

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Dewasa ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukung adanya pencapaian tujuan pembangunan tersebut. Salah satu saranya adalah dengan adanya penyediaan tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransformasikan dan di konversikan kedalam bentuk energi lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Perkembangan pembangunan di segala bidang menuntut PLN agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. Namun dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang tidak merata sehingga menimbulkan suatu ketidakseimbangan beban yang dampaknya dapat merugikan PLN. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem tenaga listrik selalu terjadi. Beban yang tidak seimbang di setiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) akan mengakibatkan arus mengalir pada netral tafo (IN) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor keseimbangannya. Arus yang mengalir pada penghantar netral ini akan mengakibatkan terjadinya rugi-rugi (losses) daya disepanjang penghantar tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi PT PLN (Persero) dan

2. Berapa besar rugi-rugi daya yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di PT PLN (Persero).

1.3. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di PT PLN (Persero).
2. Untuk mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya dan yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi di PT PLN (Persero) ULP Siborongborong.

1.4. Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini dibatasi pada pengukuran pembebanan transformator, ketidakseimbangan beban transformator, dan menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap transformator.

1.5. Metode Pemecahan Masalah

Metode pemecahan masalah yang dilakukan adalah dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Studi literatur

Studi literatur ialah pendekatan penelitian yang dilakukan dengan cara mencari referensi atas landasan teori yang relevan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan. Referensi tersebut bisa dicari dari buku, jurnal, artikel, laporan penelitian dan situs-situs online di internet. Output yang dihasilkan dari studi literatur ialah terkoleksinya referensi yang relevan dengan rumusan masalah.

2. Observasi Lapangan

Melakukan observasi lapangan dengan pengamatan secara langsung ke lapangan yang berkaitan dengan kasus yang terjadi. Wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan melakukan tanya jawab secara langsung.

3. Pengolahan Data dan Penulisan Laporan

Penulisan laporan disusun sesuai data yang diperoleh secara langsung dan dengan menggunakan rumus yang berkaitan dengan permasalahan, sehingga menjadi laporan penelitian yang dapat menggambarkan penelitian secara utuh.

1.6. Kontribusi Penulisan Tugas Akhir

Dengan adanya penelitian ini dapat diketahui pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap transformator distribusi dan hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi yang penting bagi pihak PLN untuk dapat mengantisipasi kerugian tersebut.

1.7. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam pemahaman tugas akhir ini, maka diuraikan penulisan sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, kontribusi penulisan, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II Landasan Teori

Menjelaskan tentang Transformator distribusi dan prinsip kerjanya dan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan batasan masalah yang sudah ditentukan.

Bab III Metode Penelitian

Menjelaskan tentang metode penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian untuk mengamati kelayakan pada Transformator Distribusi waktu dan tempat dimana dilakukanya penelitian tersebut.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan tentang data penelitian dan pembahasan dan hasil perhitungan yang diambil dari hasil penelitian.

Bab V Penutup

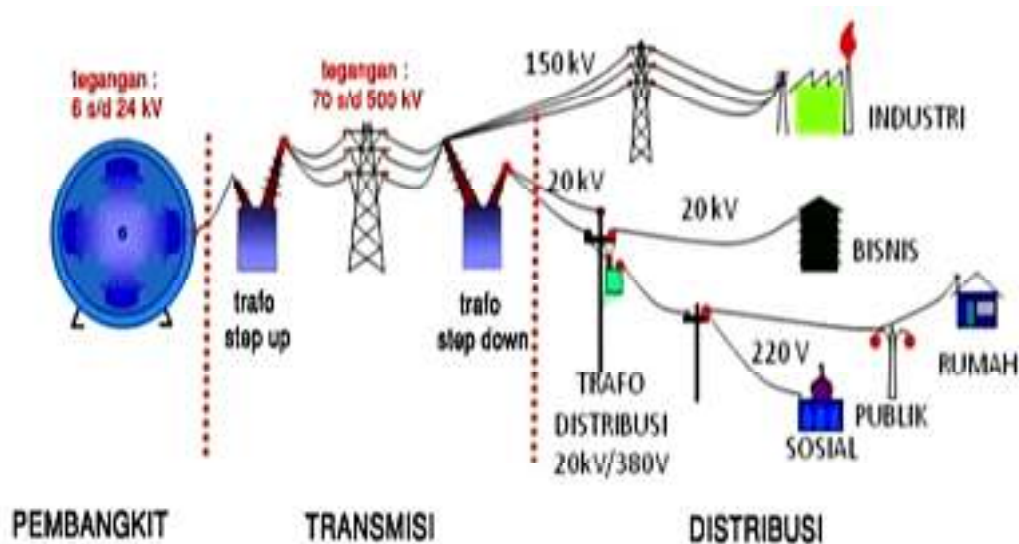
Menjelaskan tentang kesimpulan penulisan tugas akhir

BAB II DASAR TEORI

Pendahuluan

Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan salah satu bagian dalam sistem tenaga listrik, yaitu dimulai dari sumber daya atau pembangkit tenaga listrik sampai kepada para konsumen.



Gambar 2.1. Skema sistem distribusi tenaga listrik

Pada masa sekarang ini dimana akan kebutuhan tenaga listrik meningkat, maka diperlukan suatu sistem pendistribusian tenaga listrik dari pembangkit sampai kepada para konsumen yang memiliki keandalan yang tinggi. Tenaga yang didistribusikan tersebut tidak hanya tegangan menengah dan rendah saja, namun juga tegangan tinggi dan extra tinggi. Namun yang umum disebut sistem distribusi adalah sistem tegangan menengah (primer) dan tegangan rendah (sekunder).

Dalam melakukan distribusi tenaga listrik diperlukan beberapa komponen utama yang menunjang distribusi tenaga listrik, yaitu :

- 1) Gardu Induk (GI)

- 2) Gardu Hubung (GH)
- 3) Gardu Distribusi (GD)
- 4) Jaringan Distribusi Primer
- 5) Jaringan Distribusi Sekunder
1. Gardu Induk (GI)

Gardu induk merupakan suatu komponen penting dalam distribusi tenaga listrik yang berfungsi sebagai pengatur daya. Gardu induk juga berfungsi mentransformasikan daya listrik yang dihasilkan dari pusat-pusat pembangkit ke gardu induk lain dan juga ke gardu-gardu distribusi yang merupakan suatu interkoneksi dalam distribusi tenaga listrik.

