

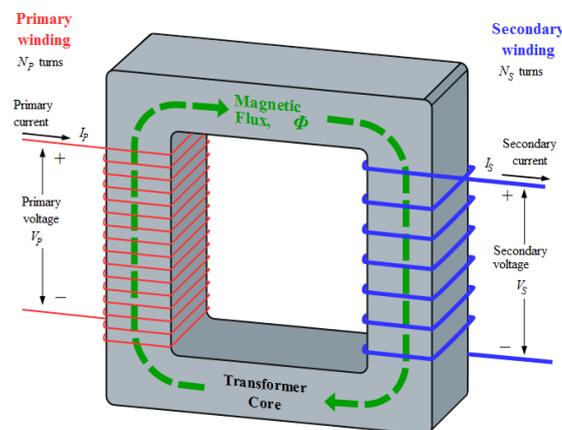
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator terdiri atas dua kumparan yang dililitkan pada inti besi tertutup seperti Gambar 2.1. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Penggunaan dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis, misalnya kebutuhan pada tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Untuk terminal-terminal transformator yang telah digunakan tanda-tanda baku. Terminal lilitan tegangan tinggi diberi tanda H_1 dan H_2 ...; terminal lilitan tegangan rendah diberi tanda X_1 , X_2 dan jumlah lilitan dinyatakan sebagai T_H dan T_X .^[7]



Gambar 2.1 Elektromagnetik pada Transformator^[3]

⁷ Zuhail, 1991. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

³ PT. PLN Persero. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 1



2.1.1 Bagian-Bagian Transformator

a. Bagian utama

1) Inti besi

Berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current.^[2]



Gambar 2.2 Inti besi^[2]

2) Kumparan

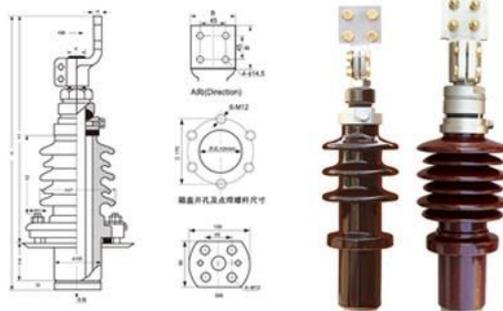
Kumparan Transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.^[2]

² PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN JawaBali, Semarang, 2003. Hal 18.

Gambar 2.3 Kumparan^[2]

3) Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah *bushing* yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.^[2]

Gambar 2.4 Bushing^[2]

4) Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.^[2]

² PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN JawaBali, Semarang, 2003. Hal 18.



5) Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.^[2]

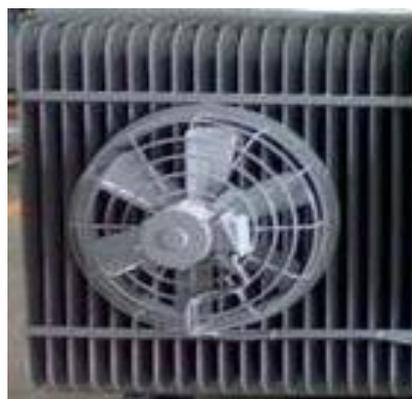


Gambar 2.5 Konservator^[2]

b. Peralatan Bantu

1) Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (di dalam transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/ sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.^[2]



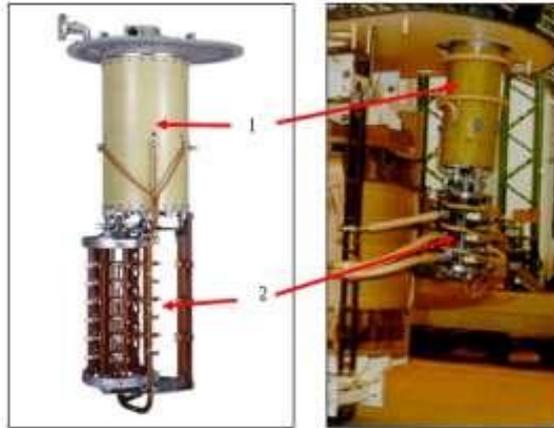
Gambar 2.6 Pendingin Transformator^[2]

² PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN JawaBali, Semarang, 2003. Hal 24



2) Pengubah Tap (*Tap Changer*)

Tap Changer adalah perubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah.^[2]



Gambar 2.7 Tap Changer^[2]

3) *Dehydrating Breather*

Karena adanya pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyak akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan transformator.^[2]

Akibat pernapasan transformator tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernapasan, berupa tabung berisi kristal zat hygroskopis.^[2]

² PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN JawaBali, Semarang, 2003. Hal 30.

