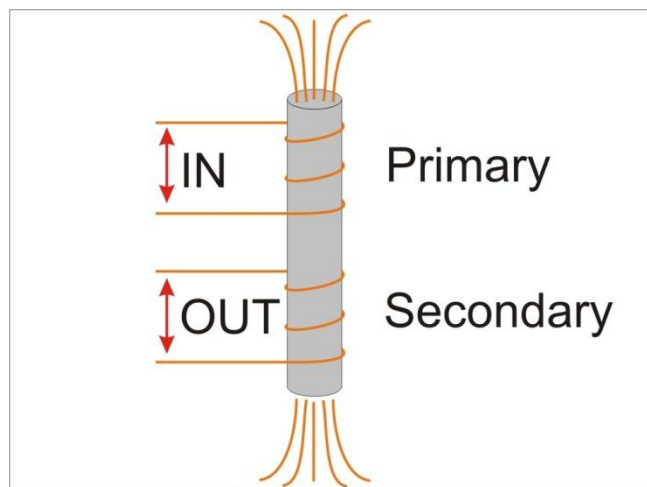


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator Tenaga

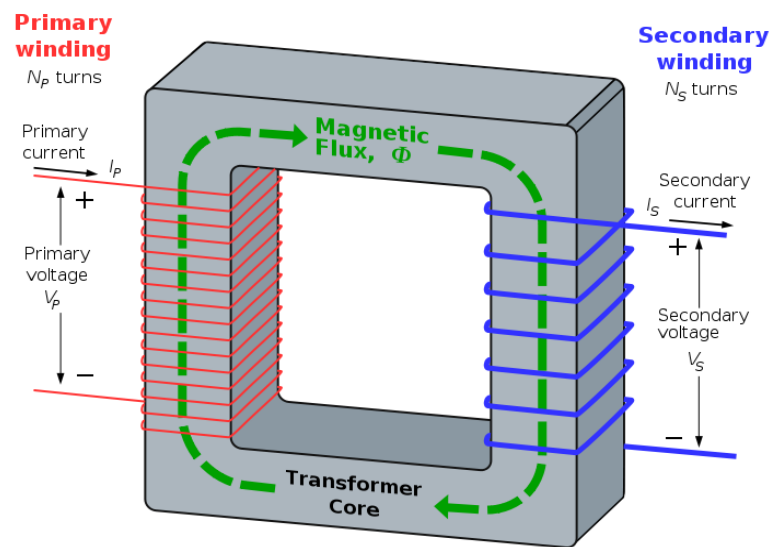
Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial.



Gambar 2.1 Arus bolak balik mengelilingi inti besi

<http://lumbanrajateddy.files.wordpress.com/2012/03/trafo.jpg>

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga didalam inti besi akan mengalir flux magnet dan flux magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Prinsip kerja transformator

(<http://komponenelektronika.biz/wp-content/uploads/2014/03/Fungsi-Transformator.png>)

2.2 Jenis Trafo

Berdasarkan fungsinya transformator tenaga dapat dibedakan menjadi:

1. Trafo pembangkit
2. Trafo gardu induk / penyaluran
3. Trafo distribusi

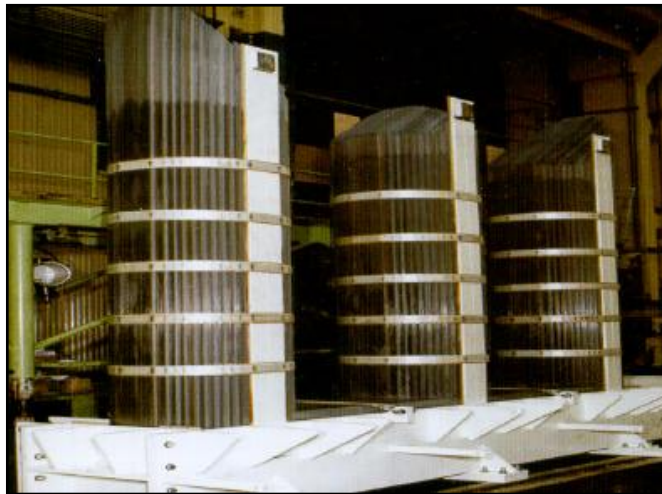
Transformator tenaga untuk fungsi penyaluran dapat dibedakan menjadi:

1. Trafo besar
2. Trafo sedang
3. Trafo kecil

2.3 Bagian – Bagian Transformator dan Fungsinya

2.3.1 Electromagnetic Circuit (Inti besi)

Inti besi digunakan sebagai media jalannya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan-lempengan besi tipis berisolasi yang di susun sedemikian rupa.

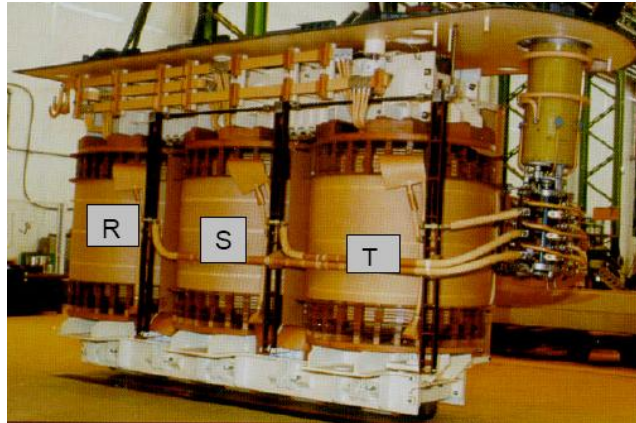


Gambar 2.3 Inti besi

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

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.

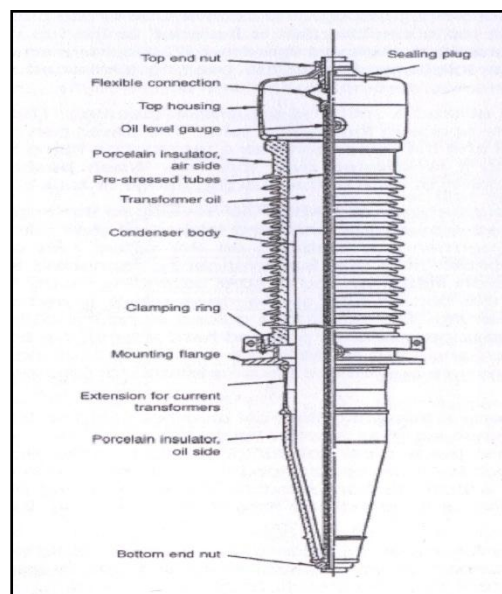


Gambar 2.4 Belitan trafo

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

2.3.3 Bushing

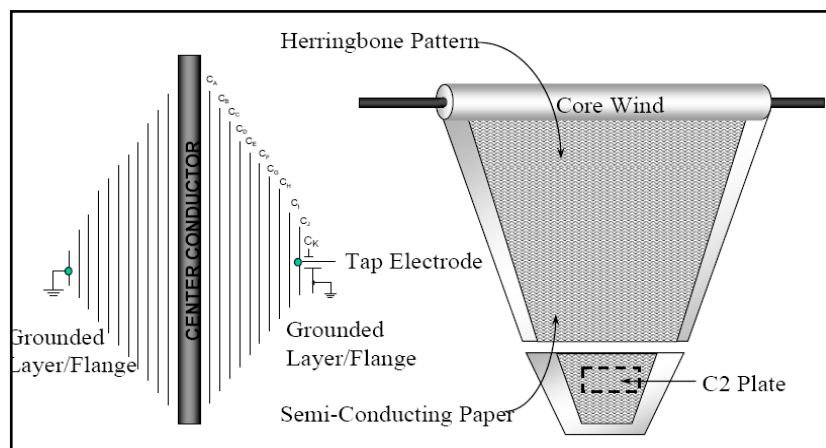
Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body main tank transformator.



Gambar 2.5 Bushing

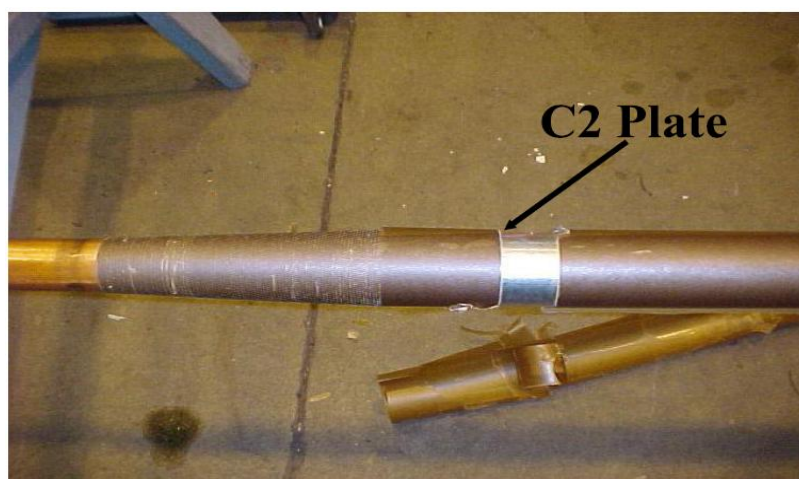
(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari dua jenis yaitu oil impregnated paper dan resin impregnated paper. Pada tipe oil impregnated paper isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi sedangkan pada tipe resin impregnated paper isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.



Gambar 2.6 kertas isolasi pada bushing (*oil impregnated paper bushing*)

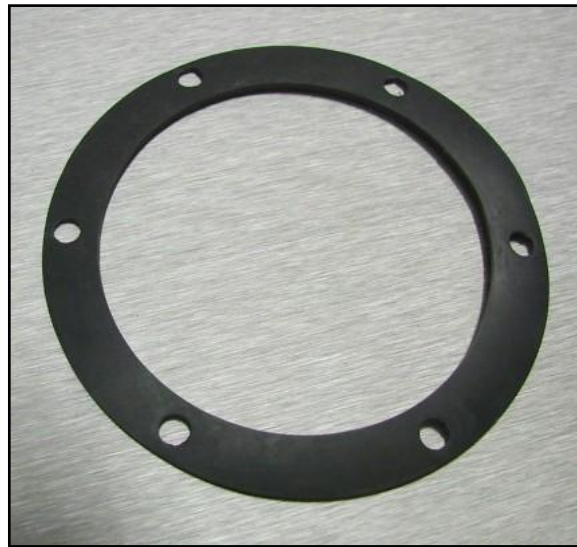
<http://lumbanrajateddy.wordpress.com/2012/03/07/transformator/>



Gambar 2.7 konduktor bushing dilapisi kertas isolasi

Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

Terdapat jenis-jenis konduktor pada bushing yaitu hollow conductor dimana terdapat besi pengikat atau penegang ditengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan flexible lead. Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud bushing dengan konduktor penghantar diluar bushing. Asesoris bushing terdiri dari indikasi minyak, seal atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada bushing terletak dibagian bawah mounting flange.



Gambar 2.8 Gasket / seal antara flange bushing dengan body trafo

<http://lumbanrajaeddy.wordpress.com/2012/03/07/transformator/>



Gambar 2.9 Indikator level minyak bushing

Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

2.3.4 Pendingin

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, losses pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.

Minyak isolasi transformator 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.

Tabel 2.1 Macam macam pendingin pada transformator

No.	Macam Sistem Pendingin *)	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

<http://lumbanrajateddy.wordpress.com/2012/03/07/transformator/>



Gambar 2.10 Radiator

Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

2.3.5 Oil preservation dan expansion (konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, 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 transformator mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.11 Konservator

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

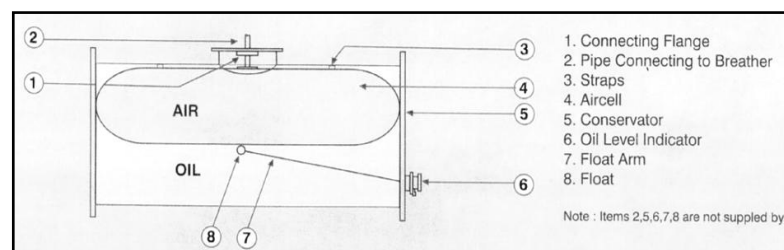
Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara didalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel.