2. Gardu Hubung (GH)

Gardu hubung berfungsi menerima daya listrik dari gardu induk yang telah diturunkan menjadi tegangan menengah dan menyalurkan atau membagi daya listrik tanpa merubah tegangannya melalui jaringan distribusi primer (JTM) menuju gardu atau transformator distribusi. Merupakan satu gardu yang terdiri dari peralatan-peralatan hubung serta alat-alat kontrol lainnya, namun tidak terdapat trafo daya. Alat penghubung yang terdapat pada gardu hubung adalah sakelar beban yang selalu dalam kondisi terbuka (*normaly open*), sakelar ini bekerja atau menutup hanya jika penyulang utama mengalami gangguan

3. Gardu Distribusi (GD)

Gardu distribusi adalah suatu tempat atau bangunan instalasi listrik yang didalamnya terdapat alat-alat : pemutus, pegaman, dan trafo distribusi untuk mendistribusikan tegangan listrik sesuai dengan kebutuhan tegangan konsumen. Peralatan-peralatan ini adalah dalam menunjang mencapai pendistribusian tenaga listrik secara baik mencakup kontinuitas pelayanan yang terjamin.

Fungsi gardu distribusi adalah sebagai berikut :

1. Menyalurkan atau meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah.

2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya didistribusikan ke konsumen tegangan rendah.
3. Menyalurkan atau meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.

4. Jaringan Distribusi Primer

Distribusi primer adalah jaringan distribusi yang memiliki daya listrik yang bertegangan menengah 6 kV sampai 20 kV. Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang. Jaringan ini berawal dari sisi sekunder trafo daya yang terpasang pada gardu induk hingga kesisi primer trafo distribusi yang terpasang pada tiang saluran.

5. Jaringan Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder adalah jaringan daya listrik yang termasuk dalam kategori tegangan rendah (380/220 Volt) yaitu rating yang sama dengan tegangan peralatan yang dilayani. Jaringan sekunder bermula dari sisi sekunder bermula dari sisi sekunder trafo distribusi dan berakhir hingga ke alat ukur (meteran) pelanggan. Sistem jaringan distribusi sekunder ini disalurkan kepada para pelanggan melalui kawat berisolasi.

Pada saat ini saluran udara tegangan rendah (SUTR) yang menggunakan kabel telah banyak digunakan oleh PLN oleh karena itu untuk mengurangi gangguan yang disebabkan oleh gangguan pohon dan gangguan lain yang disebabkan oleh perbuatan manusia. Untuk kabel sambungan rumah (SR) ke pelanggan saat ini telah digunakan twisted kabel dengan inti penghantar ada dari material aluminium dan tembaga.

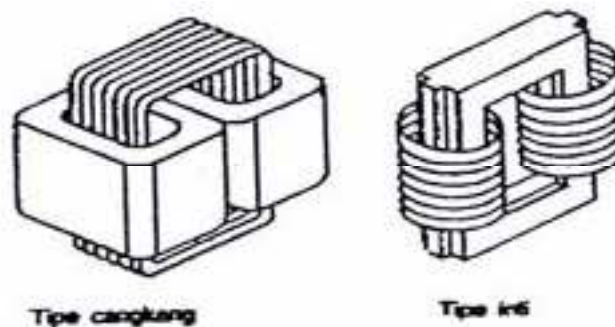
Sistem jaringan sekunder yang baik pada saat ini harus memberikan taraf keandalan pada jaringan tegangan rendah di daerah dengan kepadatan beban yang tinggi, dengan menjamin bahwa energi listrik yang sampai ke pelanggan mempunyai mutu yang baik, sehingga biayanya yang tinggi dapat dipertanggungjawabkan dan tingkat keandalan ini dipandang perlu.

Jaringan sekunder tegangan rendah mendapat pengisian terbanyak dari tiga atau lebih feeder, sehingga bilamana salah satu feeder primer terganggu, sisa jaringan sekunder akan dapat dengan mudah menampung beban dari feeder beban yang terganggu itu. Sistem demikian dinamakan jaringan kedua (*second contingency network*). Jaringan sekunder tegangan rendah harus didesain sedemikian rupa hingga terdapat pembagian beban dan pengaturan tegangan (*voltage regulation*) yang baik.

Transformator

Tranformator adalah suatu peralatan listrik elektomagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frukuensi yang sama, melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis.

Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang di belit seputar “kaki” inti transformator. Berdasarkan letak kumparan terhadap inti, transformator terdiri dari dua macam konstruksi, yaitu tipe inti (*core tipe*) dan tipe cangkang (*shell tipe*). Kedua tipe ini menggunakan inti berlaminasi yang terisolasi satu sama lainnya dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi Eddy current.

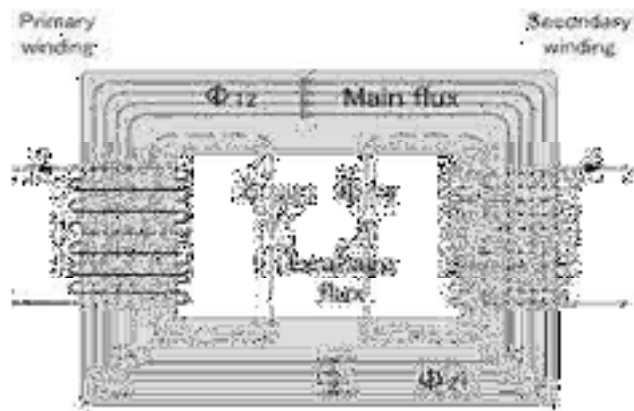


Gambar 2.2. Transformator tipe inti dan tipe cangkang

Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator dapat dijelaskan hukum ampere dan hukum faraday yaitu arus listrik menimbulkan medan magnet dan sebaliknya. Gambar prinsip kerja transformator dapat dilihat dari gambar 2.2.

Pada sisi kumparan primer transformator diberi arus bolak-balik sehingga akan timbul sejumlah garis-garisnya magnet atau fluksi pada kumparan tersebut. 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 gaya gerak listrik (GGL) induksi yang dihasilkan masing-masing kumparan berbanding harus dengan jumlah lilitannya, sehingga di dapat ;

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

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

Dimana;

e_1 : ggl induksi sesaat pada sisi primer

e_2 : ggl induksi sesaat pada sisi sekunder

N_1 : jumlah lilitan kumparan primer

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

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

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_1}{I_2} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

E_1 : ggl induksi sisi primer (volt) efektif

E_2 : ggl induksi sisi sekunder (volt) efektif

I_1 : arus sisi primer

I_2 : arus sisi sekunder

Perhitungan Arus Beban Pada Transformator

Daya kerja pada transformator meenandakan kapasitas transformator tersebut. Karena sudah diketahui rating tegangan pada sisi primer dan sekunder, maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan pada transformator (V)

I = arus jala-jala pada transformator (A)

Menghitung arus beban penuh (I_{fl}) dan arus rata-rata (I_{avr}) dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{\text{beban penuh}} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I_{\text{rata rata}} = \frac{I_S + I_R + I_T}{3} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan keterangan :

$I_{\text{beban penuh}}$: arus beban penuh (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder transformator (kV)

$I_{rata\ rata}$: arus rata-rata (A)

I : arus per fasa (A)

Sedangkan untuk mencari persentase pembebanan pada transformator distribusi dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{I_{rata-rata\ beban}}{I_{beban\ penuh\ transformator}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$\% \text{ pembebanan}$ = persentase pembebanan transformator (%)

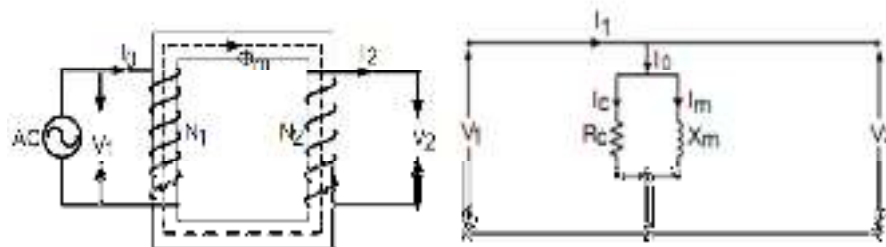
Karakteristik Transformator

Berdasarkan karakteristiknya transformator bisa dibedakan menjadi dua, yaitu :

- a. Keadaan transformator tanpa beban
- b. Keadaan transformator berbeban

Dimana dalam karakteristik ini harus dapat ditentukan salah satu di dalam pemilihan karakteristik transformator tersebut apakah dalam keadaan tanpa beban atau dalam keadaan berbeban.

- 1. Keadaan transformator tanpa beban



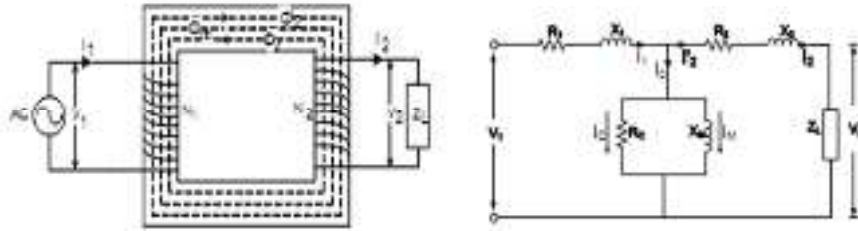
Gambar.2.4. Keadaan Transformator Tanpa Beban dan Rangkaian Ekuivalennya

Bila kumparan transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid maka akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 dan fluks sefasa dengan I_0 . Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor.

Arus bocor I_o yang mengalir dalam kenyataannya bukan merupakan arus induktif murni, tetapi terdiri atas komponen

- a. Komponen arus pemagnetan (I_m)
- b. Komponen arus rugi tembaga (I_c)

2. Keadaan transformator dengan beban



Gambar.2.5. Keadaan transformator dengan beban dan rangkain ekvalen

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 pernah 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 :

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

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

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

Dimana:

I_1 = arus pada sisi primer (Ampere)

I_2 = arus yang menghasilkan Φ (Ampere)

I_0 = arus penguat (Ampere)

I_m = arus pemagnetan (Ampere)

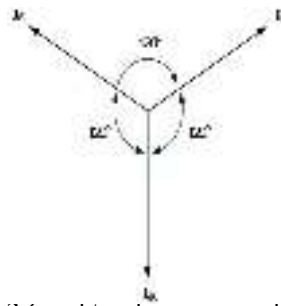
I_c = arus rugi-rugi inti (Ampere)

Ketidakseimbangan Beban Transformator

Pada sistem distribusi, sering sekali terjadi masalah ketidakseimbangan pada beban sehingga menyebabkan terjadinya kerugian-kerugian pada sistem, adapun yang dimaksud dengan keadaan beban seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga vektor arus/tegangan sama besarnya
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain

Gambar dibawah menunjukkan phasor diagram arus dalam keadaan arus seimbang.



Gambar.2.6. vektor diagram arus keadaan seimbang

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa penjumlahan arus ketiga vektor adalah 0 (nol) sehingga arus netral (I_N) tidak muncul.

Perhitungan arus pada hubungan bintang berlaku rumus :

$$\left. \begin{aligned} I_A &= \frac{v \angle 0^\circ}{Z \angle \theta} = I \angle \theta \\ I_B &= \frac{v \angle -120^\circ}{Z \angle \theta} = I \angle -120^\circ - \theta \\ I_C &= \frac{v \angle -240^\circ}{Z \angle \theta} = I \angle -240^\circ - \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.9)$$

Disubstitusikan dari persamaan

$$\begin{aligned} I_N &= I_a + I_b + I_c \\ &= I \angle \theta + I \angle -120^\circ - \theta + I \angle -240^\circ - \theta \\ &= I \cos(\theta) + jI \sin(\theta) + I \cos(-\theta - 120^\circ) + jI \sin(-\theta - 120^\circ) \\ &\quad + I \cos(-\theta - 240^\circ) + jI \sin(-\theta - 240^\circ) \\ &= I [\cos(\theta) + \cos(-\theta - 120^\circ) + \cos(-\theta - 240^\circ) \\ &\quad + jI [\sin(\theta) + \sin(-\theta - 120^\circ) + \sin(-\theta - 240^\circ)]] \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan identitas trigonometri maka didapatkan:

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \cos \alpha \sin \beta \dots\dots\dots(2.11)$$

Masukkan identitas trigometri ke persamaan :

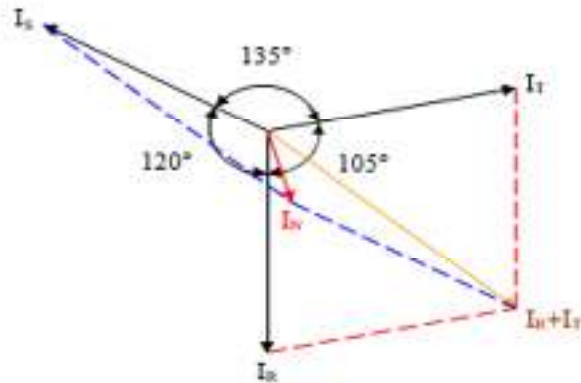
$$I_N = I [\cos(-\theta) + \cos(-\theta) \cos 120^\circ + \sin(-\theta) \sin 120^\circ + \cos(-\theta) \cos 240^\circ + \sin(\theta) \sin 240^\circ] + jI [\sin(\theta) + \sin(\theta) \cos 120^\circ - \cos(-\theta) \sin 120^\circ + \sin(-\theta) \cos 240^\circ - \cos(\theta) \sin 240^\circ]$$

$$I_N = I [\cos(-\theta) - \frac{1}{2} \cos(-\theta) + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(-\theta) - \frac{1}{2} \cos(-\theta) - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin(-\theta)] + jI [\sin(-\theta) - \frac{1}{2} \sin(-\theta) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(-\theta) - \frac{1}{2} \sin(-\theta) + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos(-\theta)]$$

$$I_N = 0 \text{ A (kondisi normal beban seimbang)}$$

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



Gambar.2.7. vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang

Dari gambar 2.7. menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidakseimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga phasor arusnya (I_r, I_s, I_t) adalah tidak sama dengan 0 (nol) sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Pada instalasi listrik yang sudah terpasang terdapat empat kabel (R,S,T dan N) dengan standar warna phasa R (merah), S (kuning), T (hitam), N (biru). Seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.8. Panel Transformator

Penyebab Ketidakseimbangan Beban

Terdapat tiga penyebab gangguan ketidakseimbangan sistem 3 fasa, yaitu:

1. Tidak seimbang tegangan sejak pada sumbernya

Tegangan tidak simetris pada output generator tiga fasa bisa saja terjadi dikarenakan kesalahan teknis pada ketiga berkas kumparan dayanya (jumlah lilitan atau resistansi), tetapi keadaan ini jarang terjadi atau jarang ditemukan di lapangan.

2. Tidak seimbang pada salurannya, yang disebabkan beberapa faktor:

- Konfigurasi ketiga saluran secara total tidak seimbang, sehingga total kapasitasnya menjadi tidak seimbang. Keadaan ini dapat terjadi pada penyaluran jarak jauh dan bertegangan tinggi, dimana jarak rata-rata setiap saluran fasa terhadap tanah tidak sama.
- Resistansi saluran tidak sama karena jenis bahan konduktor yang berbeda.

- Resistansi saluran tidak sama karena ukuran konduktor yang berbeda.
- Resistansi saluran tidak sama karena jarak antara masing-masing saluran fasa dengan beban tidak sama (besar dipengaruhi oleh jarak).

3. Tidak seimbang pada resistansi bebannya

Besar I (arus beban) ditentukan oleh besar R (beban), maka pada keadaan tidak seimbang yaitu $RR \neq RS \neq RT$, maka arus bebannya $IR \neq IS \neq IT$. Akibat lanjut dari tidak seimbang tegangan sisi terima adalah tidak seimbang pula bebannya. Hal ini paling sering ditemukan pada praktek dilapangan, antara lain disebabkan adanya sambungan-sambungan di luar sisi perhitungan dan perencanaan. Upaya teknis perlu dilakukan agar diperoleh keadaan pembebanan yang seimbang. Pada sistem tiga pasa yang menggunakan saluran netral, dalam keadaan beban simetris maka arus yang lewat harus bernilai 0 (nol) atau dalam keadaan yang benar-benar netral. Jika terjadi kondisi tidak simetris, maka sebagian arus yang berupa arus resultan akan melewati saluran netral sehingga saluran tersebut menjadi tidak netral lagi.

Penyaluran Daya Pada Keadaan Seimbang

Misalkan 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 :

$$P = 3.[V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

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

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

$$I_R = a \times I \text{ jadi } a = \frac{I_r}{I_{rata\ rata}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$I_S = b \times I \text{ jadi } b = \frac{I_s}{I_{rata\ rata}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$I_T = c \times I \text{ jadi } c = \frac{I_t}{I_{rata\ rata}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

I_R = arus di fasa R

I_S = arus di fasa S

I_T = arus di fasa T

Dengan I_R , I_S , dan I_T berturut-turut adalah arus fasa R,S dan T. Faktor daya ($\cos \varphi$) ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = (a+b+c) \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots (2.16)$$

Apabila persamaan (2.16) dan persamaan (2.12) menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan tersebut dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a,b, dan c yaitu:

$$a+b+c = 3$$

Oleh karena itu dapat dicari juga persentase rata-rata ketidakseimbangan beban dengan memasukkan rumus sebagai berikut:

$$U_L = \frac{(a-1)+(b-1)-(c-1)}{3} \times 100\% \dots\dots\dots (2.17)$$

Jenis-Jenis Transformator

1. Perbedaan Transformator 1 Phasa dan 3 Phasa

Satu phasa adalah jaringan listrik yang hanya menggunakan dua kawat penghantar yang kesatu sebagai kawat phase (L) dan yang kedua sebagai kawat netral (N). Umumnya listrik 1 phasa bertegangan 220-240 volt yang banyak digunakan orang.

Tiga phasa adalah jaringan listrik yang menggunakan tiga kawat phase (R,S,T) dan satu kawat netral (N) atau sering dibilang kawat ground. Menurut istilah listrik 3 phasa terdiri dari tiga kabel bertegangan listrik dan satu kabel netral. Umumnya listrik 3 phasa bertegangan 380 volt yang banyak digunakan industri atau pabrik.

2. Transformator Berdasarkan Pasangan Kumputaran

Berdasarkan pasangan kumputaran atau lilitannya, trafo dibagi menjadi:

1. Transformator satu belitan
2. Transformator dua belitan
3. Transformator tiga belitan

Transformator satu belitan adalah lilitan primer merupakan bagian dari lilitan atau sebaliknya. Trafo satu belitan ini lebih dikenal sebagai “auto trafo atau trafo hemat”. Trafo dua belitan adalah trafo yang mempunyai dua belitan yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, dimana kumputaran sekunder dan primer berdiri sendiri. Trafo tiga belitan adalah trafo yang mempunyai belitan primer, sekunder dan tersier, masing-masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda.

1. Transformator Berdasarkan fungsi

Menurut fungsinya transformator dibagi atas

➤ Transformator Daya

Transformator daya adalah trafo yang digunakan untuk pemasok daya. Transformator daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (step-up) dan menurunkan tegangan listrik (step-

down). Trafo daya tidak dapat digunakan langsung untuk menyuplai beban, karena sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dari tegangan beban, sedangkan sisi tegangan tingginya merupakan tegangan transmisi. Trafo berfungsi sebagai step-up pada sistem dimana tegangan keluaran lebih tinggi dari pada tegangan masukan (misalnya pada pengirim/penyaluran daya) dan sebaliknya trafo berfungsi sebagai step-down jika tegangan keluaran lebih rendah daripada tegangan masukan (misalnya menerima/mengeluarkan daya).

➤ Transformator Distribusi

Transformator distribusi pada dasarnya sama dengan transformator daya, bedanya adalah tegangan rendah pada trafo daya bila dibandingkan dengan tegangan tinggi trafo distribusi masih lebih tinggi. Kedua tegangan pada transformator distribusi merupakan tegangan distribusi yaitu untuk distribusi tegangan menengah (TM) dan distribusi tegangan rendah (TR). Trafo distribusi digunakan mendistribusikan energi listrik langsung ke pelanggan.

➤ Transformator Ukur

Pada umumnya trafo ini di gunakan untuk mengurus arus (I) dan tegangan (V). Trafo ini dibuat khusus untuk mengukur arus dan tegangan yang tidak mungkin bisa diukur langsung oleh amperemeter atau voltmeter.

➤ Transformator Elektronik

Transformator ini prinsipnya sama seperti transformator daya, tapi kapasitas daya reaktif sangat kecil, yaitu kurang 300 VA yang digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik.

Transformator Distribusi



Gambar 2.9. Transformator Distribusi Sb-01

Tujuan penggunaan transformator distribusi adalah untuk menyesuaikan tegangan utama dari sistem distribusi menjadi tegangan yang sesuai dengan kebutuhan konsumen.

Secara umum konstruksi transformator terdiri dari:

- Kumparan
- Inti Transformator
- Minyak Transformator
- Bushing Transformator
- Tipe Pendingin Tranformator

Kumparan

Transformator terdiri dari dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang mana 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 disisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

Inti Transformator

Secara umum inti transformator terdiri dari dua tipe yaitu tipe inti (core type) dan tipe cangkang (shell type). Tipe inti dibentuk dari lapisan besi berisolasi berbentuk persegi panjang dan kumparan transformatornya dibelitkan pada dua sisi persegi. Sedangkan tipe cangkang dibentuk dari lapisan inti berisolasi dan kumparan transformatornya di belitkan di pusat inti. Transformator dengan tipe konstruksi cangkang memiliki kehandalan yang lebih tinggi dari pada tipe konstruksi inti dalam menghadapi tekanan mekanis yang kuat pada saat terjadi hubung singkat.

Minyak Transformator

Pada transformator terdapat minyak yang memegang peranan penting dalam sistem pendingin trafo untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya trafo dan juga sebagai sistim isolasi. Minyak trafo mengandung naftalin, parafin dan aromatik. Ada beberapa keuntungan minyak trafo sebagai isolasi antara lain :

- Isoasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi.
- Isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan di isolasi dan secara serentak melalui proses konfersi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi daya.
- Isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (self healing) jika terjadi pelepasan muatan (discharge).

Bushing Transformator

Untuk tujuan keamanan, konduktor tegangan tinggi dilewatkan menerobos suatu bidang yang dibumikan melalui suatu lubang terbuka yang dibuat sekecil mungkin dan biasanya membutuhkan suatu pengikat padu yang disebut bushing.

Bagian utama suatu bushing terdiri dari inti atau konduktor, bahan dielektik flans yang terbuat dari logam inti berfungsi untuk menyalurkan arus dari bagian dalam peralatan keterminal luar dan bekerja pada tegangan tinggi. Dengan bantuan flans, isolator dikatakan pada badan peralatan yang dibumikan.

Tipe Pendingin Transformator

Ada beberapa tipe pendingin pada transformator yaitu :

1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*)

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak dan sirkulasi udara secara alamiah. Sirkulasi minyak yang terjadi disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara minyak yang dingin dengan minyak yang panas.

2. ONAF (*Oil Natural Air Force*)

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan sirkulasi udaranya secara buatan, yaitu dengan menggunakan hembusan kipas angin yang digerakkan oleh motor listrik.

3. OFAF (*Oil Force Air Force*)

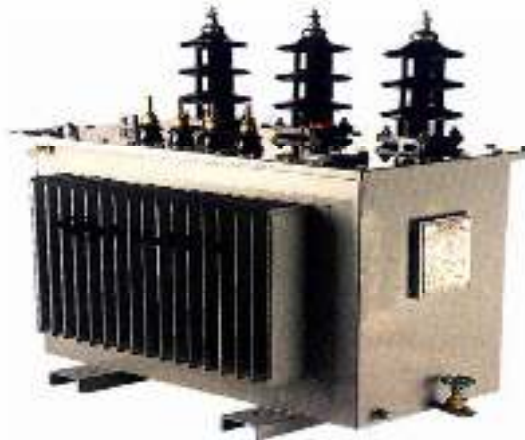
Pada sistem ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin.

Komponen Utama Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem jaringan distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang terdiri dari sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi yang saling terintegrasi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik bagi semua orang. Sistem jaringan distribusi tenaga listrik memiliki jaringan tegangan rendah dan jaringan tegangan menengah dengan topologi jaringan berbentuk radial serta memiliki saluran sistem 3 fasa dan 1 fasa. Secara umum, komponen utama sistem jaringan distribusi tenaga listrik terdiri dari.

2.3.1. Trafo Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusimengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator distribusi yang umum yang digunakan adalah transformator *step-down* 20KV.



Gambar.3.3. Trafo Distribusi Tenaga Listrik

2.3.2. Transformers Completely Self Protected (CSP)

Transformers *Completely Self Protected* (CSP) adalah transformator distribusi yang sudah dilengkapi dengan pengaman lebur (fuse) pada sisi primer dan LBS (*Load Break Switch*) pada sisi sekunder.



Gambar.3.4. Transformers completely self protected (CSP)

2.3.3. Tiang Penyangga Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Tiang penyangga (Tiang Listrik) pada jaringan distribusi digunakan untuk saluran udara (overhead line) sebagai penyangga kawat penghantar agar penyaluran tenaga listrik ke konsumen atau pusat-pusat beban dapat disalurkan dengan baik. Persyaratan suatu tiang penyangga yang digunakan untuk penompang jaringan distribusi tenaga listrik adalah :

1. Mempunyai kekuatan mekanis yang tinggi
2. Mempunyai umur yang panjang

3. Mudah pemasangan dan murah pemeliharaannya
4. Tidak terlampau berat
5. Harganya murah
6. Mudah di cabut dan dipasang kembali

Tiang dibagi menjadi tiga jenis sesuai dengan fungsi bawah tanah, yaitu:

a. Tiang Kayu

Tiang kayu banyak digunakan sebagai peyangga jaringan karena konstruksinya yang sederhana dan biaya lebih murah bila dibandingkan yang lain. Tiang kayu merupakan penyekat (isolator) yang paling baik sebagai penompang saluran udara terhadap gangguan hubung singkat.

➤ Kelebihan:

1. Mempunyai konstruksi yang sederhana
2. Biaya investasi lebih murah
3. Merupakan penyekat (isolasi) yang baik buat penompang jaringan
4. Dapat dibentuk menurut konstruksi
5. Biaya perawatan rendah
6. Bebas dari gangguan petir

➤ Kelemahan

1. Tergantung pada persediaan kayu yang ada
2. Perlu pengawetan terlebih dahulu umur lebih pendek : 10 – 12 tahun bila tidak diawetkan dan 20 – 30 tahun bila diawetkan.
3. Tidak dapat meyangga beban secara aman apalagi bila terjadi satu atau dua kawat terputus.

b. Tiang Baja (*Steel Pole*)

Tiang baja yang digunakan berupa pipa-pipa baja bulat yang disambung dengan diameter yang berbeda dari pangkal hingga ujungnya. Pada umumnya ukuran penampang bagian pangkal lebih besar dari ukuran penampang bagian atasnya (ujung). Tiang baja bulat sangat banyak digunakan untuk penopang jaringan listrik SUTM dan SUTR.

c. Tiang Beton Bertulang

Tiang beton bertulang lebih mahal daripada tiang kayu tetapi lebih murah daripada tiang baja bulat. Tiang beton bertulang ini banyak digunakan untuk mendistribusikan tenaga listrik di daerah pedesaan dan daerah terpencil atau tempat yang sulit dicapai. Karena tiang beton bertulang dapat dibuat di tempat tiang tersebut akan didirikan. Tiang beton bertulang juga dipilih jika dikehendaki adanya sisi dekoratif.

d. Tiang Beton Pratekan

Tiang beton pratekan lebih mahal dari tiang beton bertulang. Pemasangannya lebih sulit dibandingkan dengan tiang kayu karena sangat berat. Tiang beton bertulang memiliki umur yang sangat panjang dengan perawatan yang sangat sederhana. Jenis tiang ini tidak perlu di cat untuk pengawetannya, karena tidak akan berkarat. Kelemahan jenis tiang ini cenderung hancur jika terlanggar oleh kendaraan.

2.3.4. PHB Sisi Tegangan Menengah (PHB-TM)

Berikut ini adalah komponen-komponen utama pada PHB-TM yang sudah terpasang/terangkai secara lengkap dan lazim disebut dengan kubikel-TM, yaitu :

a. Pemisah *Disconnecting Switch* (DS)

Berfungsi sebagai pemisah atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban.

b. Pemutus beban–*Load Break Switch* (LBS)

Berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV. Pemutus beban dapat dioperasikan dalam keadaan berbeban dan terpasang pada kabel masuk atau keluar gardu distribusi.

c. Pemutus Tenaga–*Circuit Breaker* (CB)

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan hubung singkat. Peralatan pemutus tenaga (PMT) ini sudah dilengkapi dengan rel proteksi arus lebih (*Over Current Relay*) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban. Komponen utama

PHB-TM tersebut sudah terakit dalam kompartemen kompak (lengkap) yang sering disebut kubikel pembatas beban pelanggan.

d. LBS – TP (*Transformer Protection*)

Transformator distribusi dengan daya ≤ 630 kVA pada sisi primer dilindungi pembatas arus dengan pengaman lebur jenis HRC (*High Rupturing Capacity*). Peralatan kubikel proteksi transformator dilengkapi dengan LBS yang dipasang sebelum pengaman lebur. Untuk gardu ke komponen proteksi dan LBS dapat saja sudah terangkai sebagai satu kesatuan dan disebut *Ring Main Unit* (RMU).

2.3.5. PHB Sisi Tegangan Rendah (PHB-TR)

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari satu atau lebih perlengkapan hubung bagi tegangan rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Seluruhannya dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian peyangganya.

Secara umum PHB-TR sesuai SPLN 118-3-1-1996, untuk pasangan dalam adalah jenis terbuka. Rak TR pasangan dalam untuk gardu distribusi beton. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan peyangga peralatan proteksi dan peralatan Hubung Bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per transformator atau gardu distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya transformator dan Kemampuan Hantar Arus (KHA) penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenalan gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR.

Sebagai peralatan sakelar utama saluran masuk PHB-TR, dipasangkan Pemutus Beban (LBS) atau NFB (*No Fused Breaker*). Pengaman arus lebih (Over Current) disisi Tegangan Rendah pada PHB-TR dibedakan atas :

a) *No Fused Breaker* (NFB)

No Fused Breaker adalah pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas breaker, maka sistem

magnetik dan bimetalic pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan breaker melepasi beban.

b) Pengaman Lebur (Sekering)

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburkan bagian dari komponennya yang telah dirancang dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana sekering tersebut dipasang dan memutuskan arus, bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam jangka waktu yang cukup. Fungsi pengaman lebur dalam suatu rangkaian listrik adalah untuk setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian baik peralatan atau perlengkapan yang tersambung dari kerusakan dalam batas nilai pengenalnya.

c) Pelebur Tabung Semi Terbuka

Pelebur ini mempunyai harga nominal sampai 1000 Ampere. Penggunaan sebagai pengaman pada saluran induk pengaman pada saluran induk jaringan tegangan rendah, saluran induk instalasi penerangan maupun instalasi tenaga. Apabila elemen lebur dari pelebur ini putus dapat dengan mudah diganti.

d) Pelebur Tabung Tertutup (tipe NH atau NT)

Jenis pengaman lebur ini paling banyak digunakan. Pemilihan besar rating pengaman pelebur sesuai dengan kapasitas transformator.

2.3.6. Peralatan Switching dan Pengamanan Sisi Tegangan Menengah

a. *Fused Cut Out* (FCO)

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada *Fused Cut Out* (FCO) dalam bentuk Fuse Link. Terdapat 3 karakteristik Fuse Link, tipe-K (cepat), tipe-T (lambat) dan tipe-H yang tahan terhadap arus surja. Jika sadapan *Lighting Arrester* (LA) sesudah *Fused Cut Out*, dipilih

Fuse Link tipe-H jika sebelum *Fused Cut Out* (FCO) dipilih Fuse Link tipe-K.

b. *Lightning Arester* (LA)

Untuk melindungi Transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat surja petir. Dengan pertimbangan masalah gangguan pada SUTM, pemasangan Arester dapat saja dipasang sebelum atau sesudah FCO.

e. Konektor

Konektor adalah komponen yang dipergunakan untuk menyadap atau mencabangkan kawat penghantar SUTM ke gardu. Jenis konektor yang digunakan untuk instalasi gardu ini ditetapkan menggunakan *Live Line Connector* (sambungan yang bisa dibuka-pasang) untuk memudahkan membuka/memasang pada keadaan bertegangan. Penyadapan trafo dari SUTM dan pencabangan harus di depan tiang peletakan trafo dari arah pembangkit listrik.

2.3.7. Kawat Penghantar Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Kawat penghantar penggunaannya dalam jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi untuk menghantarkan arus listrik dari suatu bagian ke instalasi listrik lainnya atau bagian yang lain. Dalam pemilihan kawat penghantar harus memperhatikan beberapa sifat sebagai berikut :

1. Memiliki daya hantar yang tinggi
2. Memiliki kekuatan tarik yang tinggi
3. Memiliki berat jenis yang rendah
4. Memiliki fleksibilitas yang tinggi
5. Tidak cepat rapuh

Kawat penghantar untuk jaringan distribusi tenaga listrik biasanya dipilih dari logam yang mempunyai konduktivitas yang besar, keras dan mempunyai kekuatan tarik (*tensile strenght*) yang besar, serta memiliki berat jenis yang rendah, logam yang tahan akan pengaruh proses kimia dan perubahan suhu serta mempunyai titik cair

yang lebih tinggi. Untuk memenuhi syarat tersebut, kawat penghantar hendaknya dipilih suatu logam campuran (*alloy*), yang merupakan pencampuran dari beberapa logam yang dipadukan menjadi satu logam. Logam campuran yang banyak digunakan untuk jaringan distribusi adalah kawat tembaga campuran (*copper alloy*) atau kawat aluminium campuran (*aluminium alloy*).

2.3.8. Isolator Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Isolator adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor atau penghantar. Menurut fungsinya isolator dapat menahan berat dari konduktor/kawat penghantar, mengatur jarak dan sudut antar konduktor serta menahan adanya perubahan pada kawat penghantar akibat temperatur dan angin. Isolator jaringan distribusi tenaga listrik merupakan alat tempat menopang kawat penghantar jaringan pada tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektris dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) sehingga mengakibatkan terjadi kerusakan pada sistem jaringan distribusi. Fungsi utama isolator pada jaringan distribusi tenaga listrik adalah :

- a) Untuk menyeka/mengisolasi penghantar dengan tanah dan antara penghantar dengan penghantar.
- b) Untuk memikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat penghantar dan/atau gaya tarik penghantar.
- c) Untuk menjaga agar jarak antar penghantar tetap (tidak berubah)

2.4. Rugi-rugi Daya Akibat Arus Netral

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus tersebut akan menyebabkan rugi daya disepanjang kawat. Maka dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

P_N : rugi-rugi daya akibat arus mengalir di netral (kw)

I_N : arus pada netral trafo (A)

R_N : resistansi pada penghantar netral trafo (Ω)

Sedangkan untuk mencari persentase rugi-rugi daya akibat arus netral pada transformator distribusi dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$\frac{P_N}{P} \times 100\% \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana :

P_N : rugi-rugi daya akibat arus mengalir di netral (kw)

P : Daya trafo

BAB III METODE PENELITIAN

Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian adalah suatu rencana yang terperinci dan spesifik tentang bagaimana menganalisis dan menginterpretasi data. Dalam perancangan penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan suatu metode penelitian dimana datanya berupa angka-angka dan analisis statistik. Berikut ini adalah tahapan-tahapan dalam penelitian:

Studi Literatur

Pengaruh ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi studi literatur adalah pengumpulan referensi dari buku-buku, penelitian sebelumnya dan jurnal-jurnal dari internet yang berhubungan atau yang dapat mendukung teori penyelesaian penelitian “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi”.

Observasi Lapangan

Observasi adalah metode pengumpulan data melalui pengamatan atau peninjauan langsung di lapangan atau lokasi penelitian. Dalam hal ini peneliti perlu mengunjungi lokasi penelitian untuk mengamati langsung berbagai hal atau kondisi yang ada di lapangan. Penemuan ilmu pengetahuan selalu dimulai dengan observasi dan kembali kepada observasi untuk membuktikan kebenaran ilmu pengetahuan tersebut. Penelitian ini dilakukan secara langsung terjun kelapangan di PT PLN (Persero) ULP Siborongborong.

Pengambilan Data

Dalam penelitian ini, penulis melakukan pengambilan data di PT PLN (persero) ULP Siborongborong dengan dua cara, yaitu:

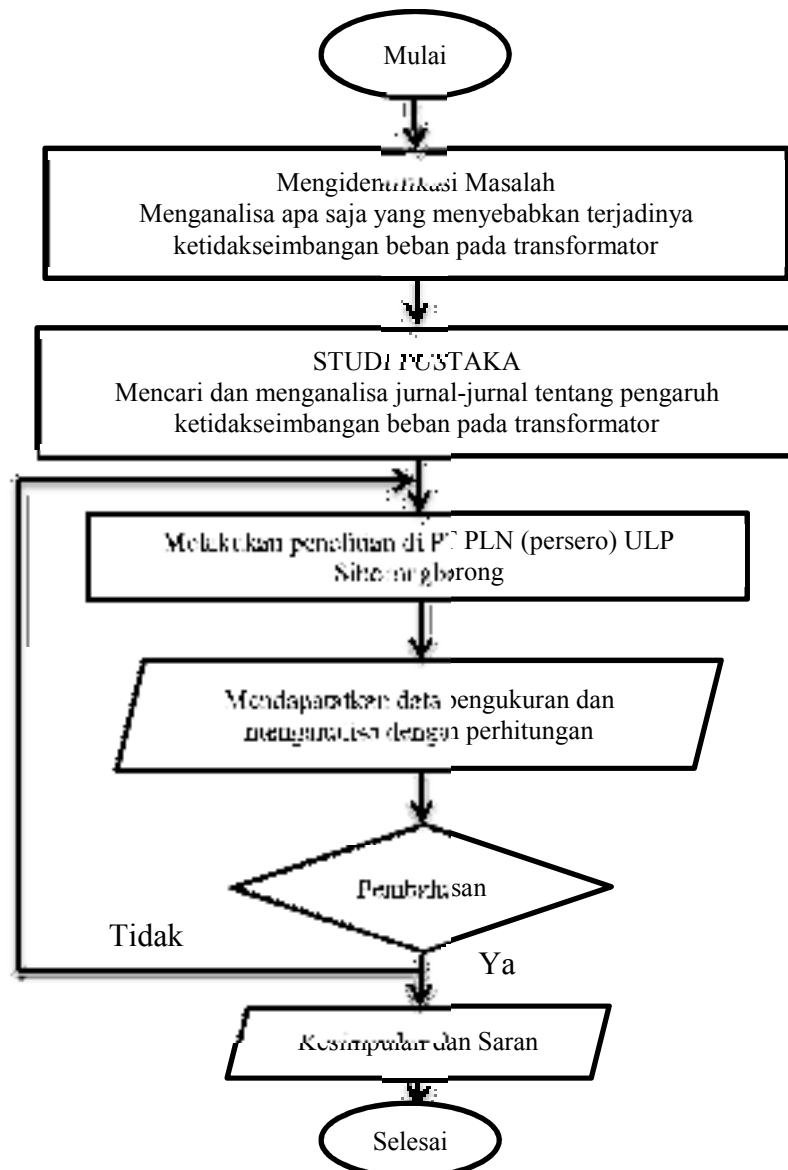
a. Pengukuran Langsung

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan alat uji yaitu Tang Ampere dan Table Pengukuran.

b. Wawancara

Teknik pengumpulan data dengan melakukan tanya jawab secara langsung dengan pegawai atau petugas yang berkaitan dengan judul penelitian.

Flowchart Penelitian



Gambar 3.1.Flowchart Penelitian

Rumus-rumus yang Digunakan

Dalam penelitian ini akan digunakan rumus-rumus yang relevan yang sesuai dengan masalah yang dibahas pada penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Perhitungan arus beban penuh ($I_{\text{beban penuh}}$)

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Dimana :

I_{FL} : arus beban penuh (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder trafo (kV)

2. Perhitungan arus rata-rata ($I_{\text{rata-rata}}$)

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

Dimana :

$I_{\text{rata-rata}}$: arus rata-rata (A)

I : arus per fasa (A)

3. Perhitungan persentase pembebanan transformator

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

Dimana :

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

4. Perhitungan koefisien a, b, dan c

Untuk menghitung besar koefisien a, b dan c dapat digunakan persamaan dibawah

$$I_R = a \times [I] \text{ maka } a = \frac{I_R}{I}$$

$$I_S = a \times [I] \text{ maka } a = \frac{I_S}{I}$$

$$I_T = a \times [I] \text{ maka } a = \frac{I_T}{I}$$

Dimana :

I_R = arus di fasa R

I_S = arus di fasa S

I_T = arus di fasa T

5. Perhitungan persentase ketidakseimbangan beban

Untuk mencari persentase ketidakseimbangan beban maka berlaku persamaan di bawah :

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

6. Perhitungan rugi-rugi daya akibat arus netral

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

Dimana :

P_N : rugi-rugi daya akibat arus mengalir di netral (watt)

I_N : arus pada netral trafo (A)

R_N : resistansi pada penghantar netral trafo (\square)

7. Perhitungan mencari persentase rugi-rugi daya akibat arus netral

Untuk mencari persentase rugi daya akibat arus netral maka berlaku persamaan di bawah:

$$\frac{P_N}{P} \times 100\%$$

Dimana :

P_N : rugi-rugi daya akibat arus mengalir di netral (w)

P : Daya trafo