Gambar 2.8 Dehydrating Breather^[2]

4) Indikator-Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator sebagai berikut :^[2]

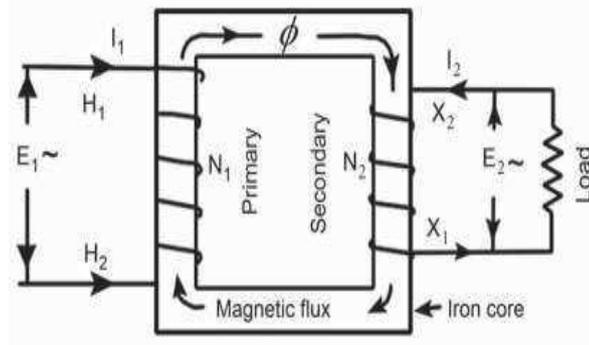
- Indikator suhu dan permukaan minyak
- Indikator sistem pendingin
- Indikator kedudukan tap
- Dsb

2.1.2 Prinsip Kerja Transformator

Transformator menggunakan prinsip hukum induksi *faraday* dan hukum *lorentz* dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial.^[1]

² PT.PLN (Persero) P3B, *Panduan Pemeliharaan Transformator Tenaga Edisi 01*, BOPS PLN JawaBali, Semarang, 2003. Hal 30.

¹ Alsimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.

Gambar 2.9 Prinsip kerja Transformator^[1]

$$E_1 : E_2 = N_1 : N_2$$

$$E_1 \times N_2 = E_2 \times N_1$$

$$E_2 = (N_1 / N_2) \times E_1$$

Keterangan :

E_1 = tegangan primer (volt)

E_2 = tegangan sekunder (volt)

N_1 = belitan primer

N_2 = belitan sekunder

VA primer = VA sekunder

$$I_1 \times E_1 = I_2 \times E_2$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1} \text{ maka } I_1 = I_2 \frac{E_1}{E_2}$$

Keterangan:

I_1 = Arus primer (ampere)

I_2 = Arus sekunder (ampere)

E_1 = Tegangan primer (volt)

¹ Alsimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.



E_2 = Tegangan sekunder (volt)

Rumus umum menjadi :

$$a = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Maka $E_1 = \frac{E_2 \times N_1}{N_2}$

a = rasio transformator

2.1.3 Jenis-Jenis Transformator

Ada beberapa jenis Trafo yang digunakan dalam sistem kelistrikan untuk keperluan yang berbeda-beda. Keperluan-keperluan tersebut diantaranya seperti trafo yang digunakan untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk keperluan distribusi dan transmisi tenaga listrik. Perangkat yang dalam bahasa Inggris disebut dengan *Transformer* ini dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa jenis, diantaranya seperti pengklasifikasian berdasarkan level tegangan, berdasarkan media atau bahan inti (core) trafo yang digunakan, berdasarkan pengaturan lilitan, berdasarkan penggunaannya dan juga berdasarkan tempat penggunaannya.^[8]

1. Jenis-jenis Transformator berdasarkan Level Tegangan

Trafo yang diklasifikasikan berdasarkan level tegangan ini merupakan trafo yang paling umum dan sering kita gunakan. Pengklasifikasian ini pada dasarnya tergantung pada rasio jumlah gulungan di kumparan Primer dengan jumlah kumparan Sekundernya. Jenis Trafo berdasarkan Level tegangan ini diantaranya adalah Trafo *Step Up* dan Trafo *Step Down*.^[8]

⁸ <http://teknikelektronika.com/jenis-jenis-transformator-trafo/> tanggal 02-07-2019 pukul 09.20.



1.1 Trafo *Step Up*

Seperti namanya, Trafo *Step Up* adalah Trafo yang berfungsi untuk menaikkan taraf atau level tegangan AC dari rendah ke taraf yang lebih tinggi. Tegangan Sekunder sebagai tegangan Output yang lebih tinggi dapat ditingkatkan dengan cara memperbanyak jumlah lilitan di kumparan sekundernya daripada jumlah lilitan di kumparan primernya. Pada pembangkit listrik, Trafo jenis ini digunakan sebagai penghubung trafo generator ke grid.^[8]

1.2 Trafo *Step Down*

Trafo *Step Down* adalah Trafo yang digunakan untuk menurunkan taraf level tegangan AC dari taraf yang tinggi ke taraf yang lebih rendah. Pada Trafo *Step Down* ini, Rasio jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah lilitan pada kumparan sekundernya. Di jaringan Distribusi, transformator atau trafo *step down* ini biasanya digunakan untuk mengubah tegangan grid yang tinggi menjadi tegangan rendah yang bisa digunakan untuk peralatan rumah tangga.^[8]



Gambar 2.10 Trafo *Step Up* dan Trafo *Step Down*^[8]

⁸ <http://teknikelektronika.com/jenis-jenis-transformator-trafo/> tanggal 02-07-2019 pukul 09.20.



2. Jenis-jenis Transformator berdasarkan bahan inti (core) yang digunakan

Berdasarkan media atau bahan Inti yang digunakan untuk lilitan primer dan lilitan sekunder, Trafo dapat dibedakan menjadi 2 jenis yaitu Trafo berinti Udara (Air Core) dan Trafo berinti Besi (Iron Core).^[8]

2.1 Trafo Berinti Udara (*Air Core Transformer*)

Pada Trafo yang berinti Udara, Gulungan Primer dan Gulungan Sekunder dililitkan pada inti berbahan non-magnetik yang biasanya berbentuk tabung yang berongga. Bahan non-magnetik yang dimaksud tersebut dapat berupa bahan kertas ataupun karton. Ini artinya, hubungan hubungan fluks antara gulungan primer dan gulungan sekunder adalah melalui udara. Tingkat kopling atau induktansi mutual diantara lilitan-lilitan tersebut lebih kecil dibandingkan dengan Trafo yang berinti besi. Kerugian Histerisis dan kerugian arus eddy yang biasanya terjadi pada trafo inti besi dapat dikurangi atau bahkan dapat dihilangkan pada trafo yang yang berinti udara ini. Trafo inti udara ini biasanya digunakan pada rangkaian frekuensi tinggi.^[8]

2.2 Trafo Berinti Besi (*Iron Core Transformer*)

Pada Trafo berinti Besi, gulungan primer dan gulungan sekunder dililitkan pada inti lempengan-lempengan besi tipis yang dilaminasi. Trafo inti besi memiliki efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan trafo yang berinti udara. Hal ini dikarenakan bahan besi mengandung sifat magnetik dan juga konduktif sehingga mempermudah jalannya fluks magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik kumparan serta untuk mengurangi suhu panas yang ditimbulkan. Trafo yang berinti besi biasanya digunakan pada aplikasi frekuensi rendah.^[8]

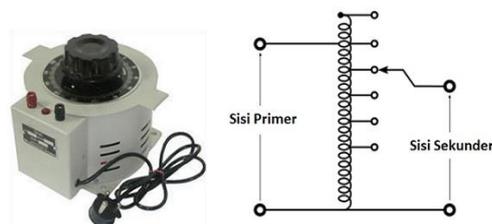
⁸ <http://teknikelektronika.com/jenis-jenis-transformator-trafo/> tanggal 02-07-2019 pukul 09.20.



3. Jenis-jenis Transformator berdasarkan Pengaturan Lilitannya

3.1 Trafo Otomatis (*Auto Transformer*)

Auto Transformer atau Trafo Otomatis adalah Trafo listrik yang hanya memiliki satu kumparan dimana kumparan primer dan kumparan sekundernya digabung dalam 1 rangkaian yang terhubung secara fisik dan magnetis. Pengaturan lilitan ini sangat berbeda dengan Trafo standar pada umumnya yang terdiri dari dua kumparan atau gulungan yang ditempatkan pada dua sisi berbeda yaitu kumparan Primer dan kumparan sekunder. Trafo Otomatis ini sering digunakan sebagai trafo *step up* dan *step down* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan maupun menurun tegangan pada kisaran 100V-110V-120V dan kisaran 220V-230V-240V bahkan pada kisaran 110V hingga 220V.^[8]



Gambar 2.11 Auto Transformer^[8]

4. Jenis-jenis Transformator berdasarkan Penggunaannya, Trafo dapat digunakan untuk melakukan berbagai fungsi sesuai dengan kebutuhannya. Trafo jenis ini dapat diklasifikasikan menjadi Trafo daya, trafo distribusi, trafo pengukuran dan trafo proteksi.^[8]

⁸ <http://teknikelektronika.com/jenis-jenis-transformator-trafo/> tanggal 02-07-2019 pukul 09.20.



4.1 Trafo Daya (*Power Transformer*)

Transformator Daya adalah jenis trafo yang berukuran besar dan digunakan untuk aplikasi transfer daya tinggi yang mencapai hingga 33 Kilo Volt. Trafo daya ini sering digunakan di stasiun pembangkit listrik dan gardu transmisi. Trafo Daya biasanya memiliki tingkat insulasi yang tinggi.^[8]



Gambar 2.12 Trafo Daya (Power Transformer)^[8]

5. Trafo Distribusi (*Distribution Transformer*)

Trafo Distribusi atau Distribution Transformer digunakan untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik ke daerah perumahan ataupun lokasi industri. Pada dasarnya, Trafo Distribusi ini mendistribusikan energi listrik pada tegangan rendah yang kurang dari 33 kilo Volt untuk keperluan rumah tangga ataupun industri yang berada dalam kisaran tegangan 220V hingga 440V.^[8]

⁸ <http://teknikelektronika.com/jenis-jenis-transformator-trafo/> tanggal 02-07-2019 pukul 09.20.



Gambar 2.13 Trafo Distribusi (*Distribution Transformer*)^[8]

6. Trafo Pengukuran (*Measurement Transformer*)

Trafo Pengukuran atau dalam bahasa Inggris disebut dengan *Measurement Transformer* atau *Instrument Transformer* ini digunakan untuk mengukur kuantitas tegangan, arus listrik dan daya yang biasanya diklasifikasikan menjadi trafo tegangan dan trafo arus listrik dan lain-lainnya.^[8]



Gambar 2.14 Trafo Pengukuran (*Measurement Transformer*)^[8]

⁸ <http://teknikelektronika.com/jenis-jenis-transformator-trafo/> tanggal 02-07-2019 pukul 09.20.



7. Trafo Proteksi (*Protection Transformer*)

Trafo Proteksi ini digunakan untuk melindungi komponen listrik. Perbedaan utama antara trafo proteksi dan trafo pengukuran adalah pada akurasi. Dimana trafo proteksi harus lebih akurat jika dibandingkan dengan trafo pengukuran.^[8]



Gambar 2.15 Trafo Proteksi (*Protection Transformer*)^[8]

2.2 Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa mempunyai inti dengan tiga kaki dan setiap kaki mendukung belitan primer dan sekunder. Untuk penyaluran daya yang sama, penggunaan satu unit transformator tiga fasa akan lebih ringan, lebih murah dan lebih efisien dibandingkan dengan tiga unit transformator satu fasa. Namun penggunaan tiga unit transformator satu fasa juga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan satu unit transformator tiga fasa. Misalnya biaya awal yang lebih rendah, jika untuk sementara beban dapat dilayani dengan dua unit saja dan unit ketiga ditambahkan jika penambahan beban telah terjadi. Terjadinya kerusakan pada salah satu unit tidak mengharuskan pemutusan seluruh penyaluran daya.

Pemilihan cara mana yang lebih baik, tergantung dari berbagai pertimbangan keadaan-khusus. Pada dasarnya kedua cara adalah sama. Berikut ini kita akan melihat hubungan primer-sekunder transformator, dengan melihat pelayanan sistem tiga fasa melalui tiga unit transformator satu fasa.^[6]

⁸ <http://teknikelektronika.com/jenis-jenis-transformator-trafo/> tanggal 02-07-2019 pukul 09.20.

⁶ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 16.

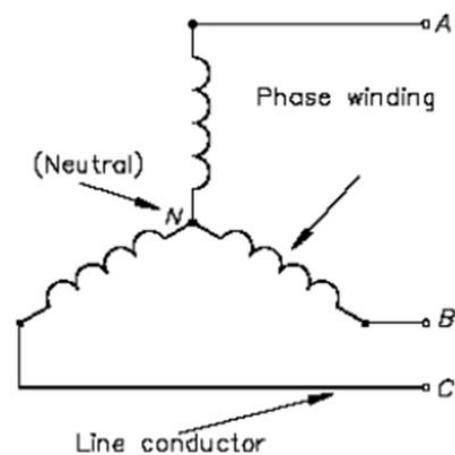


2.2.1 Teori Dasar Hubungan Transformator

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).

1) Hubungan Bintang

Pada hubungan bintang (Y, wye), ujung-ujung tiap fase dihubungkan menjadi satu dan menjadi titik netral atau titik bintang. Tegangan antara dua terminal dari tiga terminal a – b – c mempunyai besar magnitude dan beda fasa yang berbeda dengan tegangan tiap terminal terhadap titik netral. Tegangan V_a , V_b dan V_c disebut tegangan “fase” atau V_f .



Gambar 2.16 Hubungan Bintang

Dengan adanya saluran / titik netral maka besaran tegangan fase dihitung terhadap saluran / titik netralnya, juga membentuk sistem tegangan 3 fase yang seimbang dengan magnitudenya (akar 3 dikali magnitude dari tegangan fase).



$$V_{line} = \text{akar } 3 \cdot V_{fase} = 1,73V_{fase}$$

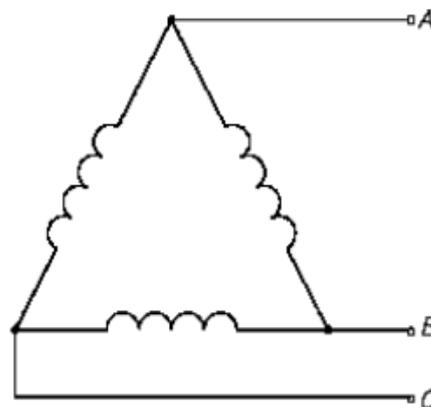
Sedangkan untuk arus yang mengalir pada semua fase mempunyai nilai yang sama :

$$I_{line} = I_{fase}$$

$$I_a = I_b = I_c$$

2) Hubungan Segitiga

Pada hubungan segitiga (delta, Δ , D) ketiga fase saling dihubungkan sehingga membentuk hubungan segitiga 3 fase.



Gambar 2.17 Hubungan Segitiga

Dengan tidak adanya titik netral, maka besarnya tegangan saluran dihitung antar fase, karena tegangan saluran dan tegangan fasa mempunyai besar magnitude yang sama, maka:

$$V_{line} = V_{fase}$$

Tetapi arus saluran dan arus fasa tidak sama dan hubungan antara kedua arus tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kirchoff, sehingga:

$$I_{line} = \text{akar } 3 I_{fase} = 1,73 I_{fase}$$

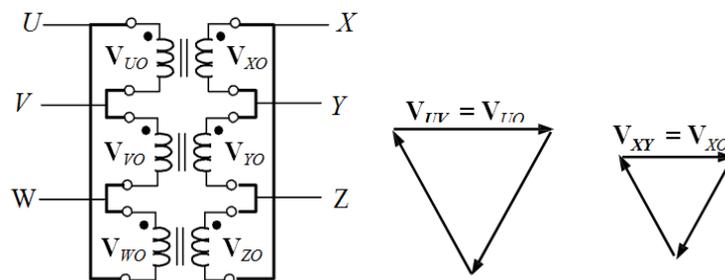


2.2.2 Hubungan Delta-Delta

Hubungan $\Delta - \Delta$. Pada waktu menghubungkan tiga transformator satu fasa untuk melayani sistem tiga fasa, hubungan sekunder harus diperhatikan agar sistem tetap seimbang. Fasa primer disebut dengan fasa U-V-W sedangkan fasa sekunder disebut fasa X-Y-Z. Fasor tegangan fasa primer kita sebut V_{UO}, V_{VO}, V_{WO} dengan nilai V_{FP} , dan tegangan fasa sekunder kita sebut V_{XO}, V_{YO}, V_{ZO} dengan nilai V_{FS} . Nilai tegangan saluran (tegangan fasa-fasa) primer dan sekunder kita sebut V_{LP} dan V_{LS} .

Nilai arus saluran primer dan sekunder masing-masing kita sebut I_{LP} dan I_{LS} sedang nilai arus fasanya I_{FP} dan I_{FS} . Rasio tegangan fasa primer terhadap sekunder $V_{FP}/V_{FS} = a$. Dengan mengabaikan rugi-rugi hubungan $\Delta - \Delta$ kita peroleh:^[6]

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{V_{FS}} = a; \quad \frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}\sqrt{3}}{I_{FS}\sqrt{3}} = \frac{1}{a}$$



Gambar 2.18 Hubungan $\Delta - \Delta$ ^[6]

2.2.3 Hubungan Delta-Y

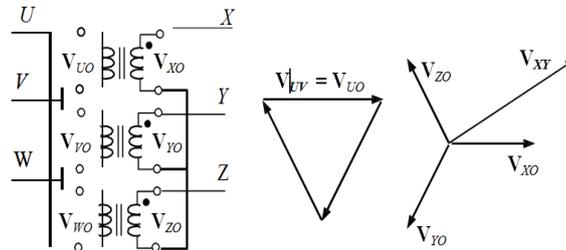
Tegangan fasa-fasa primer sama dengan tegangan fasa primer, sedangkan tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan tegangan fasa sekunder dengan perbedaan sudut fasa 30° . Dengan mengabaikan rugi-rugi kita peroleh:^[6]

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{V_{FS}\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}\sqrt{3}}{I_{FS}} = \frac{\sqrt{3}}{a}$$

⁶ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 16.



Fasor tegangan fasa-fasa sekunder mendahului 30° .



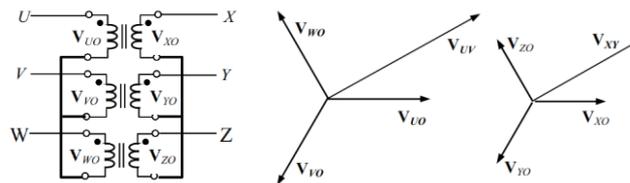
Gambar 2.19 Hubungan Delta-Y^[6]

2.2.4 Hubungan Y-Y

Hubungan Y - Y. Tegangan fasa-fasa pimer sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa primer dengan perbedaan sudut fasa 30° , tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa sekunder dengan perbedaan sudut fasa 30° . Perbandingan tegangan fasa-fasa primer dan sekunder adalah.^[6]

$$\frac{VLP}{VLS} = \frac{VFP\sqrt{3}}{VFS\sqrt{3}} = a ; \frac{ILP}{ILS} = \frac{IFP}{IFS} = \frac{1}{a}$$

Antara fasor tegangan fasa-fasa primer dan sekunder tidak terdapat perbedaan sudut fasa.



Gambar 2.20 Hubungan Y-Y^[6]

2.2.5 Hubungan Y-Delta

Hubungan Y - Δ . Tegangan fasa-fasa pimer sama dengan $\sqrt{3}$ tegangan fasa primer dengan perbedaan sudut fasa 30° , sedangkan tegangan fasa-fasa

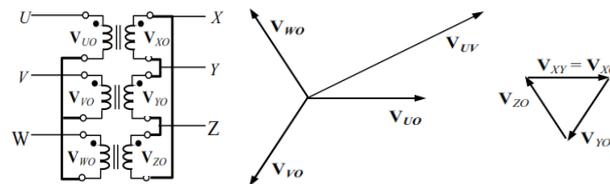
⁶ Dr. Sudaryatno Sudirham, *Transformator*, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2011. Hal. 17.



sekunder sama dengan tegangan fasa sekunder. Dengan mengabaikan rugi-rugi diperoleh:^[6]

$$\frac{VLP}{VLS} = \frac{VFP\sqrt{3}}{VFS} = a\sqrt{3}; \quad \frac{ILP}{ILS} = \frac{IFP}{IFS\sqrt{3}} = \frac{1}{a\sqrt{3}}$$

Fasor tegangan fasa-fasa primer mendahului sekunder 30°



Gambar 2.21 Hubungan Y-Delta^[6]

2.3 Pengubah Tap Berbeban (*On Load Tap Changer*)

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Bila tegangan disisi Primer berubah, sedangkan tegangan disisi sekunder diinginkan tetap, maka untuk mendapatkan tegangan di sisi sekunder yang konstan harus dilakukan menambah atau mengurangi jumlah belitan disisi Primer. Penyesuaian rasio belitan ini disebut Tap changer.

Prinsip kerjanya adalah dengan konsep perpindahan pada bagian selektor pada tahap ini tidak ada arus beban, setelah langkah perpindahan diselektor selesai dilanjutkan dengan perpindahan disisi diverter dengan kontak transisi dengan resistor, pada perubahan ini tidak terjadi pemutusan arus beban. Proses perubahan rasio belitan ini dapat dilakukan pada saat transformator sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*Off load tap changer*). *Tap changer* terdiri dari peralatan utama yaitu;^[3]

³ PT. PLN Persero. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*, (Jakarta Selatan: PT. PLN, 2014). Hal. 11



- *Selector Tap* (Pemilih Tap)
- *Diverter Switch* (Saklar Pengalih)
- Transisi Resistor



Gambar 2.22 *On Load Tap Changer*^[5]

Selector switch merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal-terminal untuk menentukan posisi tap atau rasio belitan primer. *Diverter switch* merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.

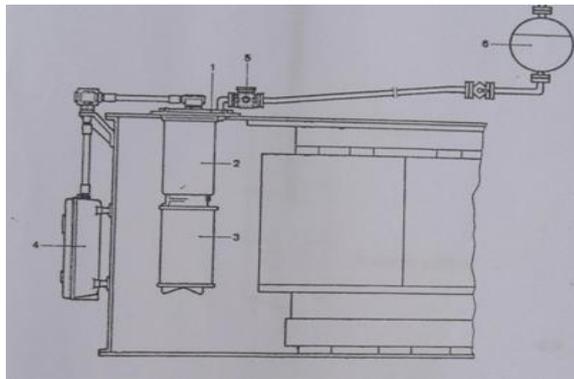
2.3.1 Bagian-Bagian *On Load Tap Changer*

On load Tap Changer merupakan peralatan kombinasi dari berbagai sistem peralatan mekanik dan elektrik. Dalam menjalankan kerjanya masing-masing sistem ini saling bekerjasama untuk melaksanakan fungsinya.

On load Tap Changer ditempatkan didalam tabung atau compartment dan direndam minyak, ditempatkan terpisah dari tangka utama (main-tank) transformator karena dalam pengoperasian *On load Tap Changer* sering terjadi switching ketika kontak-kontak didalam *On load Tap Changer* bergerak sehingga kualitas minyak cepat menurun terutama warnanya cepat kotor berwarna hitam (*carbon dioxid*), oleh karena itu minyak tap changer ditempatkan terpisah dari minyak trafo di tangki utama.



Penempatan *On load Tap Changer* dirancang sedekat mungkin dengan belitan atau kumparan transformator untuk memperpendek pemakaian konduktor yang dipakai untuk menghubungkan *On Load Tap Changer* dengan belitan.^[4]



Gambar 2.23 Bagian-Bagian *On Load Tap Changer*^[9]

1. *Head and Cover*

Bagian ini merupakan tutup pelindung atas dari *tap changer*. Di sini terdapat beberapa saluran yang terhubung ke bagian luar antara lain :^[4]

- 1) *Tap changer cover*, yaitu bagian ini merupakan penutup dan pelindung tangki *conservator* dari bagian luar.
- 2) *Flanes*, yaitu saluran yang terhubung ke tangki minyak luar. Saluran ini digunakan untuk mengalirkan minyak dari tangki *conservator* ke *oil compartment*.
- 3) *Upper gear unit, vertical drive shaft, horizontal drive shaft, bevel gear* bagian ini merupakan penghubung bantu dari motor 3 fasa (sebagai penggerak) ke bagian *diverter switch* dan *tap selector* dari *tap changer*.

⁴ Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Tap Changer dan Bagian-bagiannya*. PT PLN (Persero).

⁹ <http://tragicenter.blogspot.co.id/2013/08/tap-changer-trafo-daya.html/> tanggal 4 Juli 2019 pukul 10.45.



2. Tap Changer Oil Compartment

Tap changer oil compartment merupakan tangki yang berisi *diverter switch* dan transisi *resistor*. *Compartment* ini terisi oleh minyak isolasi sebagai *isolator* dan bahan pendingin. *Diverter switch* adalah rangkaian mekanik yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan tinggi. Sedangkan tahanan transisi merupakan dua buah tahanan yang akan dilewati arus primer bersifat sementara pada saat perubahan *tap*.^[4]

3. Tap Selector

Tap selector yaitu bagian *tap changer* yang berfungsi untuk mengatur nilai dan posisi *tap* belitan. Dalam hal ini, posisi *tap* akan mempengaruhi banyak sedikitnya jumlah belitan yang dipakai, sehingga secara langsung akan mengatur nilai tegangan yang dihasilkan.^[4]

4. Panel Control dan Motor Drive Unit

Panel control dan *motor drive unit* yaitu sebuah tempat yang berisikan peralatan untuk mengoperasikan *tap changer*. Adapun bagian-bagian dari *panel control* dan *motor drive* ini adalah :^[4]

a) Motor AC tiga fasa yang berfungsi sebagai penggerak mekanik untuk mengganti nilai *tap* yang digunakan. Pemanfaatan arah putaran motor yang ada digunakan untuk menambah atau mengurangi nilai *tap* yang digunakan.

Prinsip kerja arah putaran motor yang diterapkan hanya dengan mengubah atau membalik fasenya saja. Sehingga arah putaran motor yang diharapkan akan mampu mengubah nilai *tap*-nya.

b) Kontaktor, ada tiga buah kontaktor motor yang digunakan pada *panel control* ini. Masing-masing kontaktor ini mempunyai fungsi yang berbeda antara lain : kontaktor utama, berfungsi

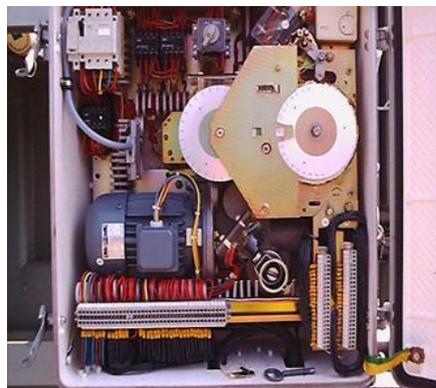
⁴ Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Tap Changer dan Bagian-bagiannya*. PT PLN (Persero).

⁴ Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Tap Changer dan Bagian-bagiannya*. PT PLN (Persero).



sebagai *supply* tegangan ke motor tiga fasa. Tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 380 V. Kontaktor kedua dan ketiga berfungsi sebagai pembalik fasa motor sehingga motor dapat bekerja dengan dua arah putaran (ke kiri atau ke kanan).

- c) MCB (*Miniatur Circuit Breaker*), berfungsi untuk pengaman perangkat *control tap changer*.
- d) *Display mechanic counter* dan *tap position*, berfungsi sebagai penampil untuk menunjukkan berapa kali *tap changer* sudah bekerja dan posisi atau kedudukan *tap*-nya.
- e) *Selector switch* pada bagian ini ada dua pilihan pengontrolan, yaitu pengontrolan *remote* dan *local*. Pengontrolan *remote* adalah pengontrolan *tap changer* yang dilakukan dari panel kontrol di gardu induk. Sedangkan pengontrolan *local* adalah pengontrolan yang dilakukan secara manual di trafo atau langsung pada panel kontrol di lapangan.
- f) Engkol manual, berfungsi untuk memindahkan *tap* secara manual. Cara yang dilakukan adalah dengan memutar secara manual engkol ini. Arah putaran dapat berupa menaikkan atau menurunkan posisi *tap*. Jika arah putaran searah jarum jam, maka nilai *tap*-nya akan naik, dan juga sebaliknya. Biasanya untuk pindah dari satu *tap* ke *tap* lainnya memerlukan 20-30 putaran.



Gambar 2.24 Motor Drive Unit^[9]

⁹ <http://tragiccenter.blogspot.co.id/2013/08/tap-changer-trafo-daya.html/> tanggal 4 Juli 2019 pukul 10.45.



5. Tap Changer Protective Relay

Tap Changer Protective Relay ini dikenal dengan nama *relay Jansen*. *Relai Jansen* adalah *relay* yang berfungsi untuk mengamankan transformator dari gangguan di dalam *tap changer* yang menimbulkan tekanan. *Tap changer* umumnya dipasang pada ruang terpisah dengan ruang untuk tempat kumparan, dimaksudkan agar minyak *tap changer* tidak bercampur dengan minyak tangki utama. Relay Jansen dipasang antara tangki *tap changer* dengan konservator minyak *tap changer*. Prinsip kerjanya memanfaatkan tekanan minyak yang terbentuk sebagai adanya ketidaknormalan atau gangguan pada peralatan OLTC.^[4]

6. Tap Changer Oil Conservator

Tangki ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan suplai minyak untuk *tap changer*. Biasanya tangki ini juga digabung dengan tangki transformator. Agar kedua minyaknya tidak tercampur, maka didalam tangki ini terdapat sekat pemisah. Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada *tap changer*, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah.^[4]

2.3.2 Prinsip Perpindahan Tap

Untuk mendapatkan tegangan operasi disisi sekunder sesuai dengan yang diinginkan, kualitas (besarnya) tegangan pelayanan disisi sekunder dapat berubah karena tegangan jaringan/sistem yang berubah akibat dari pembebanan ataupun kondisi sistem perubahan ratio yang diatur oleh *tap changer* adalah perubahan dengan range kecil antara +10 %, - 15 % dari tegangan dasar trafo tersebut. Pada umumnya *Tap Changer* dihubungkan dengan kumparan sisi primer dengan pertimbangan :

1. Lebih mudah cara penyambungan karena kumparan primer terletak pada belitan paling luar.

⁴ Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Tap Changer dan Bagian-bagiannya*. PT PLN (Persero).

⁴ Pusat Pendidikan dan Pelatihan. *Tap Changer dan Bagian-bagiannya*. PT PLN (Persero).



2. Arus di sisi primer lebih kecil daripada sisi sekunder, tujuannya untuk memperkecil resiko bila terjadi los kontak dan dengan arus yang lebih kecil dapat dipergunakan ukuran/jenis konduktor yang kecil pula.

Prinsip kerja *On load Tap Changer* dimulai dari bekerjanya tap selector dengan melakukan pemilihan terhadap tap winding transformer yang diinginkan. Arus listrik ditransfer oleh diverter switch dari tap yang bekerja ke tap selector menuju ke sistem rangkaian pentanahan. Tap selector dan diverter switch digerakkan oleh Motor Drive Unit (MDU).^[9]

Selama perpindahan tap walaupun berlangsung begitu cepat (40 ms – 60 ms) sangat dimungkinkan terjadi pemutusan arus listrik. Untuk menghindari terputusnya arus listrik maka pada rangkaian diverter switch dipasang tahanan ohm (*Ohmic resistor*).^[9]

2.3.3 Jenis-Jenis Tap Changer

Dari awal perkembangan *Tap Changer* hingga sekarang. Terdapat jenis-jenis konstruksi *On Load Tap Changer* yang telah digunakan secara umum saat ini, berikut jenis-jenis konstruksi *On Load Tap Changer* yang diproduksi oleh Maschinen-Fabrik Reinhausen :^[5]

a. *On Load Tap Changer* Jenis Resistor



Gambar 2.25 *On load Tap Changer* jenis Resistor^[5]

⁹ <http://tragicenter.blogspot.co.id/2013/08/tap-changer-trafo-daya.html/> tanggal 4 Juli 2019 pukul 10.45.

⁹ <http://tragicenter.blogspot.co.id/2013/08/tap-changer-trafo-daya.html/> tanggal 4 Juli 2018 pukul 10.45.

⁵ Uwe Seltsam, *Design, Function & Operation of On Load Tap Changers*. Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 5-6.

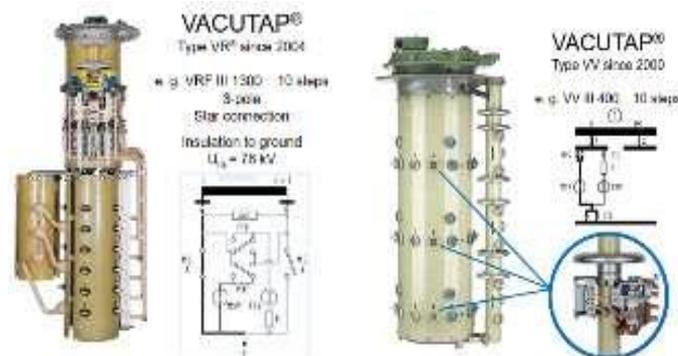


b. *On Load Tap Changer* Jenis Reaktor



Gambar 2.26 *On load Tap Changer* jenis Reaktor^[5]

c. *On Load Tap Changer* Jenis Vakum



Gambar 2.27 *On load Tap Changer* jenis Vakum^[5]

2.3.4 Pemeliharaan *Tap Changer*

Transformator daya yang dilengkapi dengan *On Load Tap Changer* adalah komponen utama dari jaringan listrik. Keandalan operasional transformator dan *On load Tap Changer* nya itu sangat penting dan harus dijaga pada tingkat tinggi sepanjang jangka pemakaian mereka. Prinsip dari pemeliharaan preventive dan pemeliharaan periodik untuk *On load Tap Changer* didasarkan pada waktu operasi, tujuan pemeliharaan ini untuk mempertahankan kualitas kinerja dari OLTC itu sendiri dan untuk memperpanjang usia penggunaannya. Berikut macam-macam langkah pemeliharaan pada *On Load Tap Changer*:^[5]

⁵ Uwe Seltsam, *Design, Function & Operation of On Load Tap Changers*. Maschinen-Fabrik Reinhausen GmbH, Regensburg-Germany, 2013. Hal 5-6.



1. Pemeliharaan Preventive (Pencegahan)
 - Pemeriksaan Visual
 - Pemeriksaan Kinerja
 - Pembersihan Komponen Luar
 - Pemeriksaan Keadaan Minyak
 - Pemeriksaan Relay Proteksi pada *Tap Changer*
2. Pemeliharaan Periodik
 - Penggantian Minyak OLTC
 - Pengujian Relay Proteksi
 - Pemeriksaan Penggerak Mekanis
3. Pemeliharaan Korektif
 - Penggantian kontak, pegas dan resistor/reaktor jika ada kerusakan
 - Penggantian Relay Proteksi