

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Supriyanto & Firdaus jurnal tentang “Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kekuatan Dielektrik Minyak Isolasi Transformator 6,6 kV/380 V di PT.INTIBENUA PERKASATAMA Dumai” Pengujian kekuatan dielektrik merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kekuatan dielektrik minyak isolasi transformator.

Dimas Fathoni & Chairul Gagarin Irianto, Jurnal tentang *Sweep Frequency Response Analysis Untuk Analisis Awal Gangguan Mekanis Pada Transformator Distribusi*, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Trisakti. Pengujian SFRA merupakan teknik diagnosis yang dilakukan untuk mengetahui adanya gangguan mekanis atau gangguan listrik lainnya pada *transformator* seperti adanya pergeseran kumparan, perubahan bentuk kumparan, gangguan *transfers energy*, terjadinya hubung singkat, dan kerusakan yang terjadi pada inti besi *transformator*. Metode yang dilakukan dengan mengalirkan tegangan rendah pada frekuensi tertentu. Dari hasil pengujian diperoleh nilai *relatif* R-LF bernilai 2,76 >2, R-MF 3,89 >1, RHF 1,73 >0,6 pada kondisi normal dan R-LF bernilai 0,6 <0,79 pada kondisi gangguan yang ringan.

Mukhammad Rif’at Za’im (2014) melakukan penelitian tentang analisis Transformator daya 3 fasa 150KV/20KV. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa adanya perubahan tegangan nominal pada sisi sekunder sehingga mengakibatkan

perubahan impedansi dan arus nominal di transformator. Pembebanan Transformator pada siang hari lebih tinggi dibanding malam hari.

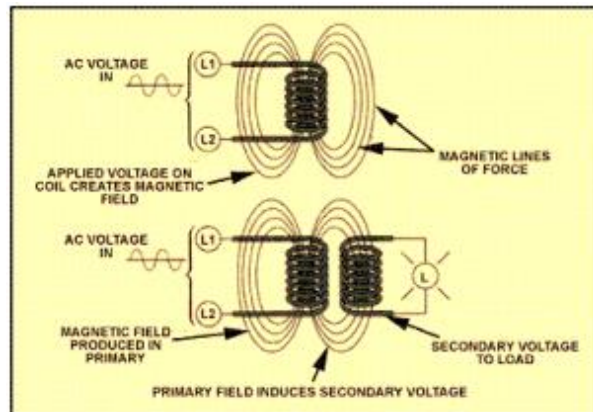
Iwa Garniwa & Jonathan Fritz jurnal tentang “analisis pengaruh kenaikan temperatur dan umur minyak transformator terhadap degradasi tegangan tembus minyak transformator” Kemampuan dari sebuah Transformator menentukan kemampuan dalam sistem transmisi tenaga listrik. Jika transformator tidak optimal kinerjanya akan mempengaruhi aliran daya terjadinya rugi-rugi daya yang berakibat permintaan tenaga listrik tidak sesuai beban.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Transformator (*Transformer*)

Transformator (Trafo) merupakan suatu alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan *level* tegangan yang bekerja berdasarkan *flux* atau sering disebut induksi elektromagnetik yang terdapat dua hukum ampere dan induksi faraday, terjadinya medan magnet/ induksi dikarenakan adanya perubahan medan listrik pada kumparan trafo. Trafo tersusun dari 2 buah kumparan yaitu: kumparan Primer (tegangan masuk) dan Kumparan Sekunder (Tegangan Keluaran).

Dalam sistem tenaga listrik Trafo memiliki peranan Utama untuk menaikkan maupun menurunkan tegangan dengan frekuensi yang tetap, Pada pembangkit Trafo step-up berperan untuk menaikkan tegangan listrik keluaran dari Generator sebelum akhirnya disalurkan melalui jaringan transmisi. Tegangan dari generator berkisar antara 11-20kV dinaikan dengan trafo hingga ratusan kilo volt, rata-rata jaringan transmisi di Indonesia 150kV.

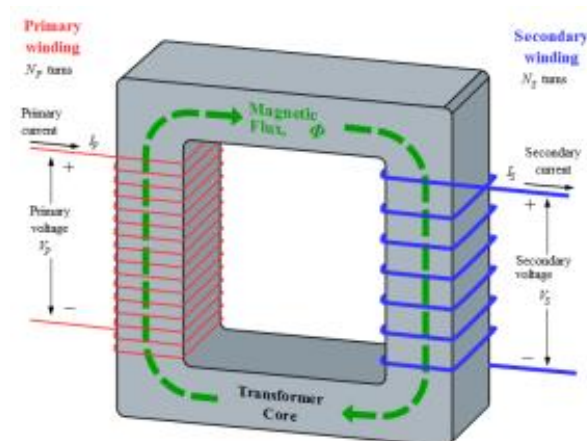


Gambar 2.1 prinsip hukum elektromagnetik

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Pada kumparan primer trafo arus AC akan menghasilkan flux magnet. Flux magnet yang dihasilkan dari kumparan primer mengalir pada inti besi sehingga *flux* magnet pada inti besi menginduksi kumparan sekunder dan pada saat itulah di kumparan sekunder terdapat tegangan induksi dan menghasilkan tegangan listrik pada kedua ujung kumparan sekunder.



Gambar 2.2 Elektromagnetik pada trafo

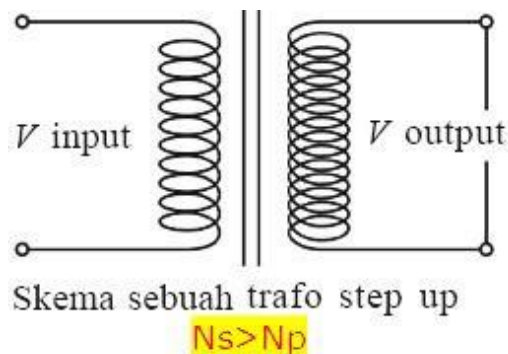
Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.3 Jenis Transformator

2.3.1 Jenis-jenis Transformator berdasarkan *Level* Tegangan.

a. Transformator *Step-Up*

Transformator *Step-Up* adalah trafo penaik tegangan dari tegangan AC Yang rendah menjadi tegangan yang tinggi. Tegangan di sisi Sekunder sebagai tegangan keluaran *Output* yang lebih tinggi dapat ditingkatkan dengan memperbanyak jumlah lilitan, pada kumparan sekundernya jumlah lilitannya lebih banyak daripada jumlah lilitan pada kumparan primernya. Pada pembangkit listrik, Trafo jenis ini digunakan sebagai penghubung trafo generator ke jaringan (*grid*).

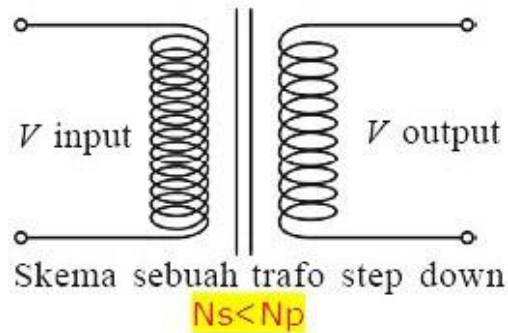


Gambar 2.3 skema traformator *step-up*

b. Traformator *Step Down*

Traformator *Step Down* adalah trafo penurun tegangan dari tegangan yang tinggi menjadi tegangan lebih rendah. Pada Traformator *Step Down* ini, Rasio jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah lilitan pada kumparan sekundernya atau kebalikannya trafo step-up. Di jaringan Distribusi, transformator atau trafo *step down* ini digunakan untuk mengubah dan menurunkan tegangan *grid* yang tinggi menjadi tegangan rendah yang bisa digunakan untuk peralatan rumah tangga. Sedangkan di rumah tangga, kita sering

menggunakannya untuk menurunkan tegangan listrik yang berasal dari PLN (220V) menjadi tegangan yang sesuai dengan peralatan elektronik yang digunakan.



Gambar 2.4 skema traformator *step down*

2.3.2 Jenis-jenis Transformator berdasarkan bahan Inti (*core*) yang Digunakan

a. Trafo berinti Udara (*Air Core Transformer*)

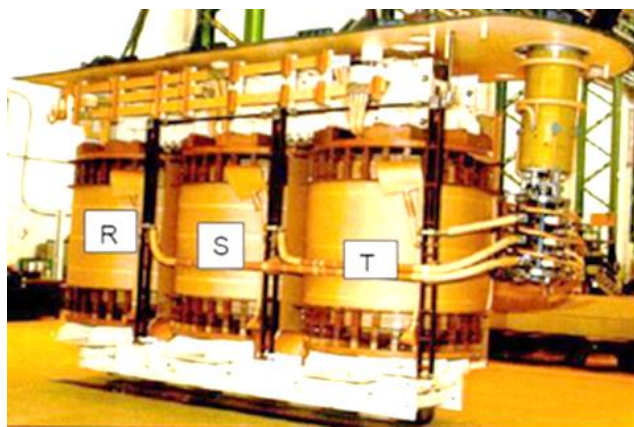
Pada Trafo yang berinti Udara (*air core Transformer*), antara Gulungan Primer dan Gulungan Sekunder dililitkan pada inti berbahan non-magnetik. Bahan non-magnetik yang dimaksud tersebut dapat berupa bahan kertas ataupun karton. Ini artinya, hubungan hubungan *fluks* antara gulungan primer dan gulungan 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 dan dihilangkan pada trafo yang yang berinti udara ini. Trafo inti udara banyak digunakan pada frekuensi tinggi.



Gambar 2.5 Trafo berinti udara.

b. Trafo berinti Besi (*Iron Core Transformer*)

Pada Trafo berinti Besi (*iron core Transformer*), antara gulungan primer dan gulungan sekunder dililitkan pada inti besi yang berlapis-lapis tipis yang dilaminasi. Trafo inti besi memiliki efisiensi yang lebih bagus jika dibandingkan dengan trafo yang berinti udara. Hal ini dikarenakan bahan besi memiliki sifat magnetik dan juga konduktif sehingga memudahkan jalannya *fluks* magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik kumparan serta untuk mengurangi suhu panas yang ditimbulkan. Trafo yang berinti besi banyak digunakan pada frekuensi rendah.



Gambar 2.6 Trafo berinti besi

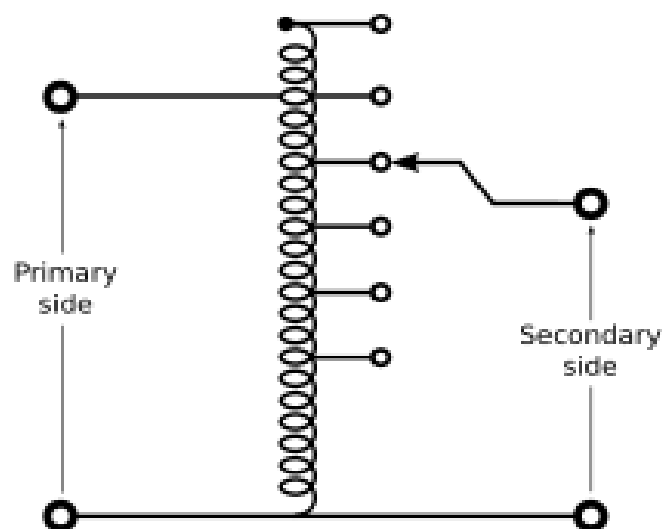
Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.3.3 Jenis-jenis Transformator berdasarkan Pengaturan Lilitannya.

a. Trafo Otomatis (*Auto Transformer*)

Auto Transformer atau sering disebut Trafo Otomatis merupakan Trafo listrik yang hanya memiliki satu kumparan dimana antara kumparan primer dan kumparan sekundernya terhubung secara fisik dan magnetis dalam satu rangkaian. Pengaturan lilitan juga berbeda dengan Trafo standar pada umumnya yang terdiri dari dua kumparan atau lilitannya yang ditempatkan pada dua sisi berbeda yaitu kumparan Primer dan kumparan sekunder.

Trafo Otomatis banyak digunakan sebagai trafo *step up* dan *step down* yang memiliki fungsi untuk menaikkan tegangan maupun menurun tegangan pada tegangan 100V-110V-120V dan tegangan 220V-230V-240V bahkan pada tegangan 110V hingga 220V.



Gambar 2.7 skema *auto transformer*

2.3.4 Jenis-jenis transformator berdasarkan Penggunaannya.

a. Trafo Daya (*Power Transformer*)

Transformator Daya merupakan jenis trafo yang berukuran besar yang digunakan untuk transfer daya tinggi yang mencapai hingga 33 KV. Trafo daya banyak digunakan pada pembangkit listrik dan gardu transmisi. Trafo Daya biasanya memiliki tingkat insulasi yang tinggi.

b. Trafo Distribusi (*Distribution Transformer*)

Trafo Distribusi (*Distribution Transformer*) diaplikasikan untuk mendistribusikan energi listrik dari pembangkit listrik ke konsumen listrik ataupun industri. Trafo Distribusi mendistribusikan energi listrik pada tegangan rendah yang kurang dari 33 KV untuk keperluan rumah tangga ataupun industri tegangannya berkisar antara 220V hingga 440V.

c. Trafo Pengukuran (*Measurement Transformer*)

Trafo Pengukuran (*Measurement Transformer*) atau *Instrument Transformer* ini digunakan untuk mengukur kuantitas arus, tegangan listrik dan daya yang biasanya diklasifikasikan menjadi trafo arus dan trafo tegangan listrik.

d. Trafo Proteksi (*Protection Transformer*)

Trafo Proteksi yang difungsikan untuk melindungi komponen listrik dari berbagai gangguan. Trafo proteksi dengan trafo pengukuran memiliki perbedaan yaitu akurasi. Dimana trafo proteksi harus lebih akurat daripada trafo pengukuran.

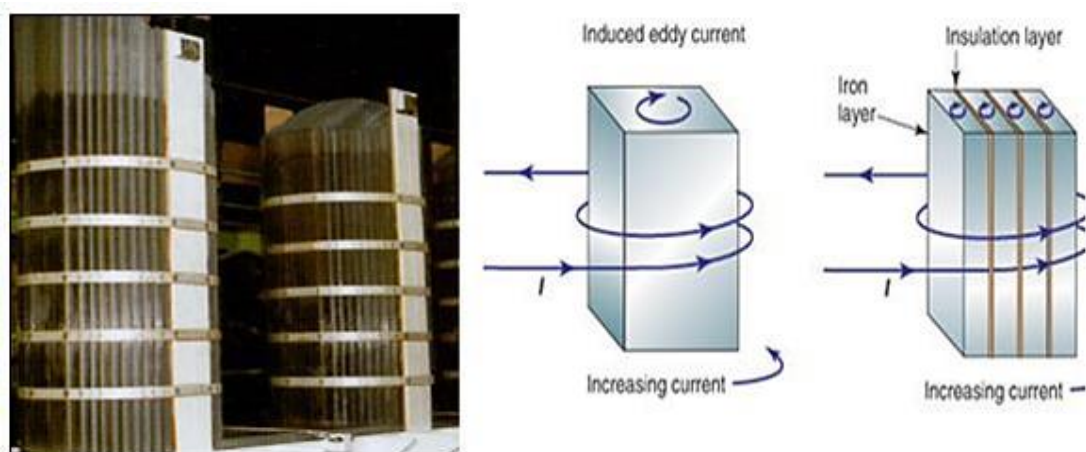
2.3.5 Jenis-jenis Transformator berdasarkan Tempat Penggunaannya.

Trafo berdasarkan tempat penggunaannya ini terdiri dari trafo *outdoor* (luar ruangan) dan trafo *indoor* (dalam ruangan). Trafo *outdoor* adalah trafo yang dapat ditempatkan diluar ruangan seperti trafo distribusi yang ditempatkan di gardu induk sedangkan Trafo Indoor adalah trafo yang harus diletakan di dalam ruangan yang ditutupi dengan atap seperti trafo-trafo yang digunakan pada industri-industri.

2.4 Komponen Utama Traformator daya

2.4.1 Inti Besi (*Electromagnetic Circuit*)

Inti besi (*Electromagnetic Circuit*) pada transformer merupakan bagian sebagai perantara mengalirkan flux medan magnet yang terjadi akibat adanya arus bolak-balik pada lilitan Primer di inti besi sehingga flux magnet yang berada di inti besi menginduksi lilitan lainnya. Inti besi terbuat dari besi yang tipis dan disusun berlapis yang memiliki tujuan mengurangi arus eddy (*eddy current*).



Gambar 2.8 inti besi Transformator.

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.4.2 Belitan Transformator (*Current Carrying Circuit*)

Belitan/lilitan dari Trafo terbuat dari tembaga yang sudah diberi isolasi yang membentuk gulungan/kumparan pada inti besi. inti besi akan terinduksi dan menimbulkan *fluks* magnetik pada saat pada ujung lilitan tembaga/ gulungan tembaga pada inti besi dari trafo dialiri arus bolak-balik.



Gambar 2.9 Belitan Traformator

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.4.3 Bushing

Bushing merupakan konduktor yang dilapisi isolator digunakan sebagai penghubung lilitan dalam transformator ke saluran transmisi/ distribusi jaringan listrik. Bushing juga memiliki fungsi untuk penyekat *bodytank* transformator dengan konduktor.



Gambar 2.10 Bushing pada Transformator
Dokumen Penelitian di PLTU 1 PACITAN

2.4.4 Pendingin (*Radiator*)

Transformator yang beroperasi maka pada inti besi terjadi induksi karena adanya tegangan dan arus yang besar mengalir pada inti besi, lama kelamaan akan timbul panas yang menyebabkan rugi-rugi pada trafo dan bisa membuat isolasi pada lilitan trafo rusak. Untuk meminimalisir rugi-rugi daya trafo dan rusaknya isolasi lilitan maka diperlukan pendingin trafo. Pendinginan dilakukan dengan mensirkulasikan minyak didalam trafo melalui sirip-sirip radiator yang ada di luar trafo. Agar pendinginan lebih efektif maka diperlukan kipas radiator untuk membantu proses pendinginan.



Gambar 2.11 Pendingin (*Radiator*)
Sumber: Dokumen Penelitian di PLTU 1 PACITAN

2.4.5 Konservator (*Oil Preservation & Expansion*)

Saat trafo beroperasi maka akan terjadi kenaikan suhu, Transformator yang beroperasi pada inti besi transformator menghasilkan panas sehingga timbul gelembung-gelembung pada minyak transformator dan volume dalam transformator bertambah dan terjadi pemuaian dalam trafo. Sedangkan saat trafo terjadi penurunan suhu saat operasi minyak pada transformator akan terjadi penyusutan sehingga volume minyak turun. Konservator berfungsi sebagai penampung minyak didalam trafo saat trafo mengalami pemuaian, dan juga sebagai alat pernafasan saat trafo terjadi penyusutan minyak.



Gambar 2.12 Alat pernafasan (Konservator)
Sumber: Dokumen Penelitian di PLTU 1 PACITAN

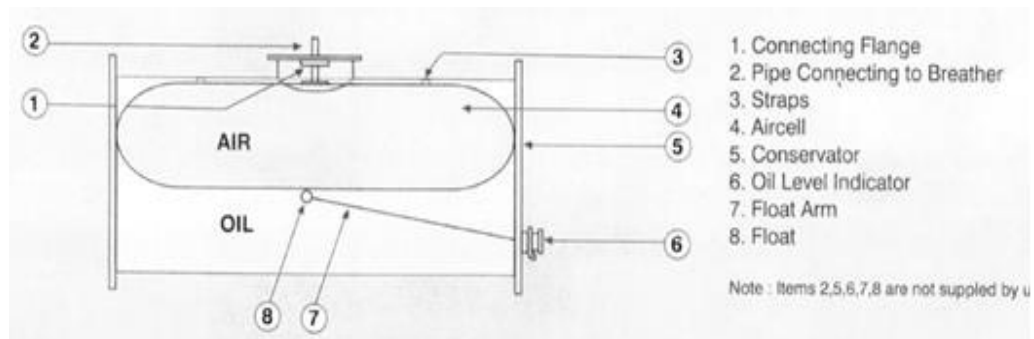
Volume udara pada konservator akan bertambah dan berkurang akibat pemuaian dan penyusutan minyak. Pembuangan gelembung udara pada konservator berhubungan dengan udara di luar trafo, Maka untuk menghindari udara luar masuk yang bisa menyebabkan minyak trafo terkontaminasi pada konservator dilengkapi dengan filter yang didalamnya berisi silica gel. Sehingga kandungan uap air yang akan masuk ke dalam konservator bisa diminimalkan atau bisa juga dihilangkan.



Gambar 2.13 Filter Silica gel

Sumber: Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Konservator pada transformator dirancang khusus menggunakan *Rubber bag/ breater bag* yang dipasang pada tangki konservator sejenis balon yang terbuat dari karet. *Rubber bag/ breater bag* difungsikan supaya minyak yang ada didalam konservator tidak kontak langsung dengan udara diluar trafo.



Gambar 2.14 Kontruksi konservator dengan *rubber bag*.

Sumber: Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Silica gel punya batasan tertentu dalam menyerap kelembaban uap air/udara maka diperlukannya *Derydrating Breater* yang digunakan untuk mencegah kelembaban udara yang kontak langsung dengan minyak pada konservator. *Derydrating Breater* juga dilengkapi dengan perangkat minyak dan mencegah kontak yang terus-menerus antara udara lembab dengan silica gel yang ada didalamnya untuk memungkinkan umur yang lama pada silica gel.



Gambar 2.15 *Derydrating Breater*

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.4.6 Minyak Isolasi Transformator

Minyak isolasi digunakan sebagai media isolasi dadalam trafo, sebagai pendingin, dan pelindung lilitan dari oksidasi. Minyak yang digunakan untuk isolasi termasuk minyak mineral ada tiga macam yaitu, aromatik, naphthanik, dan parafinik. Ketiga jenis minyak dasar tersebut memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda-beda maka tidak boleh dilakukan pencampuran. Dan juga kertas isolasi Trafo sebagai pemberi jarak, isolasi, yang memiliki kemampuan teknis.



Gambar 2.16 Minyak isolasi Trafo

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)



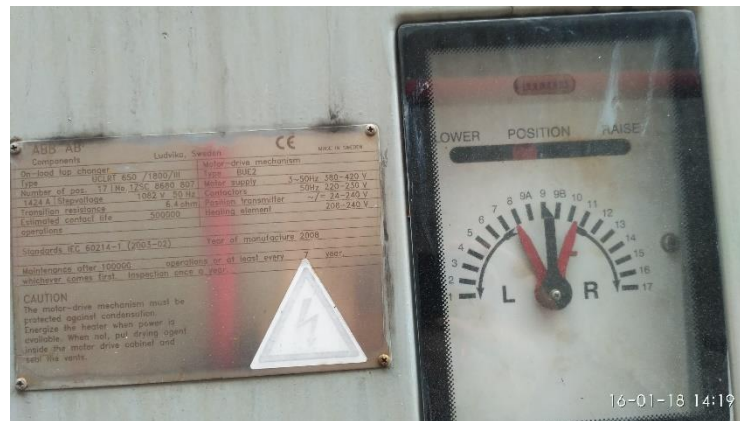
Gambar 2.17 Tembaga yang dilapisi kertas isolasi

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.4.7 Tap Changer

Tap Changer merupakan penyesuaian ratio belitan. Trafo harus mampu bekerja optimal dengan tegangan output yang stabil walau tegangan pada sisi *input* (*Kumparan sekunder*) yang berubah-ubah karena kesetabilan dari tegangan dinilai sebagai kualitas tegangan. Dengan adanya tap changer diharapkan mampu

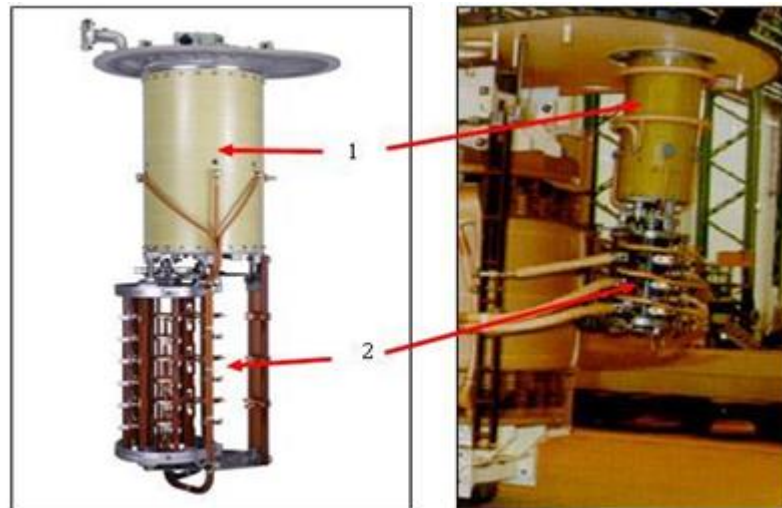
memasok energi listrik sesuai dengan kebutuhan pada sistem. Dengan tap changer maka bisa merubah banyaknya dari kumparan *sekunder* maupun kumparan *primer*.



Gambar 2.18 Tap Changer

Sumber: Dokumen Penelitian di PLTU 1 PACITAN

Ada tiga bagian utama *Tap changer* yaitu, *Selector switch*, Tahanan transisi, dan *Diverter switch*. Antara *Tap Changer* dan belitan utama dipisah karena tap changer aktifitasnya lebih dinamis daripada inti besi dan belitan utama. Rangkaian mekamis *tap changer selector switch* yang tersusun dari terminal yang digunakan untuk mengubah posisi dari *tab changer* dan juga ratio dari kumparan *primer*. Rangkaian dinamis *Diverter switch* digunakan untuk melepaskan kontak atau melakukan kontak yang sangat cepat. Sedangkan tahanan transisi yaitu sebuah tahanan sementara untuk dilewati arus pada perubahan tap.



Bagian-bagian:

1. Diverter switch
2. Selector switch

Gambar 2.19 bagian OLTC

Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.4.8 NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

NGR salah satu metode pentanahan. NGR dipasang dengan tujuan untuk mengatur besarnya arus gangguan yang akan mengalir dari titik *neutral* ke *ground* (tanah) dengan cara memasang tahanan seri dengan netral pada sekunder trafo sebelum masuk ke tanah sebagai *ground*.



Gambar 2.20 NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.4.9 Proteksi Trafo

1. Rele Bucholz

Rele Bucholz merupakan rele yang berfungsi untuk mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo yang menimbulkan gas/asap. Gas yang ditimbulkan dari Hubung singkat antar lilitan, antar phasa dan antar phasa ke tanah, Busur api listrik antar laminasi dan kontak kurang baik.



Gambar 2.21 Rele Bucholz

Sumber: Dokumen Penelitian di PLTU 1 PACITAN

2. Rele Jensen

Rele yang difungsikan sebagai *proteksi* pada kompartmen OLTC. Pemasangan rele ini di saluran antara kompartmen Konservator dengan OLTC. Rele ini bekerja pada saat adanya tekanan minyak/gas saat terjadinya gangguan pada sistem.

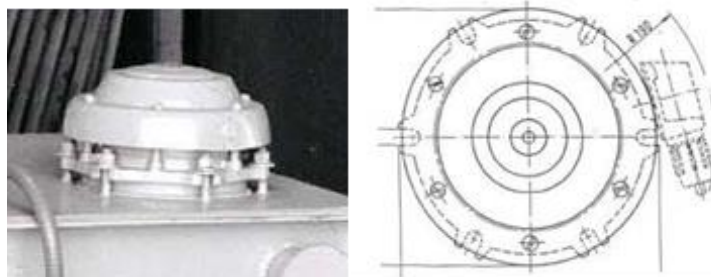


Gambar 2.22 Rele Jansen.

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

3. Rele Sudden Pressure

Rele sudden Pressure digunakan untuk melindungi trafo pada saat terdapat gangguan tekanan lebih karena gangguan yang ada didalam trafo. Dengan adanya rele ini saat ada tekanan berlebih pada trafo akan disalurkan melewati rele sudden pressure dan tidak menyebabkan kerusakan pada *body* Trafo.



Gambar 2.23 Rele Sudden Pressure

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

4. Rele Suhu (*rele thermal*)

Relay Suhu/Thermal digunakan untuk melindungi trafo dari suhu yang berlebih. Relay thermal tersusun dari themocouple (Sensor suhu), pipa kapiler, dan jarum meter penunjuk.



Gambar 2.24 Rele Thermal.

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.5 Tranformator GT

Transformator GT (*Generator Transformator*) Merupakan salah satu Trafo Daya *step-up* yang terhubung langsung dengan tegangan output dari *Generator* Pembangkit Tranformator ini digunakan untuk menaikkan tegangan sebelum masuk pada jaringan Transmisi yaitu dari keluaran *Generator* sekitan 11-20 KV menjadi 150 KV yang masuk ke jaringan Transmisi.



Gambar 2.25 Trafo GT (*Generator Transformer*)
Sumber: Dokumen Penelitian di PLTU 1 PACITAN

2.6 Pengujian Hambatan Isolasi (*Insulation Resistance & polarization Index*)

Pengujian hambatan isolasi bertujuan guna mengetahui kondisi antar dua belitan atau belitan dengan ground. Salah satu metodenya dengan mengujinya menggunakan alat ukur *insulating meter* dengan mengalirkan tegangan dc antar fasa atau fasa dengan ground dan mempresentasikan kondisi dari tahanan isolasi menggunakan satuan megaohm. Pengukuran hambatan isolasi untuk mendeteksi adanya arus yang bocor yang menembus isolasi yang disebabkan karena suhu, kelembaban, dan juga jalur bocor dio permukaan eksternal seperti kotoran di isolator atau bushing. *Insulating Meter (Megger)* biasanya memiliki kapasitas untuk pengujian mulai dari 500,1000, 2500, dan 5000 Vdc.



Gambar 2.26 alat ukur *Insulating meter* (megger)
 Sumber: Dokumen Penelitian di PLTU 1 PACITAN

Pada pengujian Insulating Resistance kondisi dari sebuah isolasi dapat diketahui dari hasil data pengujian yang telah dilakukan dengan alat ukur insulating meter (megger) dengan satuan Mega Ohm. Untuk indeks polarisasi dengan membandingkan hasil uji menit terakhir (menit ke-10) dengan menit awal (menit ke-1) dari hasil pengujian.

Pengukuran hambatan isolasi mengacu standart IEEE C57.125-1991 dengan lama pengujian 1 menit.

R = Tahanan isolasi (M-Ohm)

C = Koefisien (1,5 untuk reaktor minyak)

E = Tegangan P-G

kVA = Kapasitas Alat

$$R = CE / \sqrt{kVA}$$

Sedangkan untuk standart perhitungan Index polarisasi (IP) didapatkan dari perbandingan hasil uji menit terakhir (menit ke-10) dengan menit awal (menit ke-1) dari data hasil pengujian. Pada pengujian ini memiliki tujuan untuk memastikan bahwa peralatan yang dioperasikan masih layak dan dengan pengujian *over voltage test*. *Index polarisasi* yang sering digunakan untuk menunjukkan pembacaan tahanan isolasi Trafo disebut sebagai *dielectric absorption*, dengan menggunakan tegangan tetap pada periode waktu yang lebih lama maka diperoleh hasil data berkelanjutan.

Pengujian berkelanjutan dilakukan dengan waktu 10 menit, Dengan demikian maka tahanan isolasi memiliki kemampuan dalam mengisi *kapasitansi* yang tinggi ke isolasi Trafo, jika keadaan isolasi trafo bersih dan kering pembacaan resistansi akan meningkat dengan cepat. Polarization Index (PI) atau Index Polarisasi (IP) yaitu rasio pembacaan 10 menit dengan dibandingkan dengan pembacaan 1 menit. Jika nilai index polaritas (IP) yang didapatkan terlalu rendah ini menginditifikasikan keadaan isolasi telah terkontaminasi. Polaritas index (IP) dirumuskan dengan:

$$PI = \frac{\text{Pengukuran } R_{IS} \text{ 10 menit}}{\text{Pengukuran } R_{IS} \text{ 1 menit}}$$

Tabel 2.1 index polarisasi untuk pengujian tahanan isolasi

No.	Hasil Uji	Keterangan	Rekomendasi
1	<1,0	Berbahaya	Investigasi
2	1,0 – 1,1	Jelek	Investigasi
3	1,1 – 1,25	Dipertanyakan	Uji kadar air minyak, uji tan delta
4	1,25 – 2,0	Baik	-
5	>2,0	Sangat baik	-

2.7 Pengujian Tahanan DC (Rdc) *Winding Resistance*

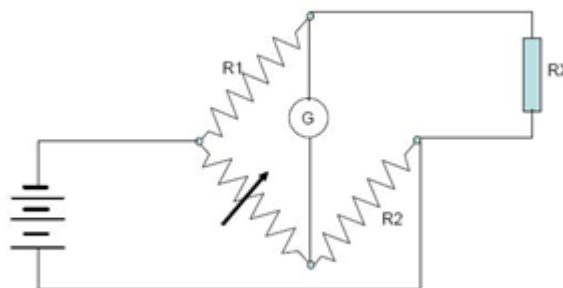
Pengujian Rdc ini dengan tujuan untuk mengukur nilai hambatan (*resistif*) dari belitan. Pengujian ini dilakukan dengan mengalirkan arus dc ke belitan. Dengan adanya pengujian ini maka dapat mengetahui koneksi-koneksi di dalam belitan masih layak atau tidak dan juga bisa untuk memperkirakan jika kemungkinan terjadi hubung singkat karena hambatan yang tinggi antara belitan. Pengukuran di Trafo tiga fasa dengan pengujian di tiap-tiap belitan pada titik fasa dengan netral. Alat ukur yang digunakannya *micro ohmmeter* atau dengan jembatan *wheatstone* digunakan untuk mengukur nilai hambatan pada rentang nilai $\mu\Omega$ (*micro ohm*) sampai dengan nilai Ω (*ohm*).



