

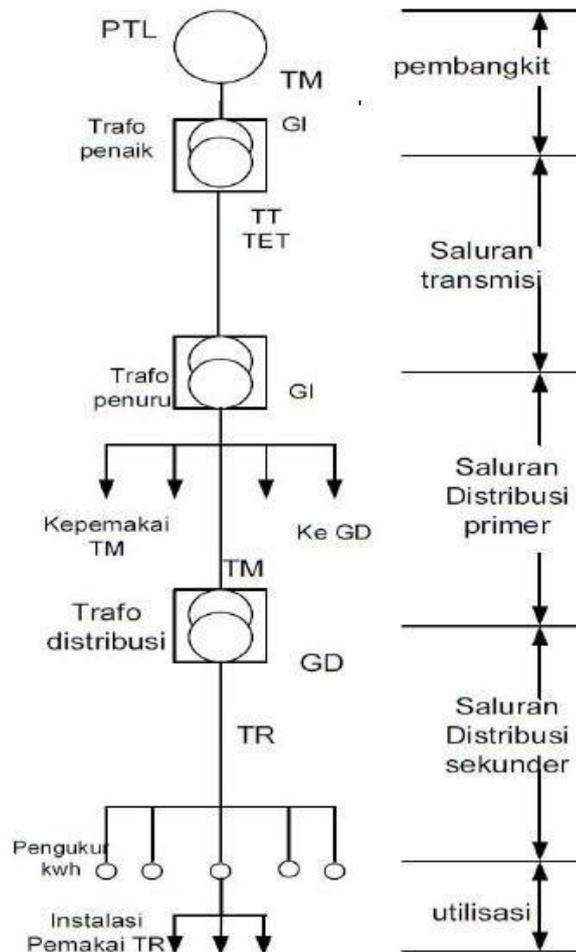
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

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; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) 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 tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV 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 ($I^2.R$). 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.



Gambar 2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.2 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum, saluran tenaga Listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2.2.1 Menurut Nilai Tegangannya

2.2.1.1 Saluran Distribusi Primer

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation (G.I.) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan, bisa disebut jaringan distribusi.

2.2.1.2 Saluran distribusi sekunder

Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (Lihat Gambar 2.1)

2.2.2 Menurut bentuk tegangannya

- a. Saluran Distribusi DC (*Direct Current*) menggunakan sistem tegangan searah.
- b. Saluran Distribusi AC (*Alternating Current*) menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

2.2.3 Menurut Jenis/Tipe Konduktornya

- a. Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan support (tiang) dan perlengkapannya, dibedakan atas:
 - Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
 - Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
- b. Saluran Bawah Tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (ground cable).
- c. Saluran Bawah Laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (submarine cable).

2.3 Konstruksi Gardu Tiang

2.3.1 Ruang Bebas Hambatan (*Right of Way*) dan Jarak Aman (*Safety Distance*)⁴

Ruang bebas hambatan atau *right of way* pada Gardu Tiang adalah daerah bebas dimana gardu tersebut berlokasi. Pada ruang bebas tersebut tidak ada penghalang yang menyebabkan komponen gardu beserta kelengkapannya bersentuhan dengan pohon atau bangunan. Tersedia akses jalan masuk-keluar gardu untuk keperluan kegiatan operasi dan pemeliharaan/perbaikan gardu. Jarak aman

bagian Gardu Tiang di sisi 20 kV sesuai dengan ketentuan Saluran Udara Tegangan Menengah adalah 2,5 meter dari sisi terluar konstruksi gardu.

2.3.2 Spesifikasi Peralatan Gardu Tiang

2.3.2.1 Tiang

Tiang yang dipergunakan untuk Gardu Distribusi jenis ini dapat berupa tiang besi ataupun tiang beton berkekuatan beban kerja sekurang-kurangnya 500 daN, dengan panjang 11 atau 12 meter.

2.3.2.2 Peralatan Hubung dan Proteksi

Karakteristik listrik komponen utama instalasi Gardu Tiang yang harus dipenuhi pada sisi Tegangan Menengah (TM), adalah :

- Tegangan Pengenal : 24 kV
- Frekuensi pengenal : 50 Hz
- Ketahanan isolasi terhadap tegangan impuls kering standar : 125 kV
- Inpulse DC test selama 1 menit : 50 kV
- Ketahanan tegangan jarak isolasi di udara :
 - a. Tegangan impuls, kering (puncak) : 145 kV
 - b. Inpulse DC voltage selama 1 menit : 50 kV
 - c. Ketahanan terhadap arus hubung singkat (1 detik) : 12.5 kV
 - d. Ams maksimum gangguan ke bumi selama 1 detik : 1 kA
 - e. Tegangan uji terhadap sirkuit buntu : 2 kV
 - f. Tegangan surja hubung dan Pemutus Tenaga hampa udara harus cocok untuk transformator terendam minyak (tanpa penangkap petir) dengan tingkat isolasi dasar (BIL) : 125 kV

Karakteristik listrik komponen utama instalasi Gardu Tiang yang harus dipenuhi pada sisi Tegangan Rendah, adalah :

- a. Tegangan pengenal : 230/400 V
- b. Frekuensi pengenal : 50 Hz
- c. Tingkat isolasi dasar (puncak) : 6 kV

- d. Arus ketahanan waktu singkat selama 1 detik,
 - PHB250/500/630 A : 0.5 kA
 - PHB 800 A : 0.5 kA
 - PHB 1200 A : 0.5 kA
- e. KHA Busbar :250/400/630/
800/1200 A
- f. Kapasitas pengaman lebur HRC : 25 kA/400 V
- g. Tegangan ketahanan frekuensi daya selama 1 menit : 2,5 kV

2.4 Jenis Konstruksi Gardu Tiang

2.4.1 Gardu Portal

Gardu Portal adalah gardu listrik tipe terbuka (out-door) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang – kurangnya 3 meter di atas tanah dan ditambahkan platform sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan. Transformator dipasang pada bagian atas dan lemari panel / PHB-TR pada bagian bawah.

- 1) **Gardu Portal 50 kVA – 100 kVA, 2 jurusan TR PHB-TR**
gardu ini dirancang untuk 2 Jurusan Jaringan Tegangan Rendah.
- 2) **Gardu Portal 160 – 400 kVA, 4 Jurusan TR PHB-TR**
gardu ini dirancang untuk 4 Jurusan Jaringan Tegangan Rendah.
- 3) **Gardu Portal Pelanggan Khusus**
Gardu Portal untuk pelanggan khusus Tegangan Rendah dan Tegangan Menengah.
- 4) **Gardu Portal SKTM**
 - a) **Gardu Portal SKTM Antenna**



Gambar 2.2 Gardu Portal.

Gardu Portal ini lazimnya dibangun pada sistem distribusi Tegangan Menengah dengan kabel bawah tanah yang karena keterbatasan lahan, catu daya TM diperoleh dari Gardu Beton terdekat dengan SKTM bawah tanah dengan panjang tidak melebihi 100 meter. Untuk gardu portal antenna, kubikel pengaman transformator ditempatkan pada gardu pemberi catu daya.

b) Gardu Portal RMU/Modular

Gardu Portal ini adalah gardu listrik dengan konstruksi sama dengan gardu Portal, dengan penempatan kubikel jenis RMU/modular dalam lemari panel (metal clad) yang terhindar dari air hujan dan debu, dan dipasangkan pada jaringan SKTM.

2.5 Transformator

2.5.1 Umum

Transformator merupakan suatu alat elektromagnetik, yang mengubah energi listrik dari satu tingkat tegangan ke tegangan yang lain. Hal ini dilakukan dengan perantaraan suatu medan magnet. Transformator terdiri atas dua kumparan yang digulung pada satu inti feromagnet. Kumparan-kumparan itu pada umumnya tidak berhubungan secara elektrik, melainkan secara magnetik melalui suatu fluks magnet yang berada di dalam inti feromagnet.

Salah satu kumparan dihubungkan pada sumber energi listrik. Kumparan ini dinamakan kumparan primer, yang memiliki sejumlah N_s belitan, dihubungkan pada beban listrik dan dinamakan kumparan sekunder.

2.5.2 Klasifikasi Transformator

- Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:
 1. Transformator daya
 2. Transformator distribusi
 3. Transformator pengukuran (*instrument*), yang terdiri dari transformator arus dan transformator tegangan.
- Berdasarkan frekuensi, transformator dapat dikelompokkan menjadi :
 1. Frekuensi daya, 50-60 c/s
 2. Frekuensi pendengaran, 50 c/s – 20 kc/s
 3. Frekuensi radio, diatas 30 kc/s
- Berdasarkan jumlah fasanya dibagi atas 2 bagian yaitu:
 1. Transformator 1 fasa
 2. Transformator 3 fasa

2.5.1.1 Transformator daya

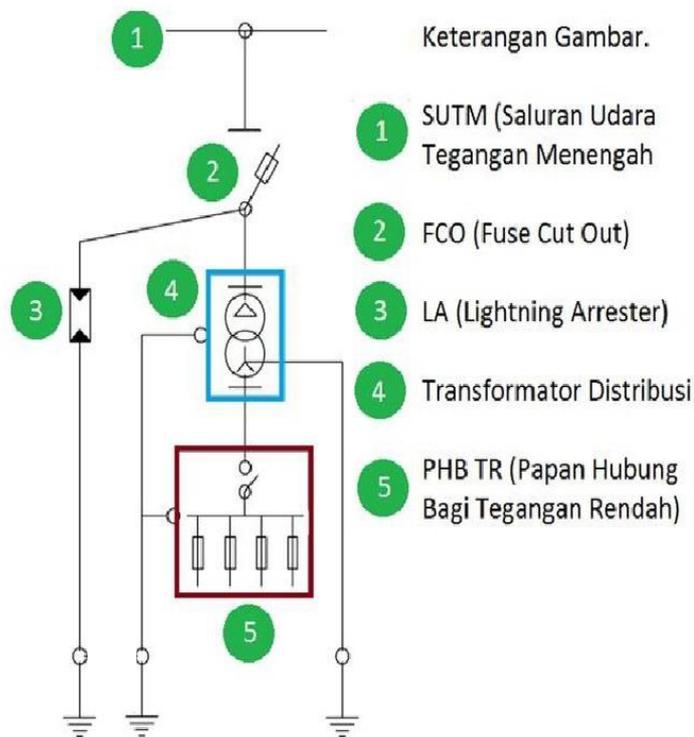
Transformator daya memiliki peranan sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Transformator daya digunakan untuk menyalurkan daya dari generator bertegangan menengah ke transmisi jaringan distribusi. Kebutuhan transformator daya bertegangan tinggi dan berkapasitas besar, menimbulkan persoalan dalam perencanaan isolasi ukuran bobotnya.

2.5.1.2 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.



v

Gambar 2.3 Trafo distribusi.

2.5.1.3 Transformator pengukuran

Dalam prakteknya tidaklah aman menghubungkan instrumen, alat ukur atau peralatan kendali langsung ke rangkaian tegangan tinggi. Transformator pengukuran (*instrumen*) umumnya digunakan untuk mengurangi tegangan tinggi dan arus hingga harga aman dan dapat digunakan untuk kerja peralatan demikian.

Transformator *instrumen* melakukan dua fungsi yakni:

1. Dipergunakan sebagai alat perbandingan (*ratio device*) yang memungkinkandigunakannya alat ukur dan *instrumen* tegangan rendah dan arus rendah baku.
2. Digunakan sebagai alat pemisah (*insulating device*) untuk melindungi peralatan dan operator dari tegangan tinggi.

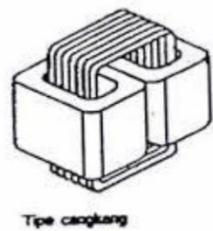
2.5.3 Bentuk dan Konstruksi Transformator

Konstruksi transformator distribusi terdiri dari beberapa bagian :

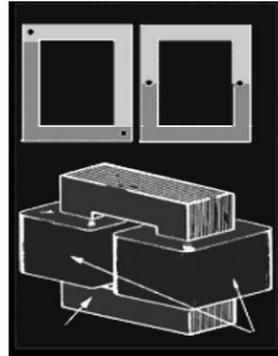
1. Inti, terbuat dari lempengan-lempengan pelat besi lunak atau baja silikon yang diklem menjadi satu.
2. Belitan, terbuat dari tembaga yang letaknya dibelitkan pada inti dengan bentuk konsentrik atau *spiral*.
3. Sistem pendinginan, (pada transformator dengan kapasitas besar).
4. *Bushing*, berfungsi untuk menghubungkan rangkaian dalam dari transformator ke rangkaian luar, (pada trnasformator 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 dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf L atau U.

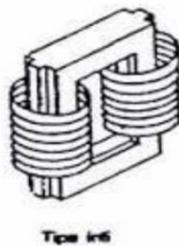


Tipe cangkang

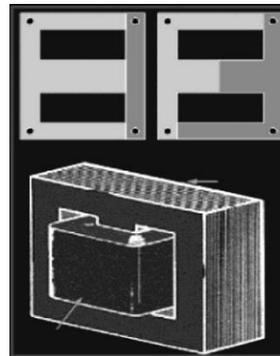


Gambar 2.4 Konstruksi Transformator Tipe Inti.

2. Transformator jenis cangkang (*shell type*), inti transformator ini mengelilingi belitannya dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf E, I atau F.



Tipe inti



Gambar 2.5 Konstruksi Transformator Tipe Cangkang.

2.5.4 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.

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena

kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).

$$e = (-) N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

e = Gaya Gerak Listrik

N = Jumlah Lilitan

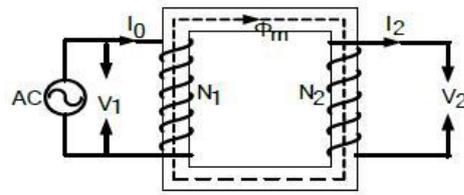
$\frac{d\phi}{dt}$ = Perubahan flux magnet (weber/sec)

Perlu diingat bahwa hanya tegangan listrik arus bolak-balik yang dapat ditransformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronika, transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

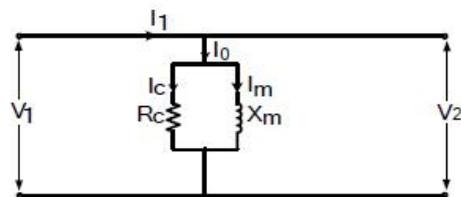
Tujuan utama menggunakan inti pada transformator adalah untuk mengurangi reluktansi (tahanan magnetis) dari rangkaian magnetis (*common magnetic circuit*).

2.5.5 Keadaan Transformator Tanpa Beban

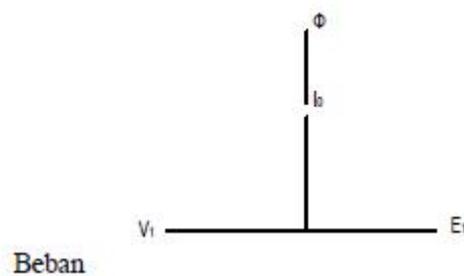
Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoidal, akan mengalirkan arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni. I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoidal.



Gambar 2.6 Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban.



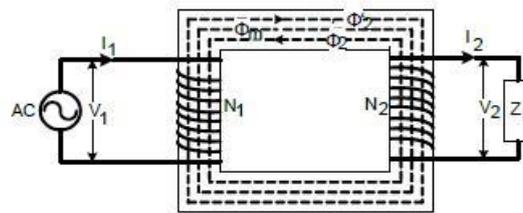
Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban.



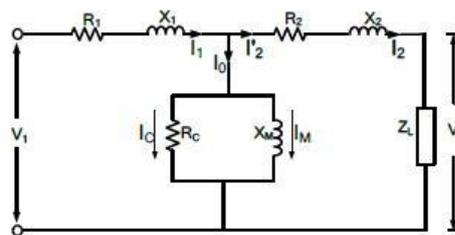
Gambar 2.8 Gambar Vektor Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban.

2.5.6 Keadaan Transformator Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder, dimana $I_2 =$



Gambar 2.9 Transformator Dalam Keadaan Berbeban.



Gambar 2.10 Rangkaian Ekuivalen Transformator Dalam Keadaan Berbeban.

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan. Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2' \text{ (Ampere)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Bila komponen arus rugi inti (I_c) diabaikan, maka $I_0 = I_m$, sehingga :

$$I_1 = I_m + I_2' \text{ (Ampere)} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

I_1 = Arus pada sisi primer (Ampere)

I_2' = Arus yang menghasilkan Φ_2 (Ampere)

I_0 = Arus penguat (Ampere)

I_m = Arus pemagnetan (Ampere)

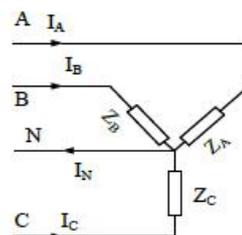
I_c = Arus rugi-rugi inti (Ampere)

2.6 Hubungan Tiga Fasa Dalam Transformator

Secara umum ada 3 macam jenis hubungan pada transformator tiga fasa yaitu:

2.6.1 Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan bintang yaitu; I_A , I_B , I_C masing-masing berbeda 120° .



Gambar 2.11 Transformator Tiga Fasa Hubungan Bintang.

Dari gambar diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_{L-L}$$

$$I_{L-L} = I_{Ph} \text{ (Ampere) } \dots\dots\dots (2.4)$$

dan,

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3} \cdot V_{Ph} = \sqrt{3} \cdot E_1 \text{ (Volt) (2.5)}$$

dimana :

I_{L-L} = Arus fasa-fasa

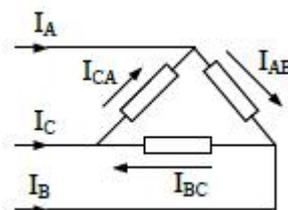
I_{ph} = Arus fasa-netral

V_{L-L} = Tegangan fasa-fasa

V_{Ph} = Tegangan fasa netral

2.6.2 Hubungan Delta (Δ)

Hubungan segitiga/delta adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu; V_A , V_B , V_C masing-masing berbeda 120° .



Gambar 2.12 Transformator Tiga Fasa Hubungan Delta.

Dari gambar diperoleh :

$$I_A = I_B = I_C = I_{L-L}$$

$$I_{L-L} = \sqrt{3} \cdot I_{Ph} \text{ (Ampere) (2.6)}$$

dan,

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = V_{Ph} = E_1 \text{ (Ampere) (2.7)}$$

dimana,

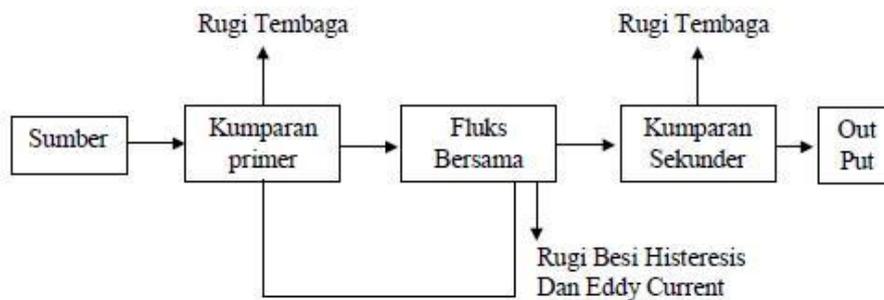
V_{L-L} = Tegangan fasa – fasa (Volt)

V_{Ph} = Tegangan fasa (Volt)

I_{L-L} = Arus fasa – fasa (Ampere)

I_{Ph} = Arus fasa (Ampere)

2.7 Rugi – rugi transformator



Gambar 2.13 Blok Diagram Rugi – Rugi Pada Transformator.

2.7.1 Rugi Tembaga (PCU)

Rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga yang terjadi pada kumparan sekunder dapat ditulis sebagai berikut :

$$P_{cu} = I^2 R \text{ (Watt) (2.8)}$$

Formula ini merupakan perhitungan untuk pendekatan. Karena arus beban berubah–ubah, rugi tembaga juga tidak konstan bergantung pada beban. Dan perlu diperhatikan pula resistansi disini merupakan resistansi AC.

2.7.2 Rugi Besi (Pi)

Rugi besi terdiri atas :

- a) Rugi histerisis (Ph), yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak – balik pada inti besi yang dinyatakan sebagai :

$$Ph = kh \cdot f \cdot B_{maks}^{1.6} \text{ (watt) } \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana :

kh = konstanta histeris, tergantung pada beban inti

Bmaks = Fluks maksimum (weber)

f = Frekuensi jala – jala (Hz)

- b) Rugi arus eddy (Pe) , yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi. dirumuskan sebagai :

$$Pe = ke \cdot f^2 \cdot B_{maks}^2 \text{ (Watt) } \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana :

ke = konstanta arus eddy, tergantung pada volume inti

Bmaks = Fluks maksimum (weber)

f = Frekuensi jala – jala (Hz)

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah :

$$Pi = Ph + Pe \text{ (Watt)}$$

$$Pi = (kh \cdot f \cdot B_{maks}^{1.6}) + (ke \cdot f^2 \cdot B_{maks}^2) \dots\dots\dots (2.11)$$

Efisiensi menunjukkan tingkat keefisienan kerja suatu peralatan, dalam hal ini transformator yang merupakan perbandingan rating output (keluaran) terhadap inputnya (masukkan) yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Efisiensi (\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$= \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.13)$$

2.8 Efisiensi Transformator

Efisiensi menunjukkan tingkat keefisienan kerja suatu peralatan, dalam hal ini transformator yang merupakan perbandingan rating *output* (keluaran) terhadap *input*-nya (masukkan) yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \\ &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14) \end{aligned}$$

Maka persentase efisiensi adalah :

$$= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{out}} + \sum \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana:

P_{in} = Daya input transformator

P_{out} = Daya output transformator

$\sum \text{rugi-rugi}$ = $P_{\text{cu}} + P_{\text{i}}$

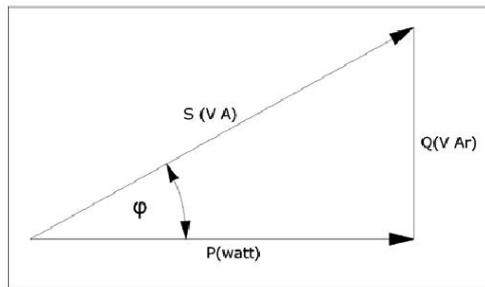
2.9 Faktor Daya

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

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

$$\text{Faktor Daya} = \cos \phi \dots\dots\dots (2.16)$$

Untuk penjelasan tentang daya-daya dapat dilihat pada gambar segitiga daya berikut ini :



Gambar 2.14 Segitiga Daya.

Dari gambar dapat dilihat bahwa:

$$\text{Daya Semu (S)} = V.I \text{ (VA)} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\text{Daya Aktif (P)} = V.I \cos \varphi = S \cos \varphi \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\text{Daya Reaktif (Q)} = V.I \sin \varphi = S \sin \varphi \text{ (VAR)} \dots\dots\dots (2.19)$$

2.10 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

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

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (2.20)$$

dimana :

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (kV)

I = Arus jala – jala (A)

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} V} \dots\dots\dots (2.21)$$

dimana :

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Besarnya persentase kenaikan beban yang dilayani dapat dihitung dengan :

$$\% \text{ pembebeanan} = \frac{I_{rata - rata \text{ beban}}}{I_{beban \text{ penuh transformator}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.22)$$

dimana :

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

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

2.11 Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

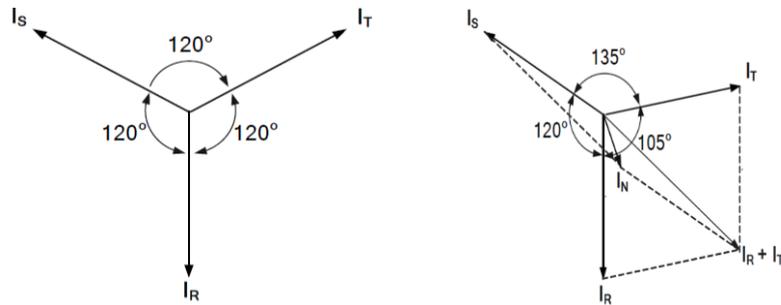
1. Ketiga vector arus / tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120°.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga, yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Pada gambar 2.26a menunjukkan diagram vektor arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor aruisnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada gambar 2.26b 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 seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.



Gambar 2.15 Vektor Diagram Arus.

2.12 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

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

$$a = \frac{I_R}{I} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$b = \frac{I_S}{I} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$c = \frac{I_T}{I} \dots\dots\dots(2.26)$$

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

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

2.13 Rugi-rugi Akibat Adanya Arus Netral Pada Saluran Netral Sekunder Transformator

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:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots(2.27)$$

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).