secara umum yang termasuk kedalam sistem distribusi antara lain:

1. Gardu Induk

Gardu induk merupakan unit didalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menerima daya dari sistem transmisi untuk kemudian diteruskan sistem distribusi. Didalam Gardu Induk ini tegangan dari sistem transmisi (150kV – 500kV) akan diubah menjadi tegangan untuk distribusi (20kV).

2. Jaringan Subtransmisi

Jaringan subtransmisi merupakan jaringan yang berfungsi untuk mengalirkan daya dari GI menuju gardu Distribusi. Namun jaringan subtransmisi belum tentu ada di seluruh sistem distribusi, karena jaringan subtransmisi merupakan jaringan dengan tegangan peralihan. Seandainya pada jaringan transmisi tegangan yang dipakai adalah 550 kV, maka setelah masuk GI tegangan menjadi 150 kV (belum termasuk tegangan untuk distribusi). Sehingga jaringan ini disebut subtransmisi karena masih bertegangan tinggi.

3. Gardu Distribusi Utama

Gardu Distribusi merupakan unit dalam sistem distribusi yang berfungsi untuk menyalurkan daya dari GI atau dari jaringan subtransmisi untuk kemudian disalurkan kepada penyulang primer atau langsung kepada konsumen.

4. Saluran Penyulang Utama

Saluran penyulang utama merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menghubungkan antar gardu distribusi utama dengan gardu transformator distribusi atau menghubungkan GI dengan gardu transformator distribusi.

5. Transformator Distribusi

Transformator distribusi berada didalam gardu gardu distribusi. Berfungsi untuk mengubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (220/380 V). Kemudian daya dengan tegangan rendah tersebut disalurkan kepada konsumen.

6. Rangkaian Sekunder

Rangkaian sekunder merupakan rangkaian yang berasal dari gardu gardu distribusi yang berfungsi untuk melayani konsumen yang tersebar di sepanjang simpul simpul distribusi.

2.2 Teori Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder.

Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Ampere dan hukum Faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

2.3 Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

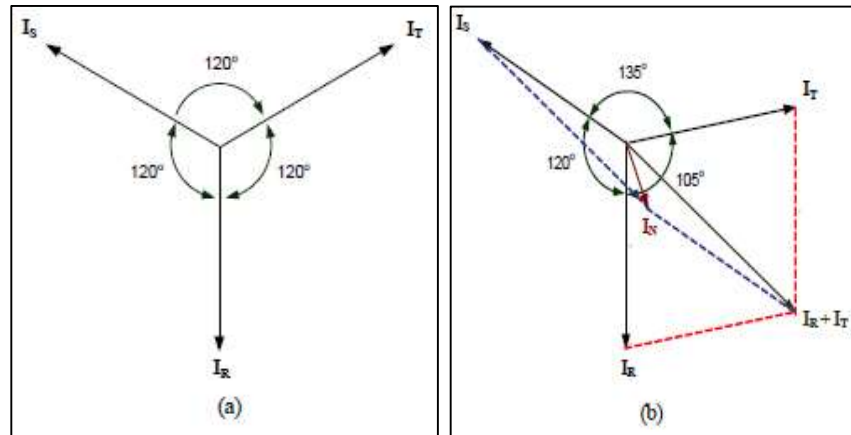
- a) Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- b) Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

- a) Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- b) Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.

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



Gambar 2.2. Vektor Diagram Arus

Gambar 2.2.a menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini 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 2.2.b menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini 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 seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.4 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (kV)

I = arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) pada sisi sekunder dapat menggunakan persamaan :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan persentase pembebanan transformator distribusi dapat menggunakan persamaan:

$$\% \text{Pembelanan} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan,

$$I_{rata-rat} = \frac{I_R + I_S + I_T}{I_{FL}} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

I_{FL} = arus beban penuh (A)

I_R = arus beban fasa R (A)

I_S = arus beban fasa S (A)

I_T = arus beban fasa T (A)

2.5 Losses (rugi-rugi) Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Transformator.

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

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:

P_N = *losses* pada penghantar netral trafo (watt)

I_N = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N = tahanan penghantar netral trafo (Ω)

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

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana:

P_G = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G = tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2.6 Penyaluran dan Susut Daya

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:

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.7)$$

dengan:

P = daya pada ujung kirim

V = tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$ = faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran.

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 :

$$[I_R] = a [I]$$

$$[I_S] = b [I]$$

$$[I_T] = c [I] \dots\dots\dots (2.8)$$

dengan I_R , I_S dan 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 :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \dots\dots\dots (2.9)$$

Apabila persamaan (7) dan persamaan (5) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$

2.7 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_{rata-rata} = \frac{IR + IS + IT}{3} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata, maka koefisien a, b dan c diperoleh dengan :

$$IR = a \cdot I_{rata-rata} \text{ maka: } a = \frac{IR}{I_{rata-rata}}$$

$$IS = b \cdot I_{rata-rata} \quad b = \frac{IS}{I_{rata-rat}}$$

$$IT = c \cdot I_{rata-rata} \quad c = \frac{IT}{I_{rata-rata}}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$\% \text{ ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.12)$$

Berdasarkan Prosedur Test Pengukuran unjuk kerja Transformator distribusi yang dilakukan oleh PLN, standar ketidakseimbangan beban yang diizinkan adalah maksimum sebesar 25%. Sedangkan menurut standard IEC ketidakseimbangan beban yang diijinkan adalah 5%