



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 gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi electromagnet¹. Dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder².

Pada dasarnya transformator tiga fasa ini terdiri dari tiga buah transformator satu fasa dengan tiga buah teras besi yang dipasang pada satu kerangka, dari tiga teras besi ini ditempatkan masing-masing sepasang kumparan yakni kumparan primer dan kumparan sekunder. Dengan demikian seluruhnya akan terdapat tiga buah kumparan primer dan tiga buah kumparan sekunder. Dari ketiga kumparan primer maupun ketiga kumparan sekunder dapat dihubungkan secara hubungan bintang (star connection) Y dan dihubungkan segitiga (delta connection) Δ ³.

Umumnya transformator terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar “kaki” inti transformator. Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe inti dan tipe cangkang. Pada tipe inti terdapat dua kaki dan masing-masing kaki dibelit oleh satu kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki dan hanya kaki yang tengahaengah dibelit oleh kedua

¹ Aszet Idulfitri Darmanto Kadir, ‘Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Daya Tiga Fasa Di Pt. Pln (Persero) Rayon Daya’, 1424041014, 2019.

² dan Ir. Muhammad Suyanto M.T. Egi Suyandi, Safriyudin S.T.,M.T, ‘Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Area Rayon Yogyakarta Kota Di PT . PLN (PERSERO) APJ Gedong Kuning Yogyakarta’, 4.2 (2017), 1–10.

³ Aszet Idulfitri Darmanto Kadir, ‘Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Daya Tiga Fasa Di Pt. Pln (Persero) Rayon Daya’.



kumparan. Penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Saluran-saluran transmisi tenaga listrik ini mempergunakan tegangan yang tinggi, tegangan transmisi yang tertinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV yaitu sama dengan 500.000 Volt. Hal ini dilakukan untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi dan untuk menaikkan tegangan listrik dari pusat listrik yang tegangan generatornya berkisar antara 6 sampai 20 kV pada awal saluran transmisi dan kemudian menurunkannya lagi untuk di salurkan ke distribusi⁴.

2.2 Jenis-Jenis Trafo

Berdasarkan fungsinya trafo tenaga dapat dibedakan menjadi⁵:

1. Trafo Pembangkit

Trafo pembangkit adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator dan bagianbagian mana yang perlu diawasi melebihi bagian yang lainnya.

⁴ AFIFAH ANNISA NURUL HUDA, 'PROYEK AKHIR PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PADA GARDU CGBB DI PT. PLN (PERSERO) AREA BEKASI KOTA', 2020.

⁵ 'Power Tranformator (Tranformator Daya)'.

2. Trafo Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

3. Trafo Distribusi

Trafo Distribusi adalah merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Kerusakan pada Trafo Distribusi menyebabkan kontinuitas pelayanan terhadap konsumen akan terganggu (terjadi pemutusan aliran listrik atau pemadaman). Pemadaman merupakan suatu kerugian yang menyebabkan biaya-biaya pembangkitan akan meningkat tergantung harga KWH yang tidak terjual. Pemilihan rating Trafo Distribusi yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban akan menyebabkan efisiensi menjadi kecil, begitu juga penempatan lokasi Trafo Distribusi yang tidak cocok mempengaruhi drop tegangan ujung pada konsumen atau jatuhnya/turunnya tegangan ujung saluran/konsumen.

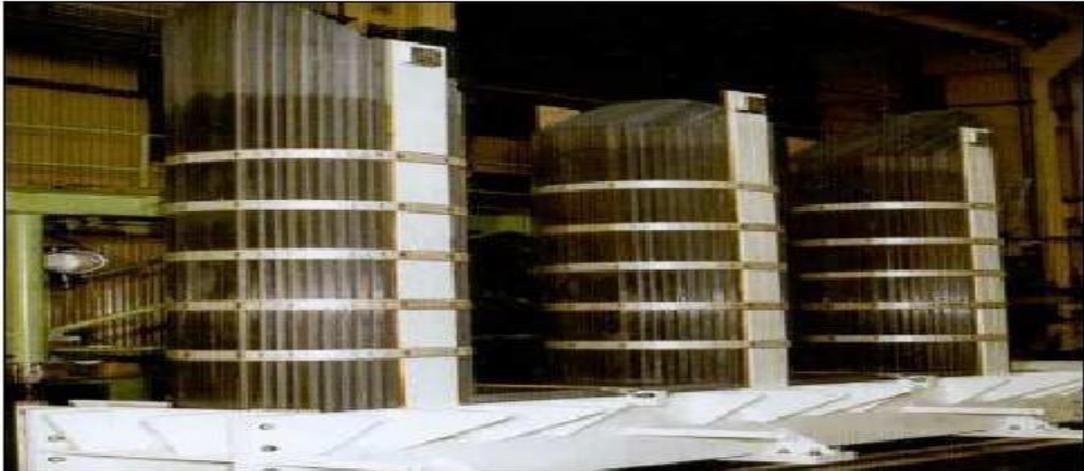
2.3 Bagian-Bagian Transformator

Bagian-bagian dari transformator⁶:

2.3.1 Electromagnetic Circuit (Inti Besi)

Inti besi tersebut berfungsi untuk membangkitkan fluksi yang timbul karena arus listrik dalam belitan atau kumparan trafo, sedang bahan ini terbuat dari lempengan-lempengan baja tipis, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi panas yang diakibatkan oleh arus eddy (eddy current).

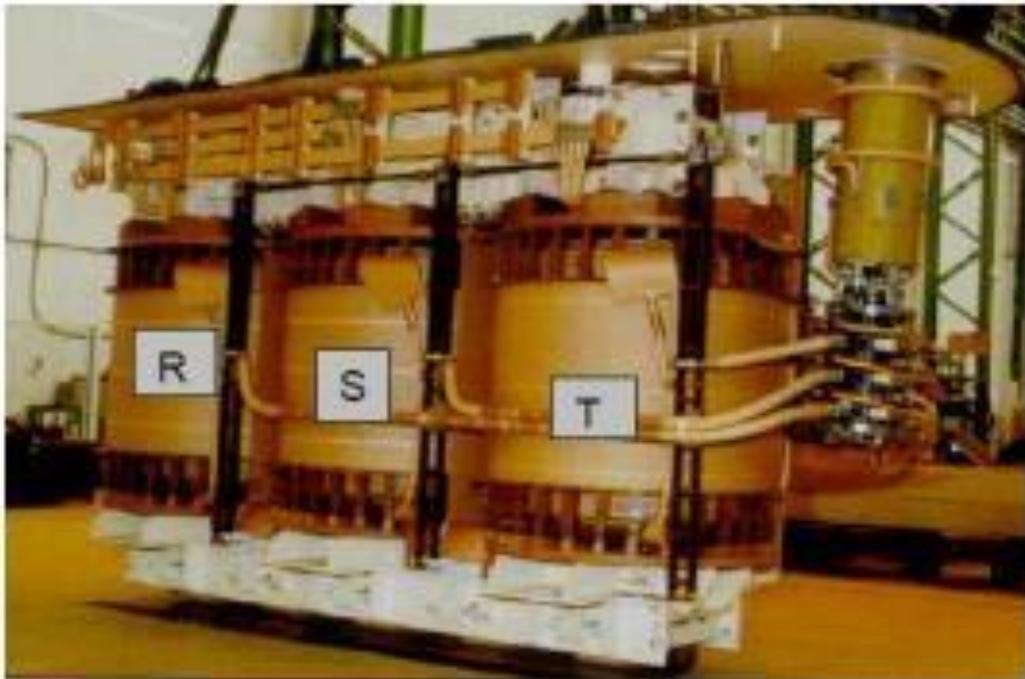
⁶ Faradella Maulidya, 'BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR TEGANGAN'.



Gambar 2.1 Inti Besi

2.3.2 Current Carrying Circuit (Winding)

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.



Gambar 2.2 Belitan Trafo

2.3.3 Bushing

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body mantank transformator.



Gambar 2.3 Bushing

a. Isolasi

Isolasi bushing terbagi menjadi dua:

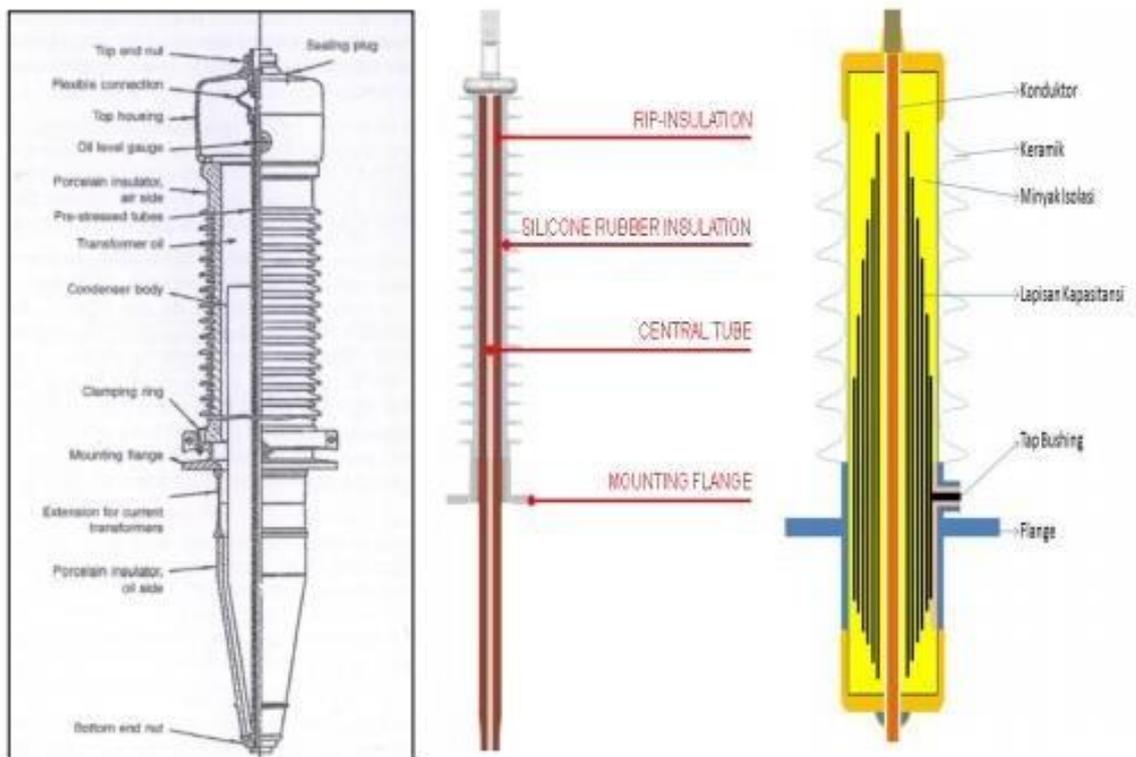
1. Bushing condenser

Bushing kondenser umumnya dipakai pada tegangan rating bushing 72,5 kV ke atas. Bushing kondenser terdapat tiga jenis media isolasi (IEC 60137 tahun 2008) yaitu:

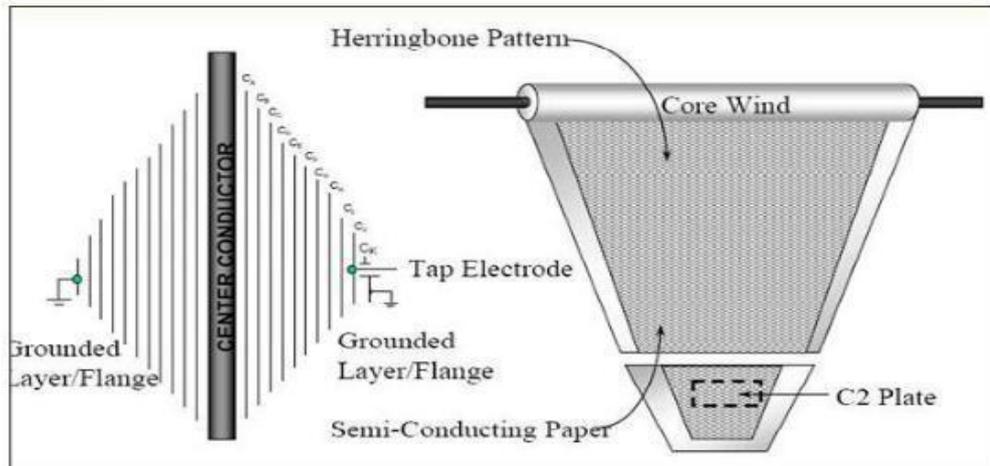
- Resin Bonded Paper (RBP)
Bushing tipe RBP adalah teknologi bushing kondenser yang pertama dan sudah mulai ditinggalkan.
- Oil Impregnated Paper (OIP)
Pada tipe OIP isolasi yang digunakan adalah kertas dan minyak yang merendam kertas isolasi.
- Resin Impregnated Paper (RIP)

Pada tipe RIP isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

Di dalam bushing kondenser terdapat banyak lapisan kapasitansi yang disusun secara seri sebagai pembagi tegangan. Pada bushing terdapat dua kapasitansi utama yang biasa disebut C1 dan C2. C1 adalah kapasitansi antara konduktor dengan tap bushing, dan C2 adalah kapasitansi dari tap bushing ke ground (flange bushing). Dalam kondisi operasi tap bushing dihubungkan ke ground, sehingga C2 tidak ada nilainya ketika bushing operasi.



Gambar 2.4 Bagian-Bagian Dari Bushing



Gambar 2.5 kertas isolasi pada bushing (oil impregnated paper bushing)

2. Bushing non-kondenser.

Bushing non kondenser umumnya digunakan pada tegangan rating 72,5 kV ke bawah. Media isolasi utama bushing non-kondenser adalah isolasi padat seperti porcelain atau keramik.

2.3.4 Dielectric (Minyak Isolasi Trafo dan Isolasi kertas)

• Minyak Isolasi trafo

Minyak transformator merupakan suatu cairan yang digunakan sebagai bahan isolasi dan sebagai pendingin pada transformator. Sebagai bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus. Sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan. Adanya minyak transformator ini diharapkan mampu melindungi transformator dari gangguan. Transformator memiliki 2 bagian yang aktif membangkitkan panas yaitu belitan dan inti. Panas pada belitan transformator dipengaruhi oleh pembebanannya. Peningkatan pembebanan transformator akan meningkatkan suhu minyak pendingin, sehingga pembebanan yang melebihi kapasitasnya akan menimbulkan resiko yaitu merusak isolasi belitan. Minyak isolasi pada trafo berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu

parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda⁷. Bahan isolasi pada peralatan tegangan tinggi terdiri dari bahan isolasi padat, gas, dan cair, dimana bahan – bahan isolasi ini memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara. Minyak isolasi merupakan salah satu bahan dielektrik yang mempunyai peranan penting dalam sistem kelistrikan bidang peralatan tegangan tinggi khususnya sebagai bahan isolasi. Sifat isolasi suatu material difungsikan untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan untuk mencegah adanya arus hubung singkat, juga sebagai pelindung mekanis dari kerusakan yang diakibatkan oleh adanya korosif. Dengan adanya minyak sebagai media pendingin maka akan dapat mereduksi panas berlebih yang terjadi pada belitan dan inti besi transformator. Tetapi dengan seiringnya transformator beroperasi, minyak transformator akan mengalami penuaan yang dapat mengakibatkan terjadinya berkurangnya daya isolasi minyak tranformator.



Gambar 2.6 Minyak Isolasi Trafo

Isolasi cair (dielektrik) telah lama dipergunakan pada berbagai

⁷ Faradella Maulidya, 'BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR TEGANGAN'.

peralatan seperti transformator, kapasitor, kabel, dan switchgear. Isolasi cair yang saat ini dipergunakan diantaranya minyak mineral, minyak parafin, minyak silicon, dan beberapa minyak lain termasuk yang sedang dikembangkan yaitu minyak nabati. Isolasi cair mempunyai 2 fungsi yaitu sebagai isolasi listrik dan sebagai media pendingin.

Ada beberapa alasan kenapa isolasi cair digunakan pada transformator, yaitu:

1. Isolasi cair memiliki kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum Paschen.
 2. Isolasi cair mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul.
 3. Terakhir, isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (selfheating) jika terjadi pelepasan muatan (discharge).
- Kertas Isolasi Trafo
- Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis⁸.



Gambar 2.7 Tembaga Yang Dilapisi Kertas Isolasi

⁸ Faradella Maulidya, 'BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR TEGANGAN'.

2.3.5 Tap Cahnger

Tap Changer, adalah salah satu bagian utama dari Trafo Tenaga yang berfungsi untuk melayani pengaturan tegangan trafo tersebut, dengan cara memilih/merubah ratio tegangan, perubahan ratio (perbandingan transformasi) antara kumparan primer dan sekunder, untuk mendapatkan tegangan operasi disisi sekunder sesuai dengan yang diinginkan, kualitas (besarnya) tegangan pelayanan disisi sekunder dapat berubah karena tegangan jaringan/system yang berubah-ubah akibat dari pembebanan ataupun saat kondisi system, pada perubahan ratio yang diatur oleh tap changer adalah perubahan dengan range kecil antara + 10% - 15% dari tegangan dasar trafo tersebut⁹.

Perbandingan besar tegangan antara sisi primer terhadap tegangan sisi sekunder adalah berbanding lurus dengan jumlah belitan pada masing-masing kumparan, ($E_{primer} / E_{sekunder} = N_{primer} / N_{sekunder}$) bila tegangan disisi primer berubah, sedangkan tegangan disisi sekunder yang diinginkan akan tetap, maka untuk mendapatkan tegangan disisi sekunder yang konstan harus melakukan penambahan atau mengurangi jumlah belitan disisi primer. Untuk mendapatkan range yang lebih luas didalam pengaturan tegangan, pada kumparan utama trafo biasanya ditambahkan kumparan bantu (tap winding) yang dihubungkan dengan tap selector pada OLTC¹⁰.

Proses perubahan rasio belitan dapat dilakukan saat transformator sedang berbeban (*on load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*off load tap changer*). Tap changer terdiri dari¹¹:

- 1) Selector Switch

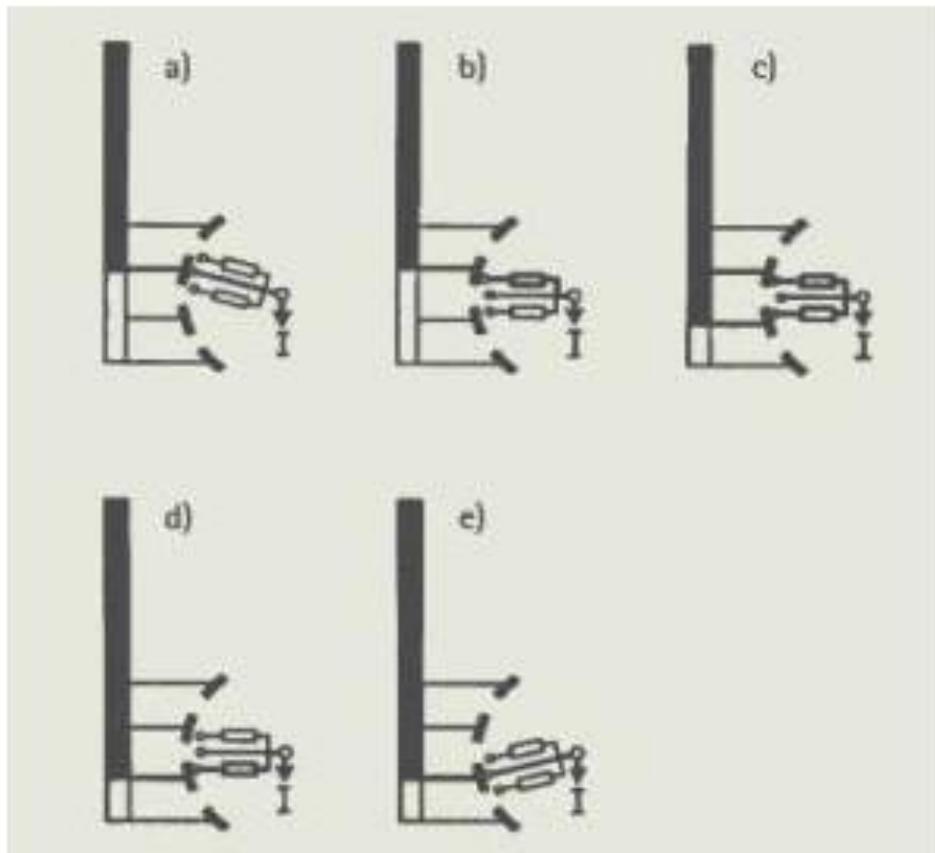
Selector switch merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal-terminal untuk menentukan posisi tap atau rasio belitan primer. Pada

⁹ ANALISA PENGATURAN TAP TRAFU DAN KAPASITOR UNTUK PERBAIKAN ALIRAN DAYA REAKTIF DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION PADA PLTU PAITON UNIT.

¹⁰ ANALISA PENGATURAN TAP TRAFU DAN KAPASITOR UNTUK PERBAIKAN ALIRAN DAYA REAKTIF DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP POWER STATION PADA PLTU PAITON UNIT.

¹¹ Laporan Kerja Praktik, 'PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR DAYA 20000 KVA DI PT PETROKIMIA GRESIK', 2021.

prinsip Selector Switch, tahap Transisi pada tap telah ditunjukkan pada Gambar dibawah, dimana pada prinsip ini, tahap perubahan tap tidak menggunakan sistem ganjil genap melainkan hanya perpindahan tap secara sederhana yang digerakkan oleh Selector Switch dengan memindahkan tap ke tap lainnya yang berderkatan. Penggerak mekanis akan menggerakkan selector switch dengan cepat setelah melepaskan. Pada saat transisi dua resistor sama-sama menyentuh kedua posisi tap, posisi ini disebut transisi impedansi.

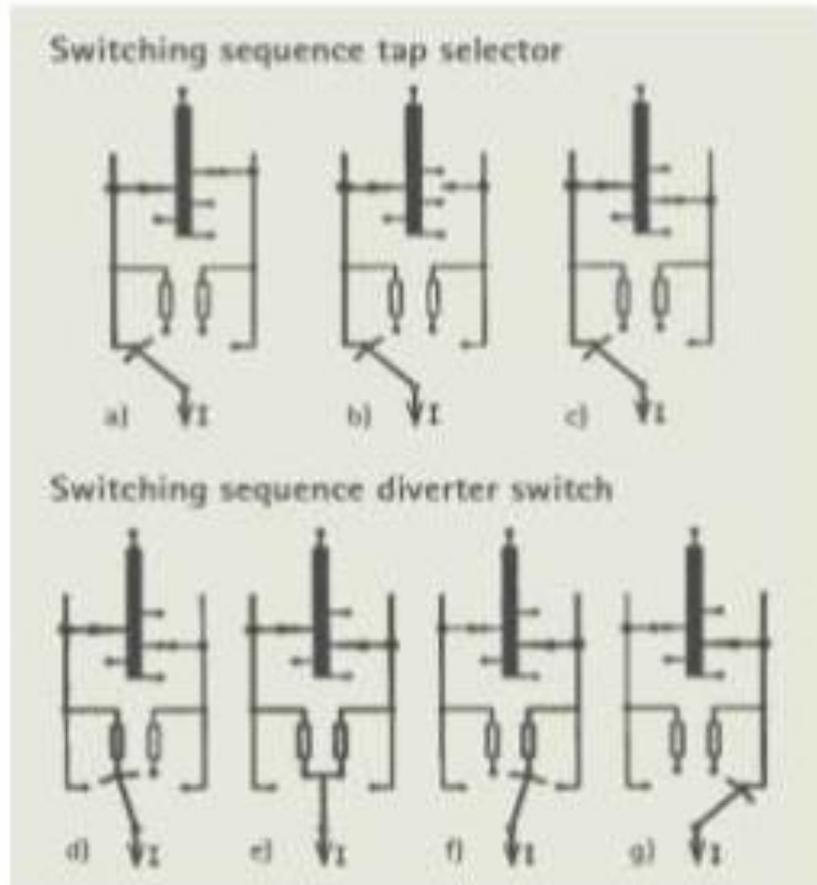


Gambar 2.8 Proses Transisi Tap dengan Cara Selector Switch

2) Diverter Switch

Diverter switch merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi. Desain OLTC yang biasanya digunakan untuk rate yang lebih tinggi dan tegangan tinggi terdiri dari saklar pengalir (diverter switch) dan pemilih tap (tap selector). Jenis operasi perubahan tap ini juga

disebut operasi ganjil genap karena, dibagian kiri tap selector merupakan tap 1, 3, 5 dan terus berlanjut sampai batas. dan dibagian kanan tap selector merupakan tap 2, 4, 6 dan seterusnya.



Gambar 2.9 Proses Transisi Tap dengan Cara Diverter Switch

OLTC terdiri dari saklar pengalir (diverter switch) dan pemilih tap. Di sini operasi perubahan tap terjadi dalam dua tahap. Tap selanjutnya (pra-tap) dipilih oleh Tap Selector dalam keadaan tanpa beban, saat tap sudah terpilih. Diverter Switch akan mentransfer arus melalui tap dalam ke pra-tap yang terpilih. OLTC dioperasikan dengan penggerak mekanis. Pemilih tap dioperasikan oleh gear yang langsung dari penggerak mekanis. Pada saat yang sama, akumulator energi pegas mengoperasikan diverter switch - setelah rilis pada interval waktu yang sangat singkat - secara independen dari penggerak mekanis. Gear memastikan bahwa operasi pengalir switch ini selalu terjadi setelah operasi praseleksi tap telah selesai. Waktu perpindahan dari saklar pengalir adalah antara 40

dan 60 ms dengan desain saat ini. selama operasi beralih pengalih, resistor transisi dimasukkan yang dimuat selama 20-30 ms.

3) Tahanan Transisi

Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer saat perubahan tap.



Gambar 2.10 Tap Changer Transformator

Media pendingin atau pemadam proses switching pada diverter switch yang dikenal sampai saat ini terdiri dari dua jenis, yaitu media minyak dan media vacuum. Jenis pemadaman dengan media minyak akan menghasilkan energi arc yang membuat minyak terurai menjadi gas C_2H_2 dan karbon sehingga perlu dilakukan penggantian minyak pada periode tertentu. Sedangkan dengan metoda pemadam vacuum proses pemadaman arc pada waktu switching akan dilokalisasi dan tidak merusak minyak¹².

¹² Faradella Maulidya, 'BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN TRANSFORMATOR TEGANGAN.

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.

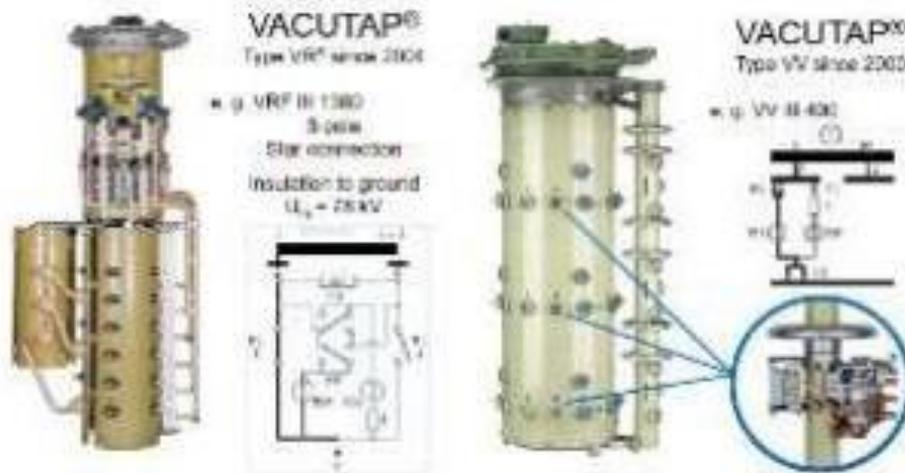
a. On Load Tap Changer Jenis Resistor

Gambar 2.11 OLTC resistor tipe Diverter Switch-Tap Selector dan Selector Switch

b. On Load Tap Changer Jenis Reaktor

Gambar 2.12 OLTC jenis Reaktor

c. On Load Tap Changer Jenis Vakum



Gambar 2.13 OLTC vakum tipe Diverter Switch-Tap Selector dan Switching Selector

Pemeliharaan tap changer

Pemilihan On Load Tap Changer tertentu akan memberikan efisiensi teknis dan ekonomis yang optimal jika persyaratan untuk operasi dan pengujian dari semua kondisi belitan transformator yang berhubungan terpenuhi. Secara umum, margin keselamatan yang biasa tidak perlu diamati seperti OLTC yang telah dirancang, diuji, dipilih dan dioperasikan sesuai dengan IEEE dan IEC standar yang paling dapat diandalkan.

Untuk memilih OLTC yang tepat, data penting dari belitan transformator yang sesuai harus diketahui data-data sebagai berikut:

- Rating MVA
- Koneksi belitan tap (untuk Y / Delta)
- Nilai tegangan dan rentang pengatur
- Jumlah posisi tap
- Tingkat isolasi ke tanah
- Isolasi pengaman internal

Data operasi OLTC berikut dapat berasal dari informasi ini:

- Jenis OLTC
- Jumlah kutub
- Tingkat tegangan nominal OLTC
- Tap selector / tingkat isolasi
- Diagram hubungan dasar (Y / Delta)

Jika perlu, berikut karakteristik tap-changer yang harus diperiksa:

- Kemampuan Breaking & Overload
- Short circuit arus
- Keadaan kontak.

2.3.6 Oil Preservation & Expansion (Konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu. Konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasangkan relai *bucholz* yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, maka pada ujung masuknya saluran udara melalui saluran pelepasan/*venting* dilengkapi media penyerap uap air atau sering disebut dengan *silica gel* sehingga tidak keluar mencemari udara disekitarnya.



Gambar 2.14 Konservator

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa rubber bag), maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan difilter melalui silicagel sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.



Gambar 2.15 Silica Gel

Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan breather bag/ rubber bag, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator. Silicagel sendiri memiliki batasan kemampuan untuk menyerap kandungan uap air sehingga pada periode tertentu silicagel tersebut harus dipanaskan bahkan perlu dilakukan penggantian. Dehydrating Breather merupakan teknologi yang berfungsi untuk mempermudah pemeliharaan silicagel, dimana terdapat pemanasan otomatis ketika silicagel mencapai kejenuhan tertentu.

2.3.7 Pendingin Trafo

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh



minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan. Perubahan temperature akibat perubahan beban maka seluruh komponen trafo akan menjadi panas, guna mengurangi panas pada trafo dilakukan pendingin pada trafo, guna mengurangi pada trafo dilakukan pendinginan pada trafo. Sedangkan cara pendinginan trafo terdapat dua macam yaitu : alamiah/natural (Onan) dan paksa/tekanan (Onaf). Pada pendinginan alamiah (natural) melalui sirip-sirip radiator yang bersirkulasi dengan udara luar dan untuk trafo yang besar minyak pada trafo disirkulasikan dengan pompa. Sedangkan pada pendinginan paksa pada sirip-sirip trafo terdapat fan yang bekerjanya sesuai setting temperaturnya.

2.3.8 Belitan Transformator

Bahan isolator merupakan bahan yang sukar (sulit) atau tidak dapat menghantarkan aliran arus listrik. Bahan isolator ini sangat baik bila dipakai untuk menyekat atau mengisolasi bahan penghantar atau untuk memisahkan bagian-bagian yang bertegangan atau bagian-bagian yang aktif. Jenis kawat yang digunakan sebagai konduktor pembawa arus pada Belitan transformator yang biasa digunakan yaitu tembaga atau aluminium. Kawat aluminium beratnya lebih ringan dan secara umum harganya lebih murah dari pada kawat tembaga. Kawat tembaga dari segi kemampuan menghantarkan listrik merupakan penghantar listrik terbaik jika dibandingkan dengan aluminium. Kawat aluminium harus menggunakan luas penampang yang lebih besar untuk dapat menghantarkan jumlah arus yang sama seperti kawat tembaga.



Gambar 2.16 Belitan Transformato

Isolasi yang digunakan untuk mencegah konduktor saling menempel (short circuit) pada transformator biasanya merupakan lapisan tipis pernis atau enamel.

Belitan dibagi atas dua bagian yaitu :

- Kumparan primer adalah belitan yang dihubungkan dengan sumber tegangan
- Kumparan sekunder adalah belitan yang dihubungkan dengan beban.

Belitan dapat konsentris (memusat) dan sandwiched (berlapis). Belitan konsentris, belitan primer dan sekunder disusun/dililit secara bergantian sepanjang tinggi dari kaki inti. Belitan sandwiched, belitan primer dan sekunder diletakkan berdampingan pada kaki inti.

2.3.9 Pernapasan Trafo

Karena naik turunnya beban trafo maupun suhu udara luar, maka suhu minyaknya akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya bila suhu turun, minyak akan menyusut maka udara luar akan masuk kedalam tangki. Kedua proses tersebut diatas disebut pernapasan trafo, akibatnya permukaan minyak akan bersinggungan dengan udara luar, udara luar tersebut lembab. Oleh sebab itu pada ujung pernapasan



diberikan alat dengan bahan yang mampu menyerap kelembaban udara luar yang disebut kristal zat Hygrokopsis (Clilicagel)

2.4 Fungsi Transformator

Berikut ini adalah fungsi dari transformator dalam kehidupan manusia, yaitu:

1. Rangkaian Kontrol

Transformator digunakan pada tegangan listrik peralatan elektronik yang umumnya manusia gunakan seperti charger, komputer, dan berbagai peralatan lainnya supaya dapat digunakan pada tegangan kontrol 5V, 12V, 18V, dan seterusnya.

2. Rangkaian Pengatur Frekuensi

Dalam dunia frekuensi, trafo digunakan untuk mengatur besaran frekuensi radio yang dihasilkan. Namun, dimensi dan bentuknya jauh lebih kecil daripada trafo yang digunakan pada rangkaian kontrol apalagi trafo transmisi listrik.

3. Distribusi dan Transmisi Listrik

Sebelum mendistribusikan listrik dari pembangkit listrik kepada pemakai listrik, dibutuhkan penaikkan tegangan agar tidak terjadi drop tegangan. Hal tersebut harus dilakukan agar drop tegangan tidak terlalu besar dan lebih murah karena kabel yang dipakai lebih kecil. Jika tegangan semakin besar, arus akan semakin kecil sesuai Hukum Kekekalan Energi.

2.5 Prinsip Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material

magnetik berlaminasi¹³.

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif, yang terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (*reluctance*) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti (*core*) yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi diri (*selfinduction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, serta arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetis)¹⁴.

2.6 Jenis Kegagalan Transformator

1) *Overheating*

Ketika transformator yang beroperasi kelebihan beban, maka akan menghasilkan panas yang berlebih dan dapat memperburuk isolasi. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan hasil DGA menunjukkan karbon monoksida dan karbon dioksida tinggi. Dalam kasus dengan suhu yang lebih hasil penelitian menunjukkan gas metana dan etilena berada pada tingkat yang lebih tinggi.

2) *Partial Discharge*.

Partial Discharge adalah terlepasnya muatan listrik dari permukaan konduktor. Modus terlepasnya muatan ini dalam skala besar dapat terlihat oleh mata telanjang, sedangkan dalam skala kecil tidak dapat terlihat oleh mata. Korona terjadi dikarenakan kadar hidrogen yang tinggi pada minyak isolasi. Gas hidrogen adalah gas satu – satunya yang

¹³ Aszet Idulfitri Darmanto Kadir, 'Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Daya Tiga Fasa Di Pt. Pln (Persero) Rayon Daya'.

¹⁴ Sumber Abdul Kadir, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Universitas Indonesia, Jakarta, 2000, Hlm. 3. 5', 2000, 5–40.



menghasilkan korona namun terkadang gas hidrogen juga terbentuk akibat adanya reaksi kimia antara kandungan air yang berada dalam minyak logam.

3) Busur Api

Busur api adalah gangguan yang paling berbahaya pada minyak isolasi dan transformator yang diakibatkan oleh gas asetilena pada minyak isolasi munculnya busur api dalam minyak isolasi ditandai dengan pembentukan gas-gas hidrogen dan asetilena sebagai gas-gas yang paling dominan.