Gambar 2.27 Alat ukur *Micro ohmmeter*

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

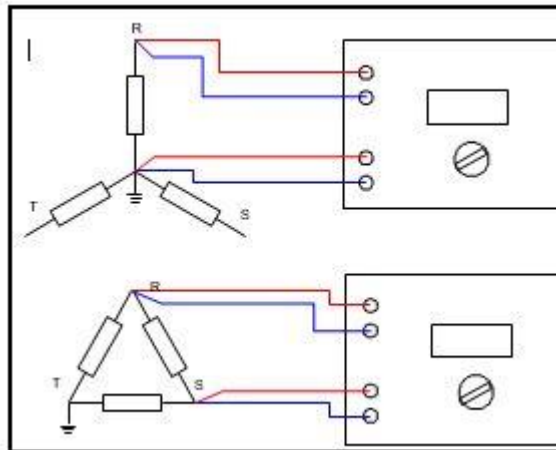
Pengujian yang bisa digunakan dengan jembatan *wheatstone* biasanya digunakan untuk trafo yang berdaya kecil/rendah. Dalam alat ini terdiri dari sebuah *galvanometer*, dua buah resistor yang nilainya tidak berubah (R_1 & R_2) dan terdapat hambatan yang nilainya berubah-ubah (*variabel*) dengan tempat yang bersebrangan dengan R hambatan pada dibelitan yang akan diuji (R_x).



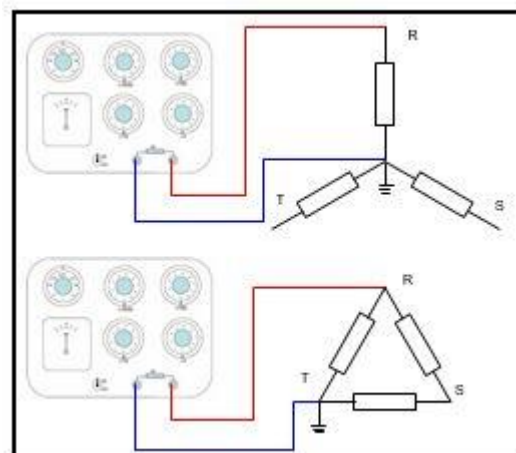
Gambar 2.28 Skema Jembatan *Wheatstone*.

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Untuk mengetahui nilai hambatan belitan yang diukur dengan cara memposisikan nilai yang ada dari hambatan *variable* sampai nilai yang ada di *galvanometer* sampai menunjukkan nilai nol (arus seimbang dimana nilai hambatan *variable* sama dengan nilai R_x).



Gambar 2.29 Skema *micro ohmmeter* pengujian hambatan dc
 Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)



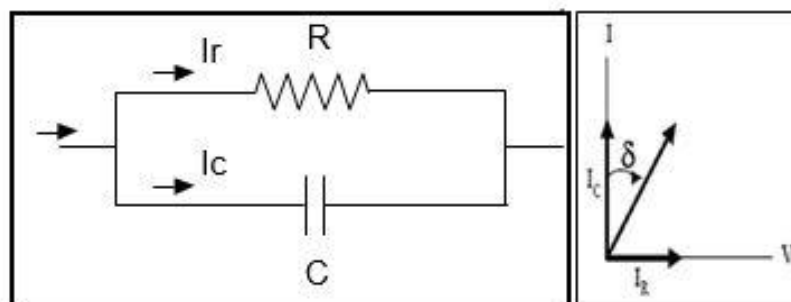
Gambar 2.30 Skema jembatan *wheatstone* untuk pengujian hambatan dc
 Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

2.8 Pengujian *Disipation Factor* (*Tangen-Delta*)

Pengujian *Disipation Factor* (*Tangen Delta*) digunakan untuk mengetahui nilai kapasitif pada isolasi, tingkat kebasahan di trafo dan juga keburukan isolasi trafo. Isolasi pada sebuah trafo sama dengan isolator yang diantara dua elektroda di kapasitor. Kapasitor yang sempurna arus dan tegangan fasa bergeser 90° arus yang melewati isolasi bersifat kapasitif. Jika ada kontaminasi pada isolasi atau ada *defect*,

maka isolasi hambatannya berkurang dan menyebabkan tingginya arus resistif dalam isolasi tersebut. Isolasi yang nilai resistifnya tinggi tidak lagi merupakan kapasitor sempurna yang mengakibatkan arus dan tegangan tidak bergeser 90° akan tetapi bergeser $\leq 90^\circ$. Besarnya selisih $\leq 90^\circ$ mempresentasikan tingkat *kontaminasi* di isolasi.

Dibawah adalah sebuah gambar rangkaian equivalen sebuah isolasi dan diagram phasor antara arus kapasitansi dan arus *resistif* sebuah isolasi. Dengan mengukur nilai I_R/I_C dapat mengetahui kualitas isolasi.

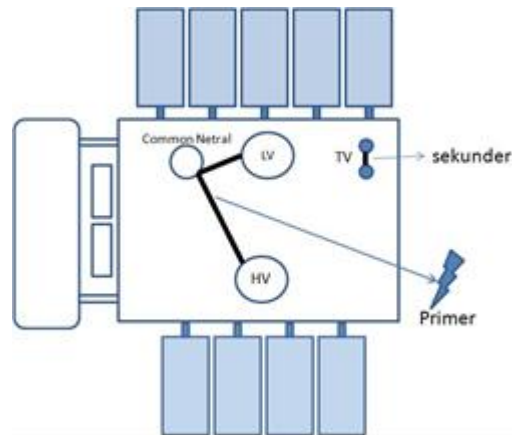


Gambar 2.31 Skema Rangkaian equivalen isolasi & diagram phasor arus pengujian tangen delta
Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Pengujian pada Tange-Delta dilakukan dengan tiga metode yaitu metode autotrafo, metode trafo dua fasa, dan metode trafo tiga fasa.

- Metode autotrafo

Pengujiannya dengan cara sisi HV (*High Voltage*) dan LV (*Low Voltage*) pada autotrafo dijadikan satu lilitan, sehingga pada bushing LV, HV, dan *Neutral* jadi satu titik pengujian (*primer*) sedangkan sisi lilitan TV jadi satu titik untuk pengujian (*sekunder*).



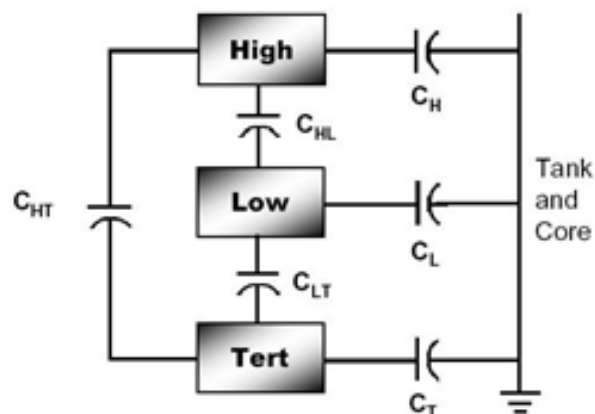
Gambar 2.32 Pengujian tangen-delta autotrafo
Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

- Trafo dua fasa pengukurannya:

Pengukuran antara titik Primer – Ground (CH), antara titik Sekunder – Ground (CL), dan antara titik Primer – Sekunder (CHL)

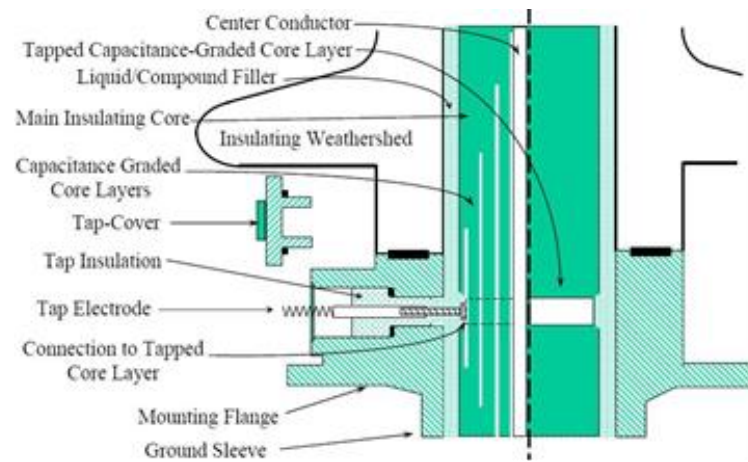
- Trafo tiga fasa pengukurannya:

Pengukuran antara titik Primer – Ground, antara titik Sekunder – Ground, antara titik Tertier – Ground, antara titik Primer – Sekunder, antara titik Sekunder – Tertier, dan antara titik Primer – Tertier.



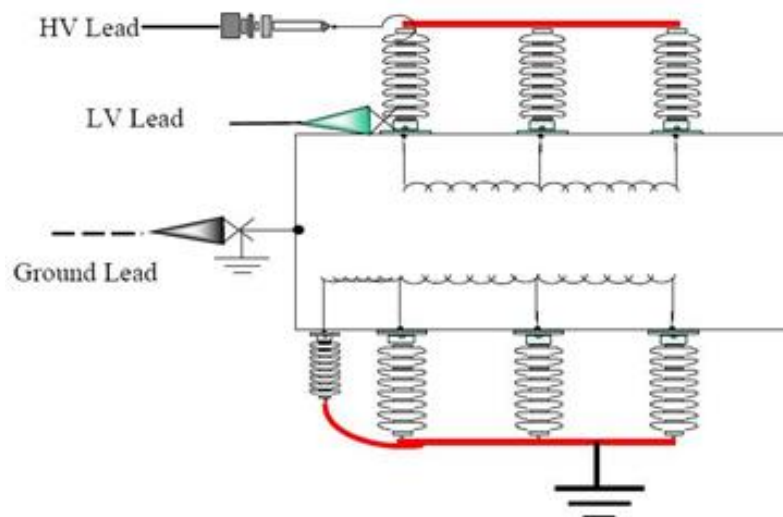
Gambar 2.33 Skema Rangkaian Ekuivalen pada isolasi Trafo
Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Pengukuran tan-delta di bushing memiliki tujuan melihat kondisi dari isolasi Trafo dengan konduktor antara CT (*Center Tap*) atau C1 & isolasi antara CT (*Center Tap*) dengan Ground atau disebut C2. Untuk pengujian lebih lanjut jika bushing tidak memiliki tap pengujian dengan metode *hotcollar* untuk mengetahui kondisi isolator keramik bushing.



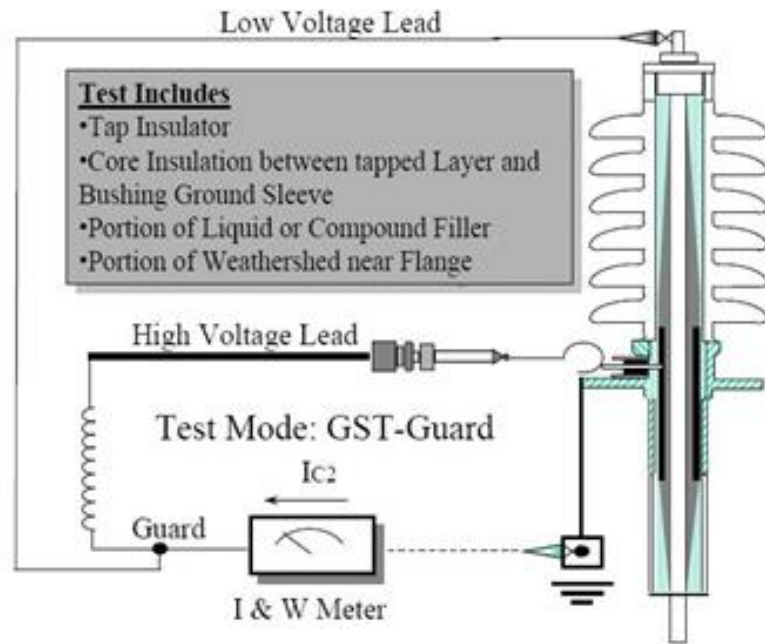
Gambar 2.34 bagian-bagian Bushing

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

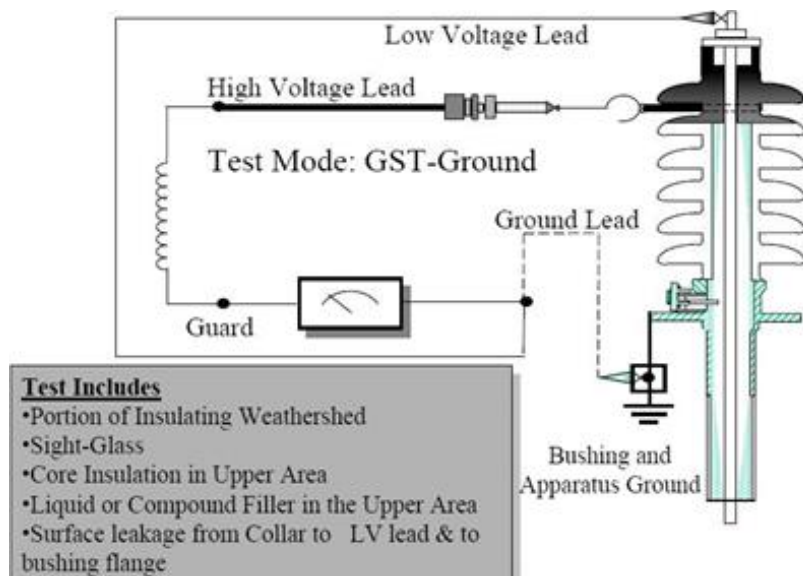


Gambar 2.35 Skema Rangkaian pengujian tangen-delta C1 di bushing

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)



Gambar 2.36 Skema Rangkaian pengukuran tangen-delta C2 di bushing
 Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)



Gambar 2.37 Skema Pengukuran tangen-delta *hotcollar* di Bushing.
 Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Pada pengujian tangen delta nilai maksimum yang di ijinakan untuk bushing dan belitan trafo ada di tabel bawah ini. Trafo dinilai bermasalah jika sudah diatas nilai tersebut.

Tabel 2.2 Nilai tangen delta di trafo standar (IEEE C57.152-2013)

Item	Batasan	Rekomendasi
Trafo Baru	Max 0.5 %	-
Trafo Lama	Max 1 %	Pemeriksaan kadar air di minyak isolasi

Referensi untuk evaluasi hasil pengukuran tangen delta dengan standar ANSI C57.12.90.

Referensi hasil pengukuran Tangen Delta (ANSI C 57.12.90 Standard) :	
• $\tan \delta < 0.5 \%$	= Baik
• $0.5 \% < \tan \delta < 0.7 \%$	= Pemburukan
• $0.5 \% < \tan \delta < 1.0 \%$ dan kenaikannya	= Periksa Ulang
• $\tan \delta > 1.0\%$	= Buruk

Tabel 2.3 Batasan nilai maksimum pengukuran tangen delta di bushing

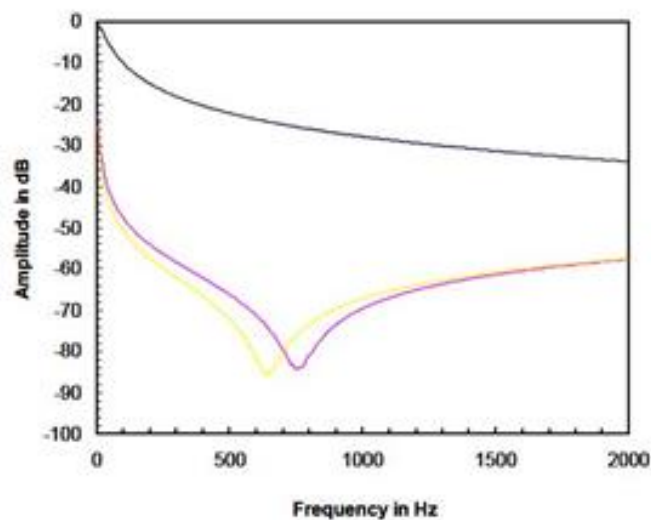
No.	Standart	Resin Impregnated Paper (RIP)	Oil Impregnated Paper (OIP)	Resin Bonded Paper (RBP)
1	IEC 60137 – DF $\tan \delta$	<0,7 %	<0,7 %	< 1,5%
2	IEEE C57.19.01 – PF $\cos \varphi$	< 0,85%	< 0,5%	< 2%
3	CIGRÉ TB 445	2 kali nilai dari nilai awal/baru		

Dengan catatan bahwa frekuensi harus di 50/60hz pada suhu 20°C

3. Phase Comparison (Data dari hasil uji dibandingkan dengan data hasil uji fasa yang lainnya pada trafo yang sama)

Ada beberapa keadaan yang bisa terdeteksi saat pengujian SFRA yaitu, terjadinya deformasi belitan, Terjadinya pergeseran antara belitan, Adanya lilitas putus atau terjadi hubung singkat, Kegagalan grounding pada inti besi dan *screen*, Adanya pergerakan dari inti transformator, dan adanya gangguan pada koneksi internal.

Dibawah ini terdapat sebuah gambar SFRA bisa mendiagnosa sebuah *short turn* pada *traformator step-up*. Pada pengujian ini , Respon salah satu dari fasa ada perbedaan yang jauh dibandingkan dua fasa lainnya yang sedang mengidentifikasi adanya *short turn*.



Gambar 2.39 Short putaran pada satu fasa *Transformator Generator*

Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Transformator Tenaga PT.PLN (2014)

Tabel 2.4 Rekomendasi dan Evaluasi dari pengujian SFRA dengan metode CCF pada konfigurasi pengukuran pada Y1-Y2; X1-X0; H1-H0.

No	Hasil uji (CCF)	Keterangan
1	0,95 – 1,0	Cocok
2	0,90 – 0,95	Hampir cocok
3	< 0,89	Kurang cocok
4	≤ 0,0	Tidak/sangat tidak cocok

Tabel 2.5 Untuk Evaluasi pengujian SFRA dengan standar DL/T 911-2004

No	Zona	Frekuensi	Simbol	Severe distortion	Obvious distortion	Light distortion	Normal
1	R-LF	1-100 KHz	A	$A < 0,6$	$0,6 \leq A < 1$	$1 \leq A < 2$	$2 \leq A$
2	R-MF	100-600 KHz	B		$B < 0,6$	$0,6 \leq B < 1$	$1 \leq B$
3	R-HF	600 KHz – 1 MHz	C				$0,6 \leq C$

2.10 Dielectric Response Analysis (DIRANA)

Pengujian Dirana atau *Dielectric response analyzer* digunakan untuk mengukur response dielectric pada reaktor minyak (*dielectric oil impregnated paper*) terhadap dissipation faktor dengan menggunakan frekuensi yang lebar. Maka dapat diketahui kadar kandungan *moisture* (air) dalam kertas isolasi pada trafo.



Gambar 2.40 Alat ukur Dirana
 Sumber: www.omicronenergy.com

2.11 Pengukuran *Turn to turn Ratio*

Pengujian *turn to turn ratio (ratio test)* memiliki tujuan untuk mengetahui berbagai gangguan yang terjadi antar lilitan pada isolasi *transformator* tenaga. Dengan adanya pengujian ratio test maka dapat mengetahui terjadinya kerusakan seperti putusnya lilitan, terjadinya korseting antar lilitan, dan juga ketidaknormalan di tap changer. Metode pengujiannya dengan memasukkan tegangan yang bervariasi di titik HV (*High voltage*) dan mengukur pada titik LV (*Low Voltage*) dengan membandingkan antara tegangan masukan (*input*) dengan tegangan keluaran (*output*) sisi LV.

Analisis data yang dilakukan pada pengujian *ratio test* dengan membandingkan ratio plate tegangan di *Trafo* untuk batasan masalah 0,5% standart IEEE C57.152-2013 (<0,5 %). Jika hasil dari pengujian lebih dari 0,5 % harus dilakukan pengujian lainnya.

Tabel 2.6 Ratio Name Plate / Referensi

TAP	HV SIDE	LV SIDE	RATIO
9	150.000 V	20.000 V	4,3301



Gambar 2.41 Alat uji Ratio Test
Sumber: Buku pedoman pemeliharaan Reaktor (2014)