

BAB II

Tinjauan Pustaka

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan topik yang berhubungan dengan tugas akhir, untuk menentukan beberapa referensi dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya guna untuk menentukan batasan-batasan masalah yang berkaitan dengan topik pada tugas akhir ini. Dengan menggunakan referensi tersebut akan digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam permasalahan-permasalahan apa saja yang berhubungan dengan topik. Berikut terdapat beberapa referensi tinjauan pustaka yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut :

1. Skripsi yang dilakukan Bayu T. Sianipar, Ir. Panusur S.M. L.Tobing, yang berjudul “STUDI PERBANDINGAN BELITAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TIGA FASA PADA SAAT PENGGUNAAN TAP CHANGER (Aplikasi pada PT.MORAWA ELEKTRIK TRANSBUANA). Pada skripsi ini untuk merubah perbandingan belitan (ratio) maka dibuatlah tap (penyadap) pada kedua sisi belitan transformator. Pada pengukuran jumlah belitan sekunder diukur/dihitung secara manual dengan menggunakan alat yang bernama TTR (Transformator Turn Ratio) dengan toleransi sebesar $\pm 1\%$. Kemudian dengan belitan primer cara mendapatkannya yaitu dengan mengalikan jumlah belitan sekunder trafo terhadap persamaan perbandingan tegangannya.
2. Laporan penelitian yang dilakukan oleh Ir. Leonardus Siregar, MT, universitas HKABP NOMMENSEN, Medan 2013 membahas tentang “PENGUJIAN TAPPING TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20”. Pada tapping transformator dibuat pada sisi tegangan tinggi dan dibagi menjadi 7 bagian. Jika ingin menambah belitan primer maka posisi tapping harus dirubah. Jika mengubah belitana primer maka akan mempengaruhi rasio pada perbandingan belitan transformator. Penyebab berubahnya rasio

perbandingan belitan yaitu tegangan rendah akan konstan sedangkan di sisi tegangan tinggi akan menyebabkan perubahan tegangan.

3. Pada skripsi yang dibuat oleh Agustina, Welli yang berjudul “ Optimasi pengaturan tap OLTC untuk meningkatkan stabilitas transformator daya 500 kV unit 7 PT. YTL Jawa timur berbasis artifiicar neural network” **Universitas Jember**. Penyebab ketidakstabilan tegangan pada transformator adalah pergerakan tap changer. Tap changer adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengubah tap transformator pada saat terbeban yang dapat menambah atau mengurangi jumlah kumparan pada transformator tanpa harus melakukan pemadaman terlebih dahulu. Pada tap changer, tegangan dapat diubah berdasarkan tegangan sekunder baru. Untuk meningkatkan stabilitas tegangan sekunder pada transformator daya 500 kV maka penelitiain ini bertujuan untuk menganalisis optimasi pengaturan posoi tap changer.
4. Pada skripsi Mohamad Fikri Ibrahim yang berjudul “ Studi aliran daya 3 fasa dengan mempertimbangkan transformator distribusi hubung belitan Delta-Delta pda penyulang katu gardu induk manggala” universitas Lampung 2016. Suatu sistem tenaga listrik terdapat aliran daya berupa daya aktif dan daya reaktif ini merupakan suatu fungsi dari studi aliran daya. Transformator merupakan salah satu peralatan listrik yang dapat membantu mendapatkan hasil studi aliran daya, dimana pada suatu sistem transformator distribusi bertujuan untuk mengkonversi suatu tegangan menengah di sisi primer menjadi tegangan rendah pada sisi sekunder. Transformator distribusi menggunakan hubungan Delta-Wye pada umumnya.
5. Skripsi Maula Firdha Safala yang berjudul “PENSTABILAN TEGANGAN SEKUNDER PADA TRANSFORMATOR DAYA 150/20 KV AKIBAT JATUH TEGANGAN “ Unnes 2016. Dengan pertimbangan tertentu nilai tegangan nominal keluaran sisi sekunder awal pada transformator daya 150/20 kV adalah 20 kV kemudian dirubah menjadi 21 kV. Pada perubahan posisi tap changer mengakibatkan perubahan tegangan

inputan menurut tabel pada namplate transformator, pada tap 8 akan menaikkan tegangan sisi sekunder menjadi 21 kV yang pada saat semula tegangan masukan transformator 150 kV berada saat posisi normal on load tap changer .

6. Skripsi Rani Kusuma Dewi yang berjudul “STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI HUBUNG BELITAN DELTA-WYE PADA PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA” Universitas Lampung 2016. Dalam sistem tenaga listrik terdapat Studi aliran daya diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai tegangan dan aliran daya. komponen sistem tenaga perlu dimodelkan seakurat mungkin untuk sebuah hasil aliran daya yang akurat. Pada transformator hubung belitan Dyn5 dan Dyn11, tranformator distribusi merupakan sebuah komponen dalam sistem tenaga dimodelkan untuk urutan impedansi dalam penelitian ini.

2.2 Transformator

Transformator terdiri dari dua buah kumparan yaitu (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang mempunyai reluktansi (*reluctance*) rendah. Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul didalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka terjadi induksi sendiri (*self induction*) dan juga terjadi induksi di kumparan sekunder karena terjadi pengaruh induksi dari kumparan primer atau sering disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan terjadinya fluks magnet dikumparan sekunder, maka arus sekunder akan mengalir jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer secara keseluruhan (secara magnetisasi). Secara umum jika suatu kumparan dialiri arus bolak-balik maka akan timbul Φ , lalu timbul tegangan induksi sebesar :

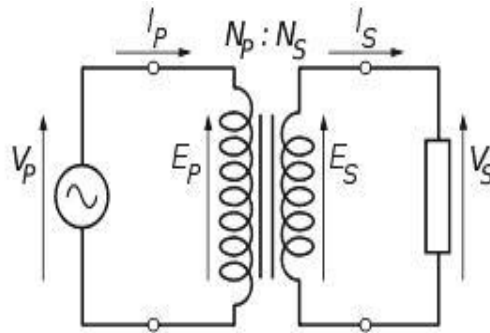
$$e = -N \frac{d\phi}{d}$$



Gambar 2.1. Transformator
(Sumber: PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA)

2.2.1 Prinsip Kerja Transformator Tenaga

Prinsip kerja dari sebuah transformer/transformator adalah berdasarkan dari teori *Michael Faraday*, yang dikenal dengan teori induksi magnet. Transformator memiliki dua buah gulungan kawat yang terpisah satu dengan yang lainnya dan dibelitkan pada inti yang sama. Ketika belitan pada kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer akan menimbulkan medan magnet yang berubah. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan dari inti besi ke kumparan sekunder, sehingga ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl (gerak gaya listrik) induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*).



Gambar 2.2. Rangkaian Equivalen Transformator Ideal

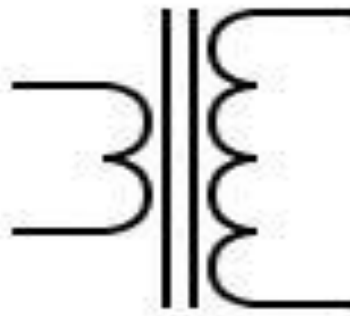
(Sumber: <https://blogs.itb.ac.id/e12244k0112211033muhammadarfanpratama/2013/04/29/transformator/>)

Pada transformator (trafo) ideal besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh kumparan sekunder (V_s) adalah :

- Sebanding dengan banyaknya lilitan sekunder ($V_s \sim N_s$).
- Sebanding dengan besarnya tegangan primer ($V_s \sim V_p$).
- Berbanding terbalik dengan banyaknya lilitan primer (N_p).

2.2.2 Jenis Transformator Tenaga

- Transformator *step-up*



Gambar 2.3. Transformator *Step-Up*

(Sumber: <http://www.berpendidikan.com/2015/10/macam-macam-dan-ciri-ciri-transformator-trafo-step-up-step-down.html>)

Gambar 2.3 menunjukkan rangkaian ekuivalen transformator *step-up*. Transformator *step-up* adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik

sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.

b. Transformator *step-down*

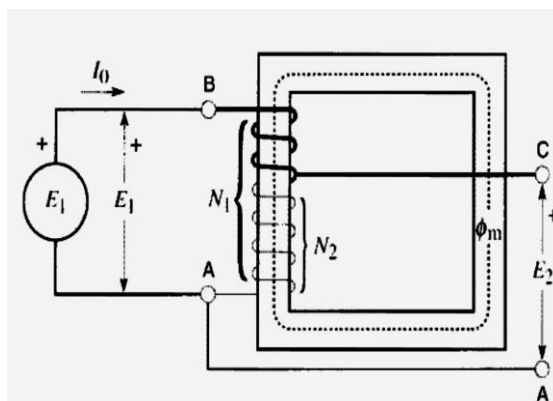


Gambar 2.4. Transformator *Step-Down*

(Sumber: <http://www.berpendidikan.com/2015/10/macam-macam-dan-ciri-ciri-transformator-trafo-step-up-step-down.html>)

Gambar 2.4 menunjukkan rangkaian ekuivalen transformator *step-down*. Transformator *step-down* memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.

c. Autotransformator



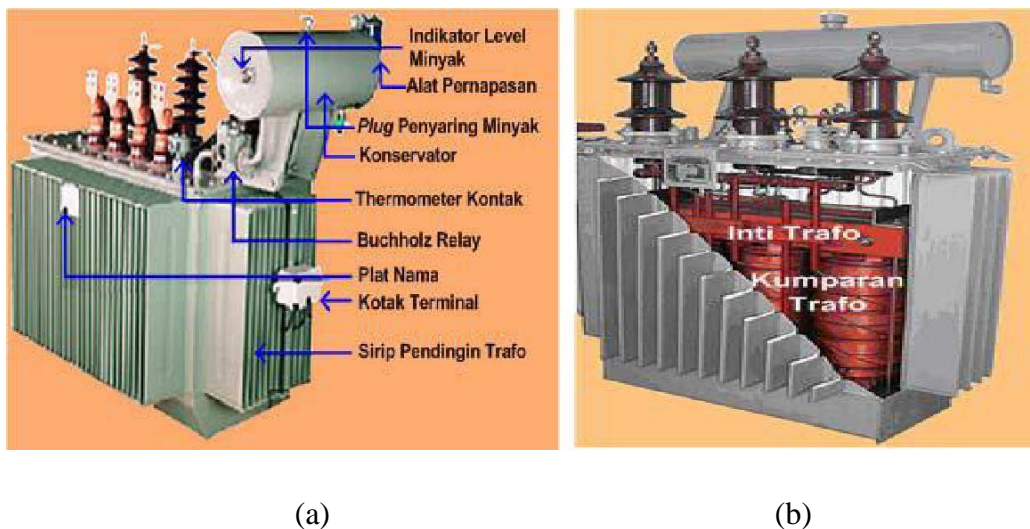
Gambar 2.5. Autotransformator

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

Gambar 2.5 menunjukkan rangkaian ekuivalen Autotransformator. Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga arus yang mengalir ke beban merupakan jumlah dari arus primer dan sekunder. Akibatnya untuk nilai daya yang sama, lilitan sekunder dapat dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari autotransformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan nilai rugi dayanya lebih rendah daripada transformator biasa. Autotransformator biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan dengan nilai tidak lebih dari 1,5 kali tegangan awal

2.2.3 Bagian-bagian Transformator

Suatu transformator tenaga terdiri dari beberapa bagian. Bagian-bagian transformator tenaga ditunjukkan oleh gambar 2.6



Gambar 2.6. Bagian – Bagian Transformator

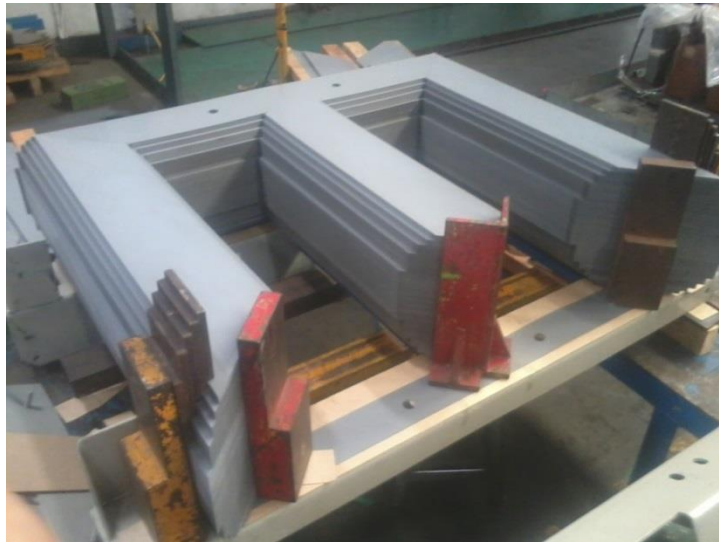
(Sumber: <http://www.bloganton.info/2013/10/transformator-tiga-phasadan-bagian.html>)

(a) Bagian luar Transformator

(b) Bagian dalam Transformator

a. Inti Transformator

Terdiri dari lapisan plat-plat baja silikon yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk batangan dengan ketebalan tertentu. Bentuk inti trafo ada dua macam yaitu tipe *core* dan tipe *shell*. Jenis *shell* digunakan untuk trafo dengan daya kecil dimana lilitan primer dan lilitan sekunder terletak pada satu kaki inti, atau lilitan dilingkupi oleh kaki-kaki trafo. Tipe *core* digunakan untuk trafo yang dengan besar. Lilitan primer dan sekunder dililitkan pada kaki-kaki inti atau lilitan melingkupi inti.



Gambar 2.7. Inti Transformator

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

b. Lilitan Transformator

Trafo mempunyai 2 lilitan yaitu lilitan primer dan lilitan sekunder. Lilitan primer terhubung dengan sumber, sedangkan lilitan sekunder dihubungkan dengan beban. Lilitan dibuat dari bahan tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi. Untuk trafo dengan daya besar lilitan dimasukkan dalam minyak trafo untuk keperluan pendinginan. Banyaknya lilitan akan menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder.



Gambar 2.8. Lilitan Transformator
(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

c. *Bushing*

Bushing adalah peralatan yang berfungsi untuk menghubungkan ujung-ujung kawat lilitan trafo dengan kawat dari penghantar luar. Selain itu juga sebagai pengaman hubung singkat antara kawat yang bertegangan dengan tangki trafo.



Gambar 2.9. *Bushing* transformator
(Sumber: <http://www.aresmetal.com/DIN42534.asp>)

d. Konservator

Konservator berupa tangki tambahan berbentuk silinder yang ditempatkan diatas tangki trafo. Fungsi alat ini adalah untuk tempat luapan minyak trafo pada saat memuai akibat temperatur yang tinggi

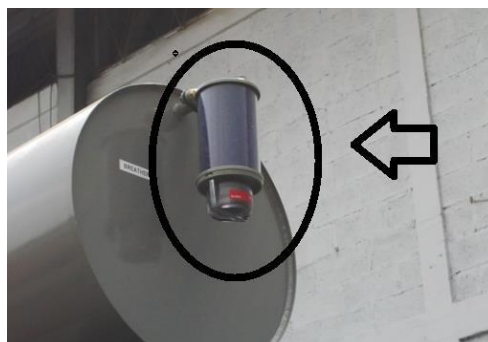
pada lilitan. Selain itu tangki konservator juga berfungsi untuk menampung cadangan minyak trafo saat kehilangan minyak trafo akibat pengambilan sampel minyak trafo.



Gambar 2.10. Konservator pada transformator
(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

e. Dehydrating Breather

Ventilasi udara dipasang alat pernafasan berupa saringan silikagel yang akan menyerap uap air. Bila silikagel yang berwarna biru sudah jenuh oleh uap air maka akan terjadi perubahan warna menjadi merah muda, untuk itu harus diaktifkan dengan cara pemanasan pada temperatur 150° - 200°C sehingga warnanya berubah menjadi biru. Selain silikagel, pemeliharaan juga dilakukan pada piringan-piringan berpori dan oil seal yang berfungsi sebagai filter debu ataupun serangga yang terbawa bersama-sama udara.



Gambar 2.11. *Dehydrating Breather*
(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

f. Tap Changer

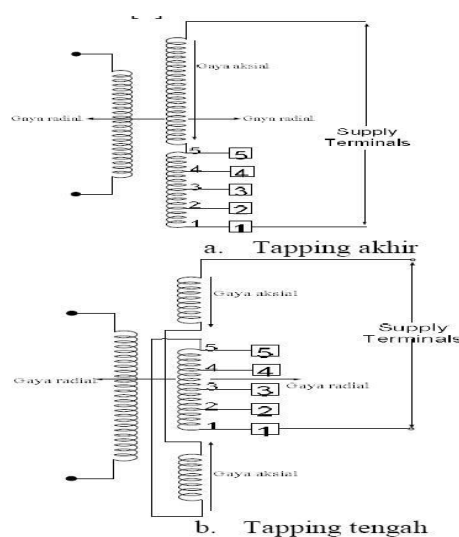
Tap changer atau pengubah tapping adalah suatu alat pengubah tegangan dengan mengubah rasio perbandingan belitan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder akibat adanya perubahan tegangan pada sisi primer.

$$\alpha \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\alpha \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Tegangan keluaran atau tegangan terminal konsumen dapat dikendalikan dengan pemasangan tapping pada sisi primer atau pada sisi sekunder transformator. Perubahan posisi tapping dikendalikan oleh tap changer. Prinsip pengaturan tegangan sekunder berdasarkan perubahan jumlah belitan primer atau sekunder. V_1 , N_1 dan V_2, N_2 adalah parameter primer dan sekunder.

Tapping dapat dibuat di awal, di akhir dan di tengah belitan transformator ditunjukkan Gambar 2.12



Gambar 2.12 Posisi tapping pada belitan transformator

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

Tap *changer* tanpa beban biasanya digunakan pada transformator distribusi dimana tegangannya lebih stabil, sehingga pengaturan tappingnya dilakukan pada saat pemasangan transformator kedalam sistem tenaga listrik dan dalam jangka waktu lama. Suatu transformator, tapping dibuat pada sisi primer. Ketika semua belitan primer dalam rangkaian terhubung kesumber tegangan, tegangan sekundernya adalah :

$$V_{S1} = \frac{V_2}{N_2} \times N_s \dots\dots\dots (2.3)$$

$$V_{S2} = \frac{V_1 - IX_r}{N_1} \times N_s \dots\dots\dots (2.4)$$

$$V_{S3} = \frac{2V_1}{N_1 + N_2} \times N_s \dots\dots\dots (2.5)$$

$$V_{S4} = \frac{V_1 - IX_r}{N_2} \times N_s \dots\dots\dots (2.6)$$

$$V_{S5} = \frac{V_1}{N_2} \times N_s \dots\dots\dots (2.7)$$

Terdapat dua macam tap changer yang dibedakan berdasarkan kondisi kerjanya yaitu :

a. Off load tap changer

Adalah tap changer yang dioperasikan dalam keadaan tak berbeban. Tap changer ini dipasang pada trafo utama dan dioperasikan

secara manual dengan memutar engkol sebelum mengoperasikannya, trafo harus dibebaskan dari sumber tegangan (off).

b. On load tap changer

Tap changer yang selama pindah tap, trafo tetap terhubung dengan sumber tegangan. Alat ini dipasang pada trafo pemakaian sendiri. Cara pengoperasian alat ini bisa dilakukan secara manual maupun otomatis.

2.2.4 Pendingin Transformator

Rugi-rugi pada lilitan primer, sekunder dan inti trafo berubah menjadi energi lain, sebagian besar berubah menjadi panas. Karena itu trafo perlu didinginkan. Ada beberapa macam metode pendinginan trafo sebagai berikut :

a) Pendingin udara

Pendingin udara trafo dengan peralatan kipas yang digerakkan oleh motor listrik, tiga buah ditempatkan disamping tangki trafo untuk menghembuskan udara ke dalam tangki trafo yang sedang bekerja. Untuk menyaring udara yang masuk digunakan filter pada lubang masuknya.



Gambar 2.13. Pendingin Transformator

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

b) Pendingin minyak

Pemakaian minyak untuk pendinginan adalah karena minyak mempunyai kemampuan isolasi yang lebih baik dari pada udara . Selain itu, minyak dapat menghantarkan panas dengan baik. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh minyak untuk pendinginan trafo adalah kekuatan dielektriknya tinggi, bebas asam organik, maupun alkali dan belerang, viskositasnya rendah, pada waktu operasi normal tidak terbentuk lumpur dan titik nyala (*flash point*) tinggi atau tidak mudah terbakar.

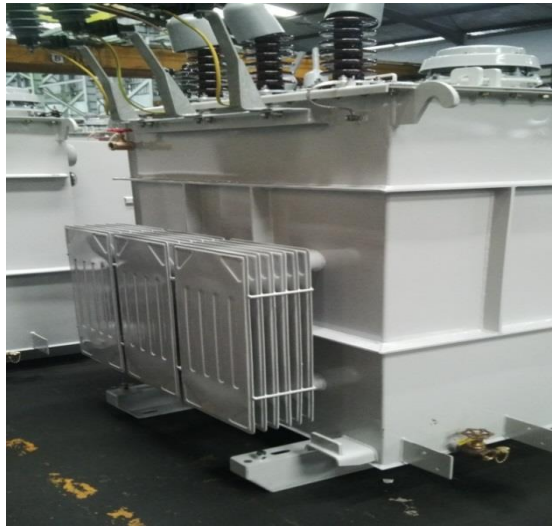


Gambar 2.14. Transformator Dengan Sistem Pendingin Minyak

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

c) Pendingin elemen

Pendinginan elemen tersusun dari lembaran-lembaran metal yang berbentuk berliku-liku. Setiap pasang bentuk liku-liku disatukan dan didalamnya diisi dengan minyak trafo. Dengan demikian terdapat celah udara diantara kedua pasang lekukan. Celah udara ini dimaksudkan untuk mendinginkan minyak trafo.



Gambar 2.15. Trafo Dengan Sistem Pendingin Elemen

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

Tabel 2.1 Jenis-Jenis Sistem Pendingin Transformator					
No.	Macam-macam Sistem Pendingin	MEDIA			
		Di dalam Transformator		Di luar Transformator	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alami	Sirkulasi Paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

d) Indikator

Indikator digunakan untuk mengawasi operasi dari transformator. Beberapa indikator yang dipasang pada transformator antara lain :

1) Thermometer

Alat ini berfungsi untuk mengukur tingkat panas dari tranformator baik kumparan primer dan sekunder juga minyak. Thermometer ini bekerja atas dasar air raksa (*mercuri/Hg*) yang tersambung dengan tabung pemuai dan tersambung dengan jarum indikator derajat panas. Beberapa thermometer dikombinasikan dengan panas dari resistor khusus yang tersambung dengan tansformator arus, yang terpasang pada salah satu fasa (fasa tengah) dengan demikian penunjukan yang diperoleh adalah relatif terhadap kebenaran dari panas yang terjadi. Gambar kontruksi Thermometer dapat dilihat pada gambar 2.16

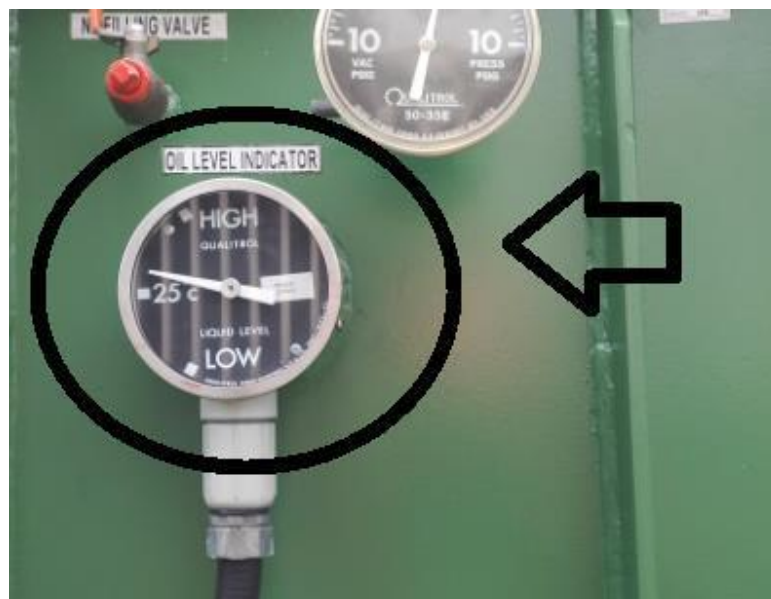


Gambar 2.16. Konstruksi Thermometer

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

2) *Oil level* indikator

Alat ini berfungsi untuk penunjukan tinggi permukaan minyak yang ada pada konservator. Ada beberapa jenis penunjukan seperti penunjukan langsung yaitu dengan cara memasang gelas penduga pada salah satu sisi konservator sehingga akan mudah mengetahui *level* minyak. Sedangkan jenis lain jika konservator dirancang sedemikian rupa dengan melengkapi semacam balon dari bahan elastis dan diisi dengan udara biasa dan dilengkapi dengan alat pelindung seperti pada sistem pernapasan sehingga pemuaian dan penyusutan minyak udara yang masuk kedalam balon dalam kondisi kering dan aman.



Gambar 2.17. *Oil Level Indicator*

(Sumber: PT. TRAFINDO PRIMA PERKASA)

3) *Name Plate*

Name plate yang terdapat pada bagian luar transformator sebagai pedoman saat pemasangan maupun perbaikan. Data-data yang dicantumkan seperti : Fasa dan Frekuensi , Daya Nominal , tegangan primer / sekunder,

kelompok hubungan, arus normal, % arus hubung singkat, system pendinginan, volume minyak, dan lain-lain.



Gambar 2.18. Name Plate Transformator

(Sumber: PT. TRAFONDO PRIMA PERKASA)

2.3 Pengujian Transformator

Pengujian transformator dilaksanakan menurut SPLN'50-1982 dengan melalui tiga macam pengujian, sebagaimana diuraikan juga dalam IEC 76 (1976), yaitu :

2.3.1 Pengujian Rutin

Pengujian rutin adalah pengujian yang dilakukan terhadap setiap transformator, meliputi:

a. Pengukuran tahanan isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada awal pengujian dimaksudkan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi trafo, untuk menghindari kegagalan yang fatal dan pengujian selanjutnya, pengukuran dilakukan antara:

- a) sisi HV – LV
- b) sisi HV – Ground
- c) sisi LV – Ground

d) X1/X2 - X3/X4 (trafo 1 fasa)

e) X1/X2 - X3/X4 trafo 1 fasa yang dilengkapi dengan *circuit breaker*.

b. Pengukuran tahanan kumparan

Pengukuran tahanan kumparan adalah untuk mengetahui berapa nilai tahanan listrik pada kumparan yang akan menimbulkan panas bila kumparan tersebut dialiri arus. Nilai tahanan belitan dipakai untuk perhitungan rugi-rugi tembaga trafo. Pada saat melakukan pengukuran yang perlu diperhatikan adalah suhu belitan pada saat pengukuran yang diusahakan sama dengan suhu udara sekitar, oleh karenanya diusahakan arus pengukuran kecil. Peralatan yang digunakan untuk pengukuran tahanan di atas 1 ohm adalah Wheatstone Bridge, sedangkan untuk tahanan yang lebih kecil dari 1 ohm digunakan Precision Double Bridge.

c. Pengukuran perbandingan belitan

Pengukuran perbandingan belitan adalah untuk mengetahui perbandingan jumlah kumparan sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada setiap tapping, sehingga tegangan output yang dihasilkan oleh trafo sesuai dengan yang dikehendaki. toleransi yang diijinkan adalah:

1) 0,5 % dari rasio tegangan atau b. 1/10 dari persentase impedansi pada tapping nominal.

Pengukuran perbandingan belitan dilakukan pada saat semi assembling yaitu setelah coil trafo di *assembling* dengan inti besi dan setelah tap changer terpasang, pengujian kedua ini bertujuan untuk mengetahui apakah posisi tap trafo telah terpasang secara benar dan juga untuk pemeriksaan *vector group* trafo.

Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan *Transformer Turn Ratio Test* (TTR), misalnya merk James G. Biddle Co Cat. No.55005 atau Cat. No. 550100-47.

2) Pemeriksaan *Vector Group*

Pemeriksaan *vector group* bertujuan untuk mengetahui apakah polaritas terminal-terminal trafo positif atau negatif. Standar dari notasi yang dipakai adalah *ADDITIVE* dan *SUBTRACTIVE*.

3) Pengukuran rugi dan arus beban kosong

Pengukuran ini untuk mengetahui berapa daya yang hilang yang disebabkan oleh rugi histerisis dan eddy *current* dari inti besi (core) dan besarnya arus yang ditimbulkan oleh kerugian tersebut. Pengukuran dilakukan dengan memberikan tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka.

4) Pengukuran rugi tembaga dan impedansi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya yang hilang pada saat trafo beroperasi akibat dari tembaga (W_{cu}) dan stroy loss (W_s) trafo yang digunakan. Pengukuran dilakukan dengan memberi arus nominal pada salah satu sisi dan pada sisi yang lain dihubung-singkat, dengan demikian akan terbangkit juga arus nominal pada sisi tersebut, sehingga trafo seolah-olah dibebani penuh. Perhitungan rugi beban penuh (W_{cu}) dan impedansi (I_z), dimana pada waktu pengukuran tahanan belitan (R), W_{cu} dan I_z dilakukan pada saat suhu rendah (udara sekitar (t)), maka W_{cu} dan I_z perlu dikoreksi terhadap suhu acuan 75°C .

5) Pengujian tegangan terapan (*Withstand Test*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menguji kekuatan isolasi antara kumparan dan *body* tangki. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan uji sesuai dengan standar uji dan dilakukan pada:

- a) isi tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah dan *body* yang di tanahkan.

- b) sisi tegangan rendah terhadap sisi tegangan tinggi dan body yang di tanahkan.
- c) waktu pengujian 60 detik.
- 6) Pengujian tegangan induksi

Pengujian tegangan induksi bertujuan untuk mengetahui kekuatan isolasi antara layer dari tiap-tiap belitan dan kekuatan isolasi antara belitan trafo. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan supply dua kali tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka. Untuk mengatasi kejenuhan pada inti besi (*core*) maka frekwensi yang digunakan harus dinaikkan sesuai dengan kebutuhan. waktu pengujian maksimum adalah 60 detik.

- 7) Pengujian kebocoran tangki

Pengujian kebocoran tangki dilakukan setelah semua komponen trafo terpasang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan kondisi paking dan las trafo. Pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan nitrogen (N₂) sebesar kurang lebih 5 psi dan dilakukan pengamatan pada bagian-bagian las dan paking dengan memberikan cairan sabun pada bagian tersebut. Pengujian dilakukan sekitar 3 jam apakah terjadi penurunan tekanan.

2.3.2 Pengujian jenis

Pengujian jenis adalah pengujian yang dilaksanakan terhadap sebuah trafo yang mewakili trafo lainnya yang sejenis, guna menunjukkan bahwa semua trafo jenis ini memenuhi persyaratan yang belum diliput oleh pengujian rutin. Pengujian jenis meliputi:

- a. Pengujian kenaikan suhu
- b. Pengujian tegangan *impulse*

2.3.3 Pengujian khusus

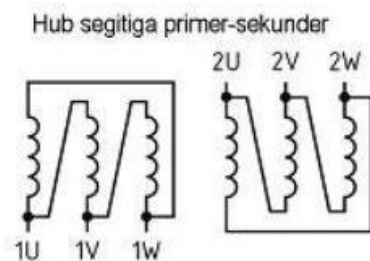
Pengujian khusus adalah pengujian yang lain dari uji rutin dan jenis, dilaksanakan atas persetujuan pabrik dengan pembeli dan hanya dilaksanakan terhadap satu atau lebih trafo dari sejumlah trafo yang dipesan dalam suatu kontrak. Pengujian khusus meliputi :

- a. Pengujian dielektrik
- b. Pengujian impedansi urutan nol pada trafo tiga fase
- c. Pengujian hubung singkat
- d. Pengujian harmonik pada beban kosong
- e. Pengujian tingkat bunyi akustik
- f. Pengukuran daya yang diambil oleh motor-motor kipas dan pompa minyak

2.4 Konfigurasi transformator 3 fase

Transformator 3 fasa pada dasarnya merupakan Transformator 1 fase yang disusun menjadi 3 buah dan mempunyai 2 belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Ada dua metode utama untuk menghubungkan belitan primer yaitu hubungan segitiga dan bintang (delta dan *wye*). Sedangkan pada belitan sekundernya dapat dihubungkan secara segitiga, bintang dan zig-zag (Delta, *Wye* dan Zig-zag). Ada juga hubungan dalam bentuk khusus yaitu hubungan open-delta (*VV connection*).

2.4.1 Transformator hubungan segitiga-segitiga (*delta-delta*)

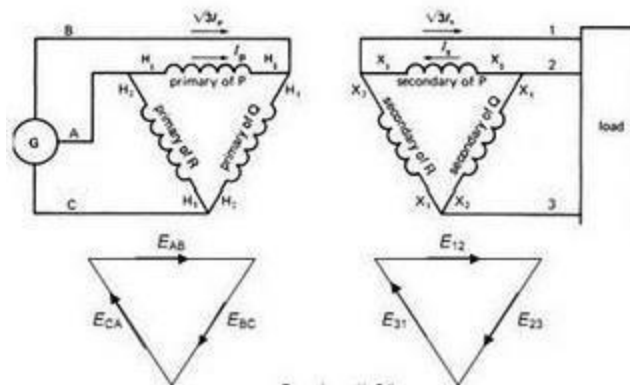


Gambar 2.19. Hubungan *delta-delta* (segitiga-segitiga)

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

Pada gambar 2.19 baik belitan primer dan sekunder dihubungkan secara delta. Belitan primer terminal 1U, 1V dan 1W dihubungkan dengan suplai tegangan 3 fasa. Sedangkan belitan sekunder terminal 2U, 2V dan 2W disambungkan dengan sisi beban. Pada hubungan Delta (segitiga) tidak ada titik netral, yang diperoleh ketiganya merupakan tegangan *line ke line*, yaitu L1, L2 dan L3.

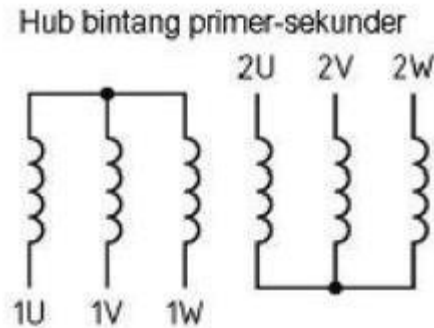
Dalam hubungan delta-delta (lihat gambar 2.22), tegangan pada sisi primer (sisi masukan) dan sisi sekunder (sisi keluaran) adalah dalam satu fasa. Dan pada aplikasinya (lihat gambar 2.23), jika bebanimbang dihubungkan ke saluran 1-2-3, maka hasil arus keluaran adalah sama besarnya. Hal ini menghasilkan arus line imbang dalam saluran masukan A-B-C. Seperti dalam beberapa hubungan delta, bahwa arus line adalah 1,73 kali lebih besar dari masing-masing arus I_p (arus primer) dan I_s (arus sekunder) yang mengalir dalam lilitan primer dan sekunder. *Power rating* untuk transformator 3 fasa adalah 3 kali rating transformator tunggal.



Gambar 2.20. Diagram Hubungan *Delta-delta* Transformator 3 Fasa
Dihubungkan Pembangkit listrik dan Beban (Load)

(Sumber: <http://muhamadrizkifauzikadili.blogspot.co.id/2012/06/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

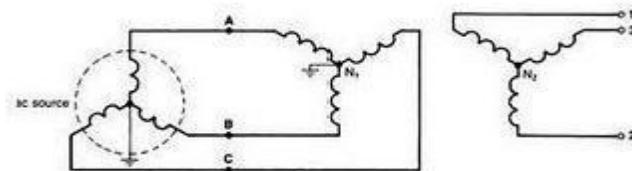
2.4.2 Transformator hubungan bintang-bintang (*wye-wye*)



Gambar 2.21. Hubungan Belitan Bintang-bintang

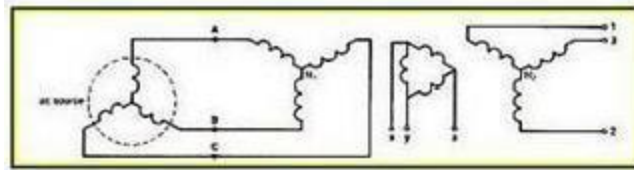
(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

Ketika transformator hubungkan secara bintang-bintang, yang perlu diperhatikan adalah mencegah menyimpangan dari tegangan line ke netral (fase ke netral). Cara untuk mencegah menyimpangan adalah menghubungkan netral untuk primer ke netral sumber yang biasanya dengan cara ditanahkan (ground), seperti ditunjukkan pada Gambar 2.20. Cara lain adalah dengan menyediakan setiap transformator dengan lilitan ke tiga, yang disebut lilitan "tertiary". Lilitan *tertiary* untuk tiga transformator dihubungkan secara delta seperti ditunjukkan pada Gambar 2.21, yang sering menyediakan cabang yang melalui tegangan dimana transformator dipasang. Tidak ada beda fasa antara tegangan *line* transmisi masukan dan keluaran (primer & sekunder) untuk transformator yang dihubungkan bintang-bintang.



Gambar 2.22 Hubungan bintang-bintang

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

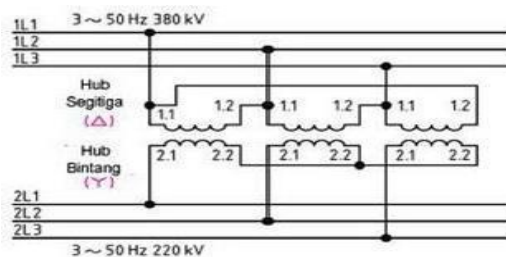


Gambar 2.23. Hubungan Bintang-bintang dengan belitan tertier

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

2.4.3 Transformator hubungan segitiga-bintang (*delta-wye*)

Pada hubungan segitiga-bintang (*delta-wye*), tegangan yang melalui setiap lilitan primer adalah sama dengan tegangan line masukan. Tegangan saluran keluaran adalah sama dengan 1,73 kali tegangan sekunder yang melalui setiap transformator. Arus line pada fasa A , B dan C adalah 1,73 kali arus pada lilitan sekunder. Arus line ada fasa 1, 2 dan 3 adalah sama dengan arus pada lilitan sekunder.



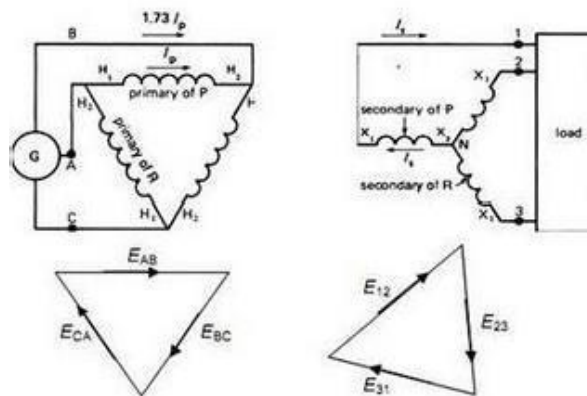
Gambar 2.24. Hubungan Segitiga-Bintang (*Delta-wye*)

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

Hubungan delta-bintang menghasilkan beda fasa 30° antara tegangan saluran masukan dan saluran transmisi keluaran. Maka dari itu, tegangan line keluaran E12 adalah 30° mendahului tegangan line masukan EAB, seperti Dapat dilihat dari diagram phasor. Jika saluran keluaran memasuki kelompok beban terisolasi, beda fasanya tidak masalah. Tetapi jika saluran dihubungkan paralel dengan saluran masukan dengan sumber

lain, beda fasa 30° mungkin akan membuat hubungan paralel tidak memungkinkan, sekalipun jika saluran tegangannya sebaliknya identik.

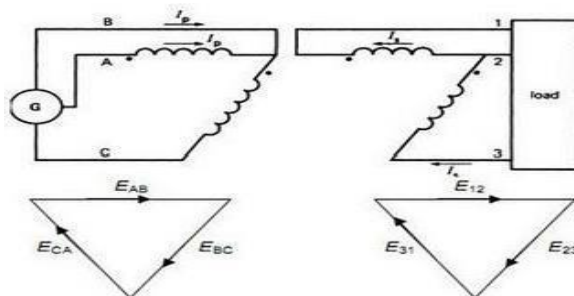
Keuntungan penting dari hubungan bintang adalah bahwa akan menghasilkan banyak isolasi/penyekatan yang dihasilkan di dalam transformator. Lilitan HV (*High Voltage*/tegangan tinggi) telah diisolasi/dipisahkan hanya $1/1,73$ atau 58% dari tegangan saluran.



Gambar 2.25. Skema Diagram Hubungan Delta-Bintang dan Diagram Phasor

(Sumber: <http://anaklistrikindonesia.blogspot.co.id/2011/10/transformator.html>)

kecuali bahwa satu transformer tidak ada. Bagaimanapun, hubungan open-delta jarang digunakan sebab hanya mampu dibebani sebesar 86.6% ($0,577 \times 3 \times \text{rating trafo}$) dari kapasitas transformator yang terpasang.



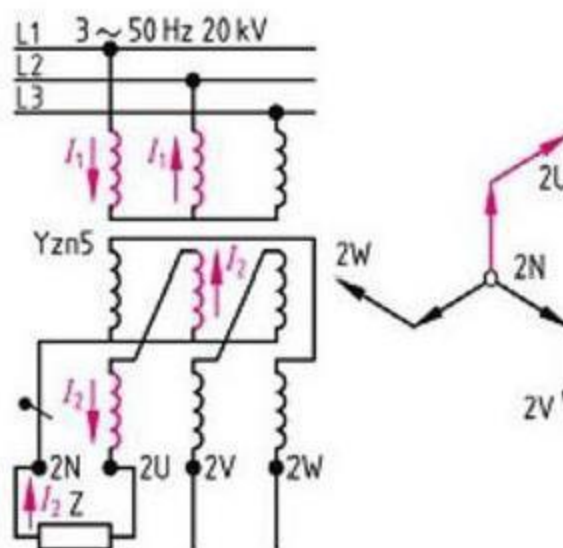
Gambar 2.26. Hubungan Open Delta

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

Sebagai contoh, jika 2 transformator 50 kVA dihubungkan secara *open-delta*, kapasitas transformator bank yang terpasang adalah jelas $2 \times 50 = 100$ kVA. Karena terhubung *open-delta*, maka transformator hanya dapat dibebani 86.6 kVA sebelum transformator mulai menjadi overheat (panas berlebih). Hubungan *open-delta* utamanya digunakan dalam situasi darurat. Maka, jika 3 transformator dihubungkan secara *delta-delta* dan salah satunya rusak dan harus diperbaiki/dipindahkan.

2.4.4 Transformator hubungan Zig-zag

Transformator dengan hubungan Zig-zag memiliki ciri khusus, yaitu belitan primer memiliki tiga belitan, belitan sekunder memiliki enam belitan dan biasa digunakan untuk beban yang tidak seimbang (asimetris) – artinya beban antar fasa tidak sama, ada yang lebih besar atau lebih kecil.



Gambar 2.27. Hubungan Bintang-zigzag (Yzn5)

(Sumber: <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html>)

Gambar 2.27 menunjukkan belitan primer 20 KV terhubung dalam bintang L1, L2 dan L3 tanpa netral N dan belitan sekunder 400 V merupakan hubungan Zig-zag dimana hubungan dari enam belitan sekunder saling menyilang satu dengan lainnya. Saat beban terhubung dengan fasa U dan N arus sekunder I_2 mengalir melalui belitan fasa fasa U dan fasa S.