Gambar 2.12 Silica gel

Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

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 didalam tangki konservator.



Gambar 2.13 Konstruksi konservator dengan rubber

bag <http://lumbanrajateddy.wordpress.com/2012/03/07/transformator/>

2.3.6 Dielectric (Minyak isolasi transformator dan isolasi kertas)

1. Minyak Isolasi Trafo

Minyak isolasi pada transformator 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 berbeda.



Gambar 2.14. Minyak Isolasi Transformator

<http://lumbanrajateddy.files.wordpress.com/2012/03/minyak-isolasi-trafo.jpg>

Didalam standar IEC 60422 telah dicantumkan parameter-parameter minyak isolasi dengan batasan-batasan minimum untuk minyak isolasi yang baru dimasukan kedalam peralatan sebelum energize.

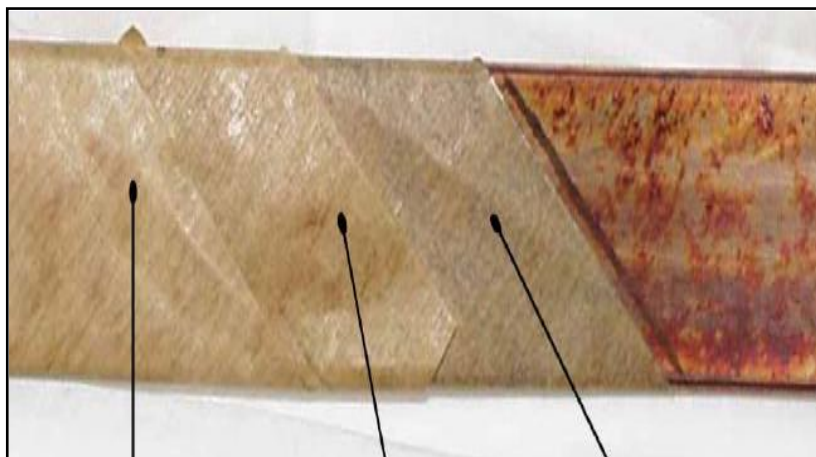
Tabel 2.2 Batasan nilai parameter minyak isolasi yang baru dimasukan kedalam peralatan sebelum dilakukan proses energize

Property	Highest voltage for equipment kV		
	<72,5	72,5 to 170	>170
Appearance	Clear, free from sediment and suspended matter		
Colour (on scale given in ISO 2049)	Max. 2,0	Max. 2,0	Max. 2,0
Breakdown voltage (kV)	>55	>60	>60
Water content (mg/kg) ^a	20 ^b	<10	<10
Acidity (mg KOH/g)	Max. 0,03	Max. 0,03	Max. 0,03
Dielectric dissipation factor at 90°C and 40 Hz to 60 Hz ^c	Max. 0,015	Max. 0,015	Max. 0,010
Resistivity at 90 °C (GΩm)	Min. 60	Min. 60	Min. 60
Oxidation stability	As specified in IEC 60296		
Interfacial tension (mN/m)	Min. 35	Min. 35	Min. 35
Total PCB content (mg/kg)	Not detectable (< 2 total)		
Particles	-	-	See Table B.1 ^d

<http://lumbanrajateddy.files.wordpress.com/2012/03/minyak-isolasi-trafo.jpg>

2. Kertas isolasi trafo

Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis.



Gambar 2.15 Tembaga yang dilapisi kertas isolasi

<http://lumbanrajateddy.files.wordpress.com/2012/03/minyak-isolasi-trafo.jpg>

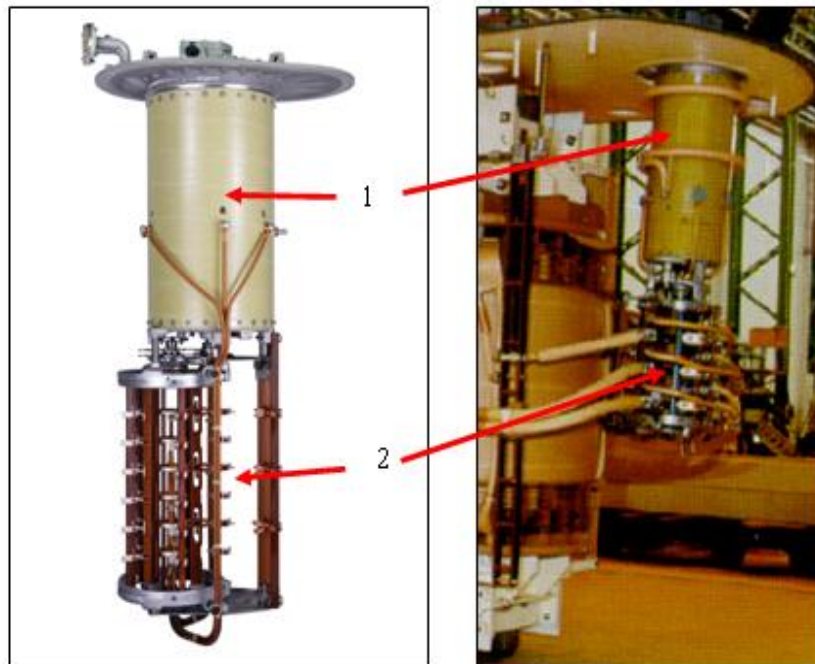
2.3.7 Tap changer

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. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer. Proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat trafo sedang berbeban (On load tap changer) atau saat trafo tidak berbeban (Off load tap changer).

Tap changer terdiri dari :

1. Selector Switch
2. Diverter Switch
3. Tahanan transisi

Dikarenakan aktifitas tap changer lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan tap changer dipisah. Selector switch merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal terminal untuk menentukan posisi tap atau ratio 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.



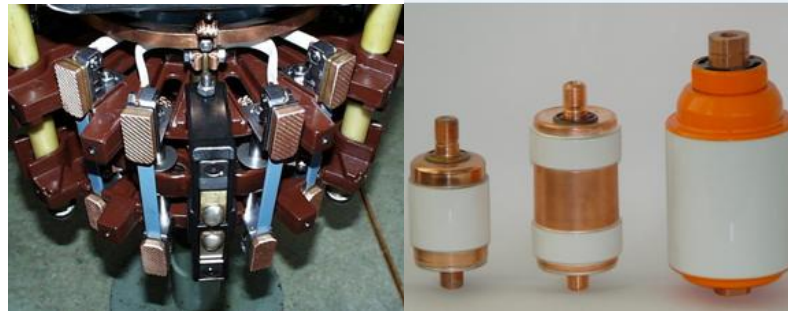
Keterangan :

1. Kompartemen Diverter Switch
2. Selektor Switch

Gambar 2.16 OLTC pada transformator

<http://lumbanrajateddy.files.wordpress.com/2012/03/minyak-isolasi-trafo.jpg>

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 arcing 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 arcing pada waktu switching akan dilokalisasi dan tidak merusak minyak.



a.

b.

Keterangan:

- a. media pemadam arcing menggunakan minyak
- b. media pemadam arcing menggunakan kondisi vaccum

Gambar 2.17 kontak switching pada diverter switch

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

2.3.8 NGR (neutral grounding resistant)

Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan neutral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke ground/tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah.

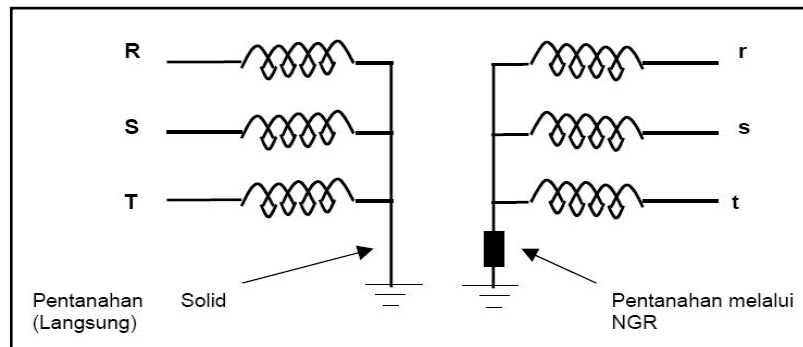
NGR memiliki dua jenis, yaitu:

1. Liquid

Resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung didalam bejana dan ditambahkan garam (NaCl) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

1. Solid

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Copper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanannya.



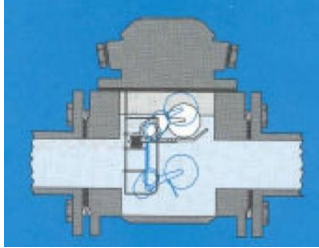
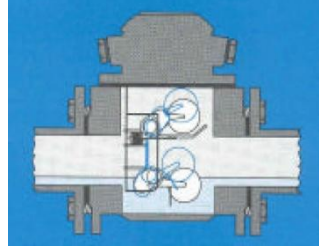
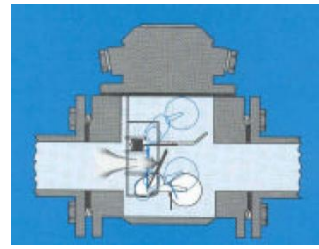
Gambar 2.18 Neutral grounding resistance (NGR)

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

2.3.9 Proteksi transformator

1. Rele bucholz

Pada saat transformator mengalami gangguan internal yang berdampak kepada suhu yang sangat tinggi dan pergerakan mekanis didalam transformator, maka akan timbul tekanan aliran minyak yang besar dan pembentukan gelembung gas yang mudah terbakar. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke konservator melalui pipa penghubung dan rele bucholz. Tekanan minyak maupun gelembung gas ini akan dideteksi oleh rele bucholz sebagai indikasi telah terjadinya gangguan internal.

	Rele Bucholz
	Rele bucholz mengindikasikan Alarm saat gas yang terbentuk terjebak di rongga rele bucholz dengan mengaktifkan satu pelampung
	Rele bucholz mengindikasikan Trip saat gas yang terbentuk terjebak di rongga rele bucholz dengan mengaktifkan kedua pelampung
	Rele bucholz mengindikasikan Trip saat muncul tekanan minyak yang tinggi ke arah konservator

Gambar 2.19 Rele bucholz

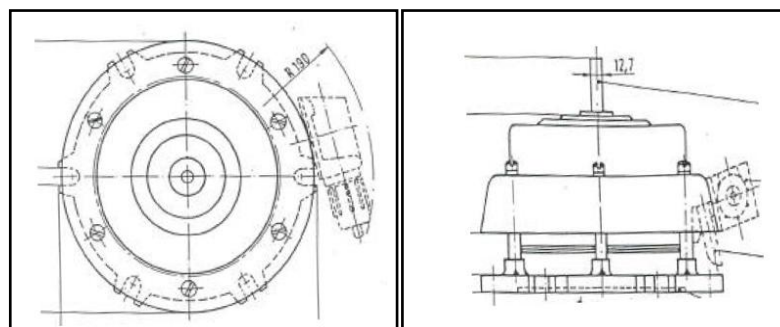
Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

2. Rele jansen

Sama halnya seperti rele Bucholz yang memanfaatkan tekanan minyak dan gas yang terbentuk sebagai indikasi adanya ketidaknormalan / gangguan, hanya saja rele ini digunakan untuk memproteksi kompartemen OLTC. Rele ini juga dipasang pada pipa saluran yang menghubungkan kompartemen OLTC dengan konservator.

3. Sudden pressure

Rele sudden pressure ini didesain sebagai titik terlemah saat tekanan didalam trafo muncul akibat gangguan. Dengan menyediakan titik terlemah maka tekanan akan tersalurkan melalui sudden pressure dan tidak akan merusak bagian lainnya pada maintank.

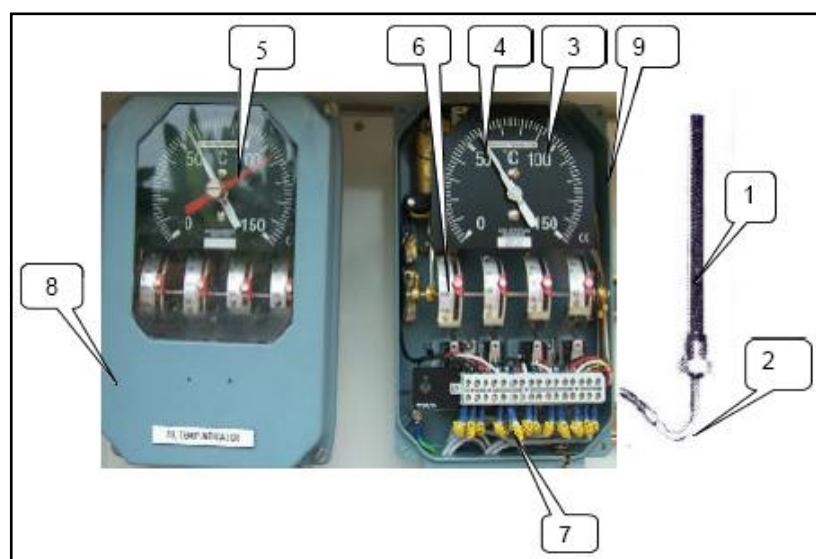


Gambar 2.20 Rele sudden pressure

Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

4. Rele thermal

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, losses pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Untuk mengetahui suhu operasi dan indikasi ketidaknormalan suhu operasi pada transformator digunakan rele thermal. Rele thermal ini terdiri dari sensor suhu berupa thermocouple, pipa kapiler dan meter penunjukan.



Keterangan :

1. Sensor Suhu
2. Pipa Kapiler
3. Skala Meter
4. Jarum Putih (penunjukan suhu setiap saat)
5. Jarum merah (penunjukan suhu max tercapai)
6. Piringan Cakram
7. Terminasi Kabel
8. Tutup Thermometer
9. Packing / Gasket

Gambar 2.21 Bagian-bagian dari rele thermal

Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

2.4 Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi antara belitan dengan ground atau antara dua belitan. Metoda yang umum dilakukan adalah dengan memberikan tegangan dc dan merepresentasikan kondisi isolasi dengan satuan megohm. Tahanan isolasi yang diukur merupakan fungsi dari arus bocor yang menembus melewati isolasi atau melalui jalur bocor pada permukaan eksternal. Pengujian tahanan isolasi dapat dipengaruhi suhu, kelembaban dan jalur bocor pada permukaan eksternal seperti kotoran pada bushing atau isolator. Megaohm meter biasanya memiliki kapasitas pengujian 500, 1000 atau 2500 V dc.



Gambar 2.22 Alat ukur MegaOhm meter

Sumber : PT.PLN(Persero) GI Talang Ratu Palembang

2.4.1 Test index polarisasi

Tujuan dari pengujian index polarisasi adalah untuk memastikan peralatan tersebut layak dioperasikan atau bahkan untuk dilakukan overvoltage test. Index polarisasi merupakan rasio tahanan isolasi saat menit ke 10 dengan menit ke 1 dengan tegangan yang konstant. Arus total yang muncul saat memberikan tegangan dc steady state terdiri dari:

1. Charging current karena sifat kapasitansi dari isolasi yang diukur. Arus ini turun dari nilai maksimum ke nol sangat cepat.
2. Absorption current karena molecular charge shifting pada isolasi. Arus transien ini menghilang sampai nol lebih lambat

3. leakage current merupakan arus konduksi nyata pada isolasi. Leakage current bervariasi tergantung tegangan uji. Juga termasuk arus bocor dikarenakan kebocoran pada permukaan akibat kