

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik⁴

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.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

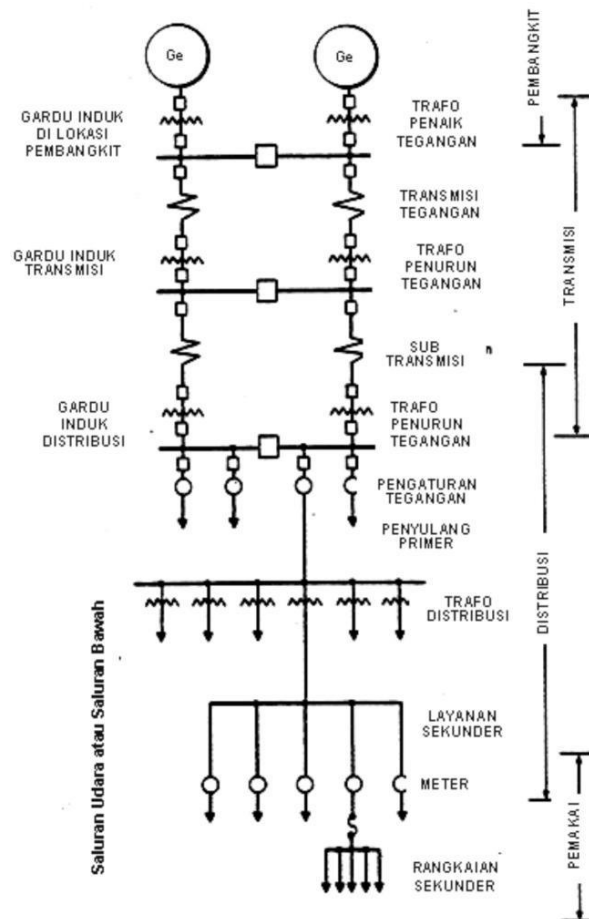
Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian 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 pelanggan konsumen. Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan *transformator step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal harganya perlengkapan-perlengkapannya, selain itu juga tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan

⁴ Suhadi dkk, *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I*, Jakarta, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008, Hal 11

kembali dengan menggunakan *transformator step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.



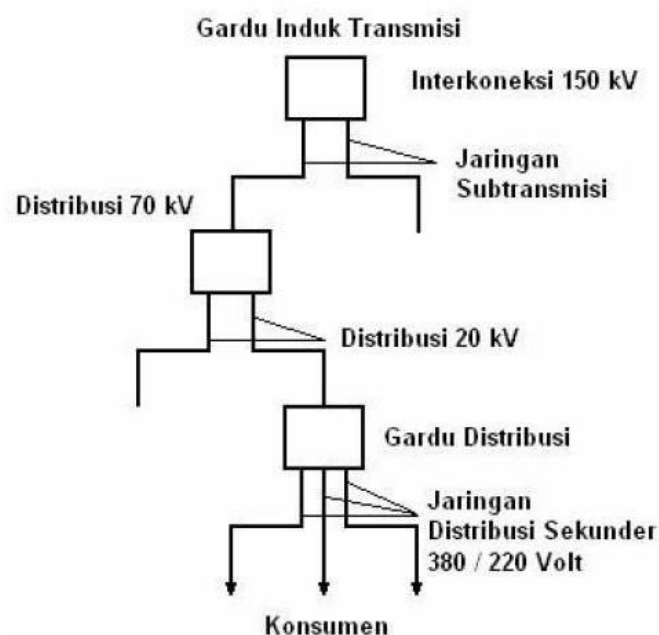
Gambar 2. 1. Pengelompokan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

2.2 Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/primer (JTM), yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk subtransmisi ke gardu distribusi, jaringan distribusi primer menggunakan tiga kawat atau empat kawat untuk tiga fasa. Jaringan yang kedua adalah jaringan tegangan rendah (JTR), yang menyalurkan daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen, dimana sebelumnya tegangan tersebut ditransformasikan oleh transformator distribusi dari 20 kV menjadi 380/220 Volt, jaringan ini dikenal pula

dengan jaringan distribusi sekunder.

Jaringan distribusi sekunder terletak antara transformator distribusi dan sambungan pelayanan (beban) menggunakan penghantar udara terbuka atau kabel dengan sistem tiga fasa empat kawat (tiga kawat fasa dan satu kawat netral). Dapat kita lihat gambar dibawah proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen.

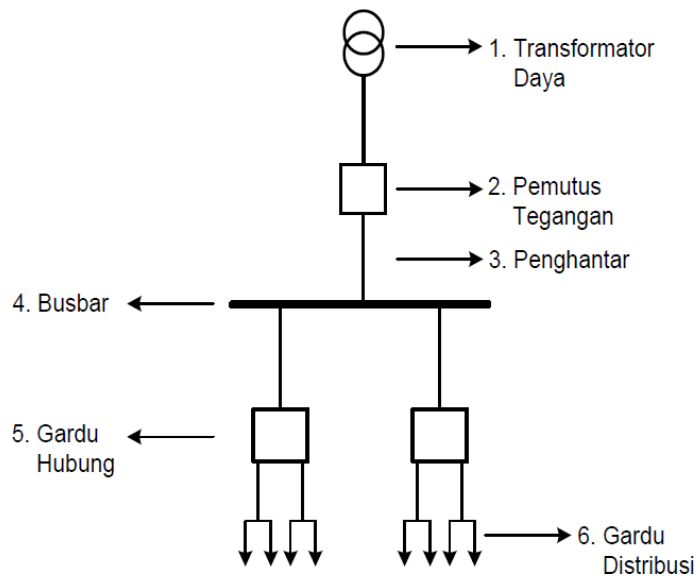


Gambar 2. 2Diagram Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

2.2.1 Jaringan sistem distribusi primer¹

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplay tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer. Berikut adalah gambar bagian-bagian distribusi primer secara umum.

¹ Ahmad Ardiansyah, *Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi Udara 20 kV*, 2010, Hal 7.



Gambar 2. 3 Bagian-bagian Sistem Distribusi Primer

Bagian-bagian sistem distribusi primer terdiri dari :

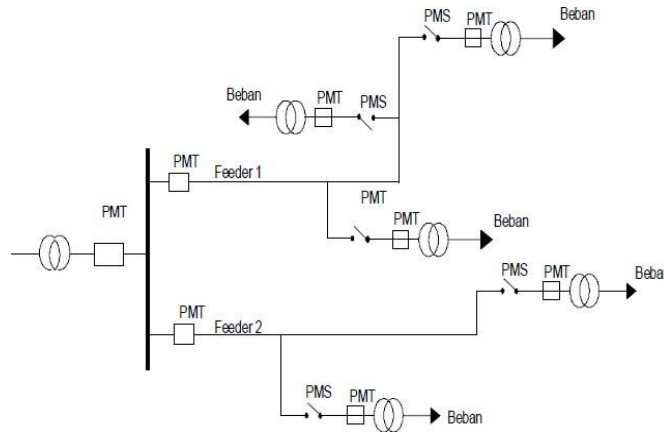
1. Transformator daya, berfungsi untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
2. Pemutus tegangan, berfungsi sebagai pemutus tenaga
3. Penghantar, berfungsi sebagai penghubung tenaga
4. Busbar, berfungsi sebagai titik pertemuan / hubungan antara trafo daya dengan peralatan lainnya
5. Gardu hubung, berfungsi menyalurkan tenaga ke gardu-gardu distribusi tanpa mengubah tegangan.
6. Gardu distribusi, berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah.

2.2.2 Jaringan Distribusi Primer menurut rangkaiannya

Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

a. Jaringan Radial

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

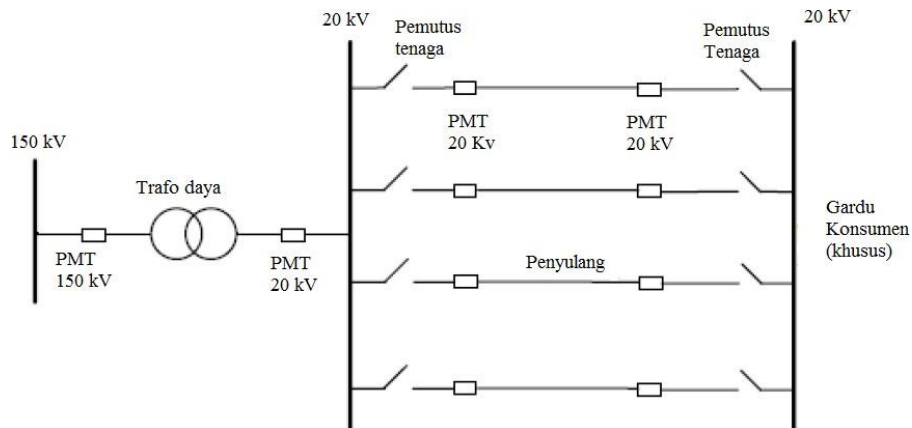


Gambar 2. 4 Skema Saluran Sistem Radial

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran.

b. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

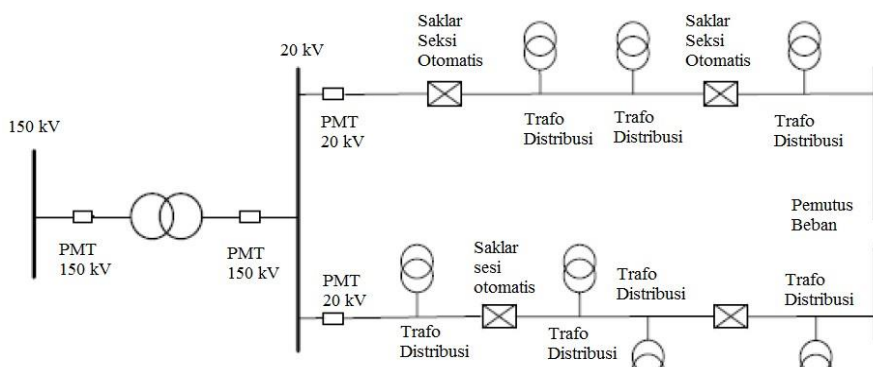
Sistem distribusi Tie Line seperti Gambar 2.3 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain.)



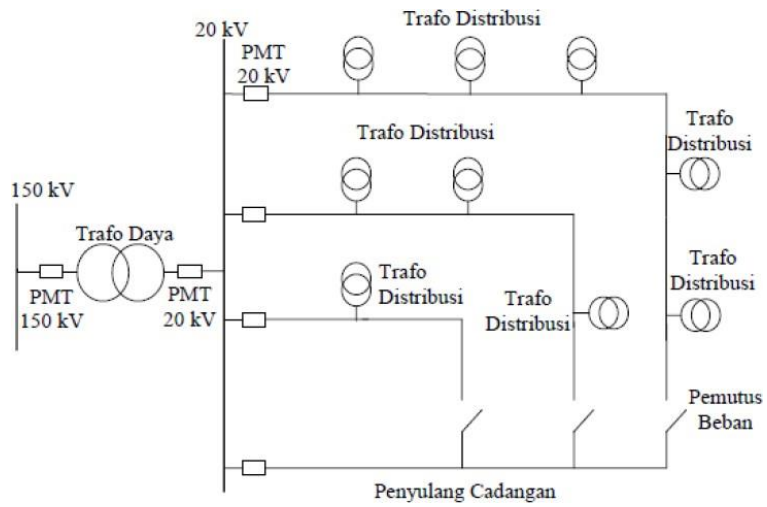
Gambar 2. 5 Skema Saluran Tie Line

c. Jaringan Loop

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisir. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal.



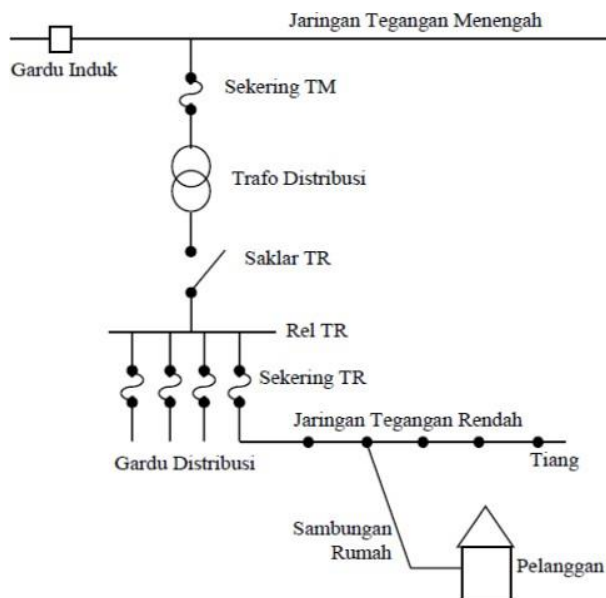
Gambar 2. 6 Skema Saluran Sistem Loop



Gambar 2. 8 Skema Saluran Sistem Cluster

2.2.3 Jaringan sistem distribusi sekunder

Sistem distribusi sekunder seperti pada Gambar 2.2 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 2. 9 Hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsume

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi.

Melihat letaknya, sistem distribusi ini merupakan bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Sistem penyaluran daya listrik pada Jaringan Tegangan Rendah dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.
2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR) Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). ukuran kabel LVTC adalah : $2 \times 10 \text{mm}^2$, $2 \times 16 \text{mm}^2$, $4 \times 25 \text{mm}^2$, $3 \times 35 \text{mm}^2$, $3 \times 50 \text{mm}^2$, $3 \times 70 \text{mm}^2$.

Menurut SPLN No.3 Tahun 1987, jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/pengukur. Sedangkan STR (Saluran Tegangan Rendah) ialah bagian JTR tidak termasuk sambungan pelayanan (bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas/pengukur).

2.4 Gardu Distribusi²

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan

² PT.PLN (Persero), *Buku 4 Standar Kontruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*, Jakarta, 2010. Hal 1

Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

2.4.1 Macam-macam Gardu Distribusi⁷

1. Gardu Open Type (Gardu Sel)

Gardu yang terdapat peralatan hubung yang terbuka. Dimana kerja perlatan dapat dilihat dengan mudah dengan mata biasa saat keluar (membuka) dan saat masuk (menutup). Terdapat pula pisau-pisau kerja dalam peralatan hubungnya. Untuk tempat pemasangan pada umumnya akan diberi sekat yang terbuat dari tembok antar satu dengan yang lainnya. Contohnya gardu tembok open type yang biasa disebut gardu sel.

2. Gardu Close Type

Kebalikannya dari tipe gardu open type. Gardu distribusi ini memiliki peralatan hubung yang tertutup. Sistem proteksi serta peralatan hubung dari trafo akan ditempatkan suatu lemari khusus yang tertutup yang biasa disebut kubikel. Gardu ini sering disebut dengan gardu kubikel.

3. Gardu Beton

Gardu ini sering disebut gardu tembok karena konstruksinya keseluruhannya dari tembok atau beton.

4. Gardu Trafo

Gardu yang berfungsi sebagai pembagi energi listrik di sisi konsumen yang membagikan tegangan rendah. Biasanya akan dipasang trafo ada yang satu saja atau dua buah trafo distribusi yang mengkonversi tegangan dari jaringan menengah ke jaringan tegangan rendah yang tentunya digunakan sebagai pelayanan konsumen yang memerlukan tegangan rendah.

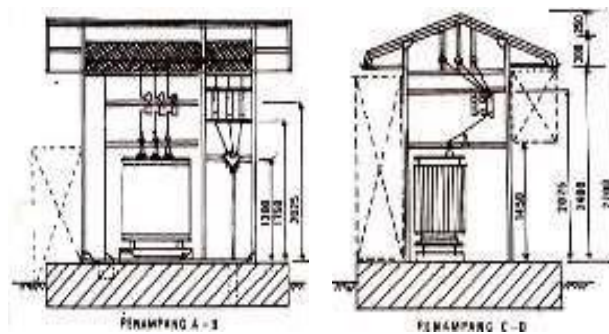
⁷ <http://156.67.221.169/3521/> (Rio farma Antansius : mengurangi overload transformator pada gardu distribusi. diakses pada 5 juni, pukul 20.30)

5. Gardu Hubung

Fungsi dari gardu ini untuk membagi beban ke beberapa gardu maupun digunakan untuk menghubungkan penyulang TM satu dengan penyulang TM lainnya. Dikala untuk saat digunakan untuk melayani konsumen gardu hubung ini akan dilengkapi suatu alat pembatas dan alat pengukur. Biasanya gardu tipe ini hanya dilengkapi suatu peralatan hubung saja

6. Gardu.Kios

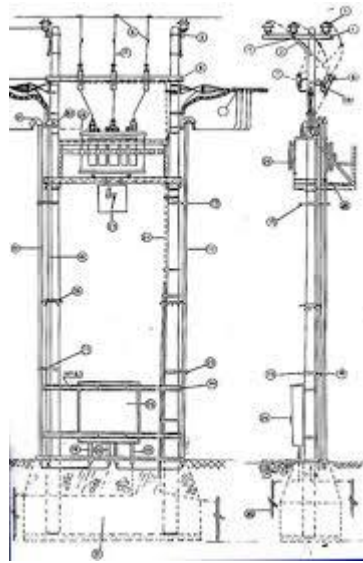
Gardu.kios adalah.gardu yang.bangunan.keseluruhannya.terbuat dari plat.besi.dengan.konstruksi seperti.kios.



Gambar 2. 10 Konstruksi Gardu Kios

7. Gardu.Portal

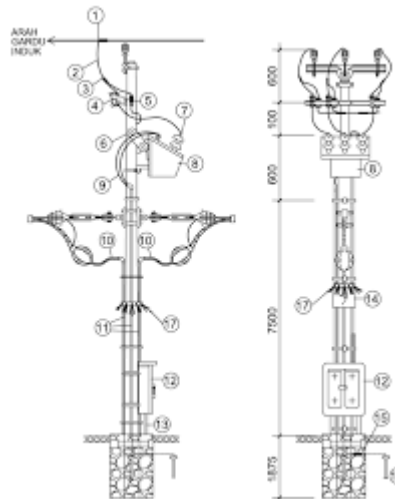
Gardu.portal adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada 2 buah tiang atau lebih.



Gambar 2. 11 Konstruksi Gardu Portal

8. Gardu Kontrol

Gardu kontrol adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada satu tiang



Gambar 2. 12 Konstruksi Gardu Kontrol

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas DC Supply dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

2.5 Gardu Sisip

Gardu sisipan merupakan suatu metode yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) selaku pihak penyedia pelayanan energi untuk menghindari kerugian yang terjadi pada gardu akibat dari transformator yang sebelumnya yang mengalami beban lebih agar dapat menaggulangi beban dari trafo sebelumnya Dengan cara memindahkan sebagian beban transformator pada gardu sisip yang baru, agar dapat mengurangi beban transformator yang sudah ada sebelumnya ,

Terdapat alasan atau faktor yang digunakan oleh PT. PLN (Persero) menyisip gardu atau memasang trafo tambahan pada gardu sisip adalah:

1. Transformator yang ada sebelumnya terjadi overload

Overload sendiri merupakan kondisi beban atau arus yang dipikul terjadi suatu transformator melebihi arus pembebanan penuh atau ketika *full load* sehingga mengakibatkan transformator mengalami peningkatan suhu/panas lalu belitan kawat yang terdapat dalam transformator tidak lagi sanggup menahan beban yang ditampung dan isolasi belitan terjadi kerusakan. Kapasitas beban terpasang pada transformator yang disarankan yakni ≥ 80 % dari kapasitas transformator yang terpakai

2. Penyebab timbulnya *drop voltage* yang terdapat di JTR adalah :

- a. Panjang saluran (Km)
- b. Arus beban puncak (Ampere)
- c. Tahanan saluran (Ohm/Km)

2.6 Transformator Distribusi ³

Transformator merupakan suatu alat listrik suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya atau dapat juga diartikan mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi

³ Prih Sumardjati, dkk, Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3, 2008

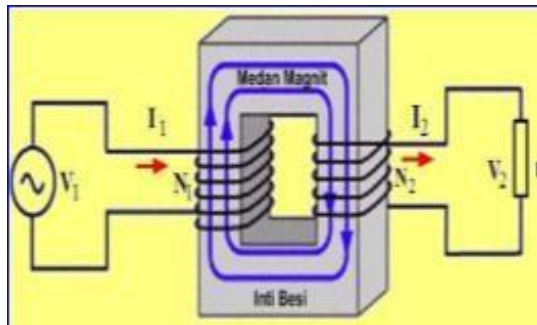
elektromagnet.

Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang teknik listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

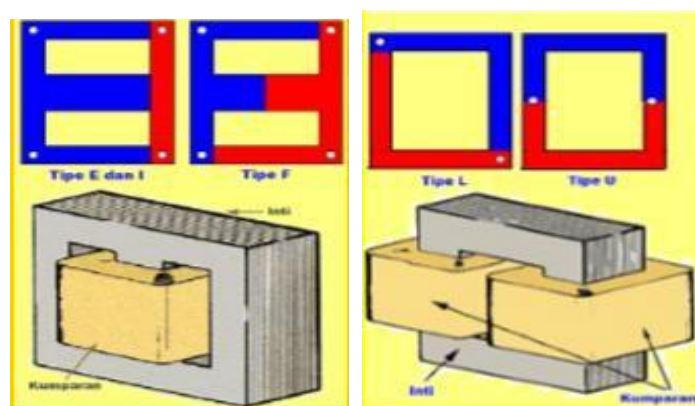
1. Transformator daya, yaitu transformator yang biasa digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi
2. Transformator distribusi, yaitu transformator yang biasa digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi
3. Transformator pengukuran, yaitu transformator yang terdiri dari transformator arus dan transformator tegangan.

Secara konstruksinya transformator terdiri atas dua kumparan yaitu primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan terjadi pada kumparan sisi primer, kemudian fluks tersebut akan mengalir pada inti transformator, dan selanjutnya fluks ini akan mengimbas pada kumparan yang ada pada sisi sekunder yang mengakibatkan timbulnya fluks magnet di sisi sekunder, sehingga pada sisi sekunder akan timbul tegangan.



Gambar 2. 13 Gambar fluks magnet transformator

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua jenis transformator, yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Pada transformator tipe inti Gambar 2.11(a), kumparan mengelilingi inti, dan pada umumnya inti transformator L atau U. Peletakkan kumparan pada inti diatur secara berhimpitan antara kumparan primer dengan sekunder. Dengan pertimbangan kompleksitas cara isolasi tegangan pada kumparan, biasanya sisi kumparan tinggi diletakkan di sebelah luar sedangkan pada transformator tipe cangkang Gambar 2.11b kumparan dikelilingi oleh inti, dan pada umumnya intinya berbentuk huruf E dan huruf I, atau huruf F. Untuk membentuk sebuah transformator tipe Inti maupun Cangkang, inti dari transformator yang berbentuk huruf tersebut disusun secara berlapis-lapis (laminasi), jadi bukan berupa besi pejal.



(a)

(b)

Gambar 2. 14 (a) Transformator tipe inti dan (b) Tipe cangkang

Tujuan utama penyusunan inti secara berlapis ini adalah untuk mengurangi kerugian energi akibat “*Eddy Current*” (arus pusar), dengan cara laminasi seperti ini maka ukuran jerat induksi yang berakibat terjadinya rugi energi di dalam inti bisa dikurangi. Proses penyusunan inti transformator biasanya dilakukan setelah proses pembuatan lilitan kumparan transformator pada rangka (koker) selesai dilakukan.

2.6.1 Fungsi Transformator

Transformator adalah peralatan statis yang berfungsi merubah dan memindahkan energi listrik arus bolak balik dari suatu sirkit tertentu untuk menjadi energi listrik. Di sirkit lain dengan frekuensi yang sama dan dengan tegangan yang berbeda. Secara singkat transformator adalah dawai atau alat yang :

1. Memindahkan daya listrik dari satu sirkit ke sirkit lain.
2. Pemindahan daya tersebut dilaksanakan tanpa perubahan frekuensi.
3. Pemindahan daya tersebut dilaksanakan dengan induksi elektromagnet melalui media medan magnet.
4. Kedua sirkit mempunyai hubungan magnet yang masing- masing saling mempengaruhi induksi bersama (induksi bersama mutual = induksi).
5. Bila tegangan diubah dari tegangan rendah ke tegangan lebih tinggi disebut step up transformer (trafo penaik tegangan).
6. Bila tegangan diubah dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah disebut step down (trafo penurun tegangan).

2.6.2 Bagian-Bagian trafo⁶

Bagian-bagian pada transformator terdiri dari

1. Inti besi

Inti besi digunakan untuk membangkitkan fluks magnet yang ditimbulkan oleh arus pada lilitan atau kumparan trafo, bahan dari inti besi terbuat dari

⁶ https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/ (Putu Arya Mertasana : upaya mengatasi upaya beban lebih pada gardu distribusi 160 Kva. Diakses pada 30 4 juni, pukul 10.00)

plat baja tipis, tujuannya untuk mereduksi panas yang disebabkan oleh arus eddy (eddy current).

2. Kumparan primer dan kumparan sekunder

Kawat enamel yang diisolasi digulung dan diisolasi antara kumparandan antara kumparan dan inti besi. Dalam inti magnet terdapat dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder, jika salah satu kumparan menerima gaya maka kumparan akan menghasilkan fluksmagnet pada inti dan menginduksi kumparan lainnya sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan.

3. Minyak trafo

Gulungan primer dan sekunder pada inti transformator direndam dalam minyak transformator , sehingga panas yang dihasilkan pada coil dan inti transformator dibangkitkan oleh minyak transformator, selain itu minyak tersebut juga digunakan sebagai minyak isolasi coil dan inti besi

4. Isolator bushing

Pada ujung kedua kumparan dari trafo, baik primer ataupun sekunder ia menjadi terminal melalui isolator yang juga merupakan penyekat antara kumparan dan badan trafo.

5. Tangki dan konservator

Bagian trafo yang dibenamkan dalam oli trafo terletak di dalam tangka oli, dan untuk pemuaian oli tangka oli dilengkapi dengan oil konservator yang fungsinya untuk beradaptasi dengan pemuaian oli akibat perubahan suhu .

6. Katub pembuangan dan pengisian

Fungsi dari katub pembuangan transformator yaitu untuk menguras penggantian pada minyak trafo, yang dapat ditemukan pada diatas trafo 100 Kva, dan katub pengisian bahan bakar digunakan untuk menambah atau mengumpulkan sampel oli pada trafo .

7. Oil level

oil level berfungsi untuk mengetahui minyak pada tangki trafo, oil level juga hanya ada pada trafo diatas 100 kVA

8. Pernapasan trafo

Inilah yang disebut pernapasan trafo, akibatnya permukaan minyak akan bersentuhan dengan udara luar, udara luar tersebut menjadi lembab. Oleh karena itu, pada ujung pernapasan menggunakan bahan yang dapat menyerap uap air pada udara luar yaitu bahan kristal zat *Hygrokopsis* (Clilicagel).

9. Pendingin trafo

Perubahan temperatur yang disebabkan oleh perubahan beban akan memanaskan semua komponen trafo, untuk mengurangi panas pada trafo maka trafo harus didinginkan. Ada dua metode pendinginan untuk trafo, yaitu pendinginan alami (Onan) dan pendinginan paksa/tekanan (Onaf). Pada pendinginan alami, melalui heat sink yang bersikulasi dengan udara luar, untuk trafo besar oli dalam trafo disirkulasikan melalui pompa. Pada saat yang sama, untuk yang secara paksa mendinginkan unit pendingin transformator, kipas bekerja sesuai dengan pengaturan suhu.

10. Tap changer trafo (perubahan tap)

Tap changer adalah pembanding konversi yang digunakan untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder dari perubahan tegangan primer sesuai dengan tegangan sekunder yang dibutuhkan. Off Load hanya dapat dioperasikan jika trafo tidak diberi tegangan

2.6.3 Gangguan Pada Transformator

Secara umum, gangguan pada trafo terbagi menjadi dua jenis yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal adalah gangguan yang berasal dari transformator itu sendiri dan gangguan eksternal adalah gangguan yang berasal dari luar transformator yang dapat terjadi kapan saja tanpa batas. Berikut ini penjelasan tentang interferensi internal dan eksternal.

a. Gangguan Internal

Gangguan yang termasuk dalam gangguan internal adalah :

1. Terjadinya busur api (arc) yang kecil dan pemanasan lokal yang disebabkan oleh cara penyambungan konduktor yang tidak baik.

2. Kontak-kontak listrik yang tidak baik. Kerusakan isolasi antara inti baut.

b. Gangguan Eksternal

Gangguan yang termasuk dalam gangguan eksternal adalah :

rus Hubung Singkat Luar (External Short Circuit) Hubung singkat ini terjadi di luar transformator, seperti di bus, dipenyulang (feeder)

dan di sistem yang merupakan sumber bagi transformator tersebut.

1. Beban Lebih (Overload). Apabila transformator bekerja secara kontinyu maka transformator akan tetap berada pada beban nominalnya. Namun apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka transformator tersebut akan mengalami kenaikan suhu dimana trafo akan semakin panas dan dapat mempersingkat umur isolasi transformator.

2.6.4 Manajemen Trafo

Manajemen trafo adalah suatu metode manajemen trafo distribusi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan jaringan distribusi yang handal. Ada beberapa metode dalam pengelolaan trafo yaitu :

1. Menukar transformator atau mutasi transformator (change) antar Transformator yang mengalami overload dengan mengganti Transformator yang mempunyai kapasitas lebih besar.
2. Manuver beban dilakukan dengan memutar salah satu fasa yang berada pada PHB-TR, lalu pindah beban per pelanggan dengan memindahkan beban yang pincang, lalu dilakukan pindah beban dari jurusan satu ke jurusan lain yang mana apabila beban itu berlebih akan dibagi ke jurusan yang nilai bebannya kurang.
3. Memasang transformator sisip diantara transformator yang telah mengalami overload untuk menyuplai sebagian beban dari transformator yang overload. Mengapa dari ketiga metode yang diatas yang dilakukan metode ke

tiga, dikarenakan yang pertama uprating tidak dilakukan karena PLN hanya menyediakan trafo 100 sehingga tidak dapat dilakukan uprating, karena apabila dilakukan uprating trafo yang diganti harus lebih besar kapasitas dari trafo yang mengalami overload.

Tidak dilakukan pembagian beban dari Transformator PD0492 ke transformator di sekitarnya dikarenakan akan menyebabkan kedua transformator disekitarnya menjadi overload dan untuk mutasi trafo tidak dapat dilakukan karena kapasitas trafo yang ada di sekitar memiliki daya yang sama. sehingga pembagian beban dan mutasi terhadap transformator terdekat dianggap tidak efektif.

2.6.5 Penyebab Transformator Overload

- a. Overload pada transformator dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Ada beberapa factor yang dapat menyebabkan Transformator menjadi overload diantaranya sebagai berikut:
Tidak dilakukannya pengukuran beban trafo secara terus menerus untuk mengetahui beban trafo sebenarnya.
- b. Tidak adanya petugas yang monitor trafo yang overload dan merencanakan bagaimana cara untuk mengurangi beban trafo tersebut baik dengan cara manajemen beban JTR maupun manajemen trafo.

2.6.6 Pembebanan Transformator⁵

Untuk Menghitung persentase pembebanan pada transformator pada penelitian ini penulis menggunakan rumus pembebanan sebagai berikut:

$$\% \text{beban} = \frac{S_{\text{total}}}{S_{\text{Transformator}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

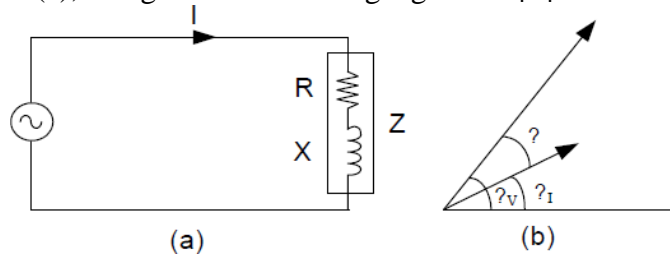
S_{total} = Daya total tersalurkan (kVA)

$S_{\text{Transformator}}$ = Daya Transformator (kVA)

⁵ <https://thecityfoundry.com/segitiga-daya/> (Budi : Teori segitiga daya tiga fasa. diakses pada 17 juni 2022 pukul 15.23)

2.7 Daya Listrik

Apabila suatu sumber listrik arus bolak-balik (AC) diterapkan pada komponen impedansi kompleks $Z = R + jX$ dimana $X = 2\pi \cdot fL$ seperti ditampilkan pada gambar 2.12 (a), menghasilkan fasor tegangan $V = |V|\angle \theta$ dan fasor arus $I = |I|\angle \theta$,



dalam nilai efektif (rms) seperti digambarkan pada gambar 2.12 (b).

Ungkapan daya pada rangkaian diatas adalah perkalian tegangan dan arus VI^* yang menghasilkan,

$$VI^* = |V||I|\angle \theta_v - \theta_i$$

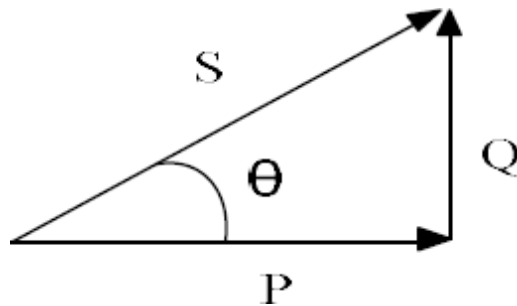
Gambar 2. 15 (a) Rangkaian R dan X, (b) Diagram Vektor I dan V

$$VI^* = |V||I|\angle \theta$$

$$VI^* = |V||I|\cos \theta + j|V||I|\sin \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

Persamaan diatas menentukan kuantitas daya kompleks dimana bagian realnya merupakan daya nyata P dan bagian imajineranya merupakan daya reaktif Q sedangkan θ merupakan sudut daya.

Menurut Smith (1992) konsep daya kompleks memberikan pendekatan lain untuk pemecahan persoalan rangkaian arus AC. Perhitungan yang mengikuti kaidah aljabar kompleks, teknik vektor dan metode grafik dapat diterapkan seperti ditunjukkan pada gambar 2.13



Gambar 2. 16 Segitiga daya kompleks

Selanjutnya daya kompleks ditandai dengan S dan diberikan melalui,

$$S = VI \dots\dots\dots(2.3)$$

$$S = P + jQ \dots\dots\dots(2.4)$$

Magnitude dari S,

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

Persamaan diatas merupakan daya terlihat (apparent power), satuannya dalam Volt-Ampere dan satuan besarnya dalam kVA atau MVA. Daya terlihat memberikan indikasi langsung dari energi listrik dan digunakan sebagai suatu rating satuan perangkat daya. Dari uraian diatas maka daya listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yakni daya semu, daya aktif (nyata) dan daya reaktif.

2.7.1 Daya semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

$$\text{Untuk 1 fasa : } S = V \times I \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

S = Daya semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2.7.2 Daya aktif

Daya aktif (daya nyata) merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian di kalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

$$\text{Untuk 1 fasa} = V \times I \times \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\text{Untuk 3 fasa} = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan antar saluran

(Volt) I = Arus saluran (Amper)

$\cos \emptyset$ = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

2.7.3 Daya reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas.

$$\text{Untuk 1 fasa} Q = V \times I \times \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\text{Untuk 3 fasa} : Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus saluran (Amper)

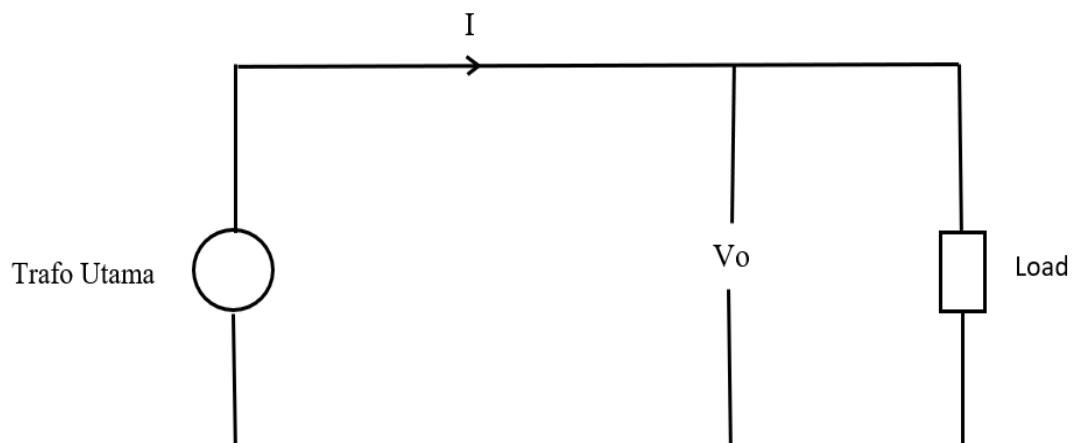
$\sin \phi$ = Faktor Daya (tergantung nilai ϕ)

2.8 Syarat Memparalel Transformator⁸

Memparalel dua buah trafo harus memenuhi kaidah atau syarat sebagai berikut:

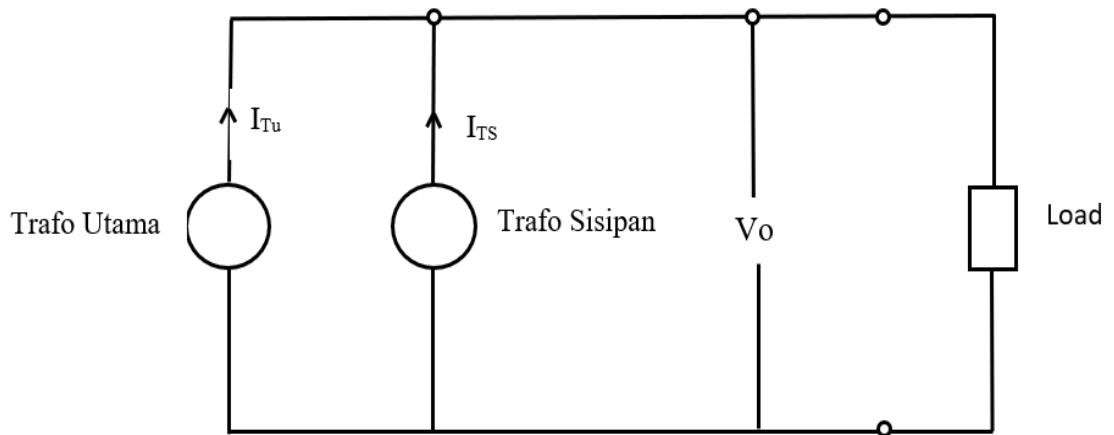
- a. Mempunyai tegangan yang Sama
- b. Frekuensi yang sama
- c. Impedansi yang Sama

Memparalel trafo yang salah satu parameter diatas tidak terpenuhi dapat menimbulkan arus sirkulasi antar trafo dan pembagian pembebanan trafo tidak sesuai dengan yang diinginkan. Sehingga situasi tersebut akan menyebabkan turunnya efisiensi trafo serta menurunkan kemampuan trafo dalam melayani beban.



Gambar 2. 17 sebelum pemasangan trafo sisipan

⁸ https://direktorilistrik.blogspot.com/2012/10/syarat-memparalel-transformator_trafo.html?m=1d (diakses pada 11 juni, pukul 16.00)



Gambar 2. 18 setelah pemasangan trafo sisipan

Dari gambar di atas di dapat persamaan

$$\vec{I}_T = \vec{I}_{TU} + \vec{I}_{TS} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dari Syarat parallel trafo diatas dimana trafo utama mempunyai syarat tegangan yang sama sehingga kapasitas penyuplaian daya masing masing trafo Dapat kita hitung :

$$kVA_{TU} = kVA \text{ beban} \times \frac{\frac{kVA_{TU}}{\%Z_{TU}}}{\frac{kVA_{TS}}{\%Z_{TS}} + \frac{kVA_{TS}}{\%Z_{TZ}}} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$kVA_{TS} = kVA \text{ beban} \times \frac{\frac{kVA_{TS}}{\%Z_{TS}}}{\frac{kVA_{TS}}{\%Z_{TS}} + \frac{kVA_{TS}}{\%Z_{TS}}} \dots \dots \dots (2.15)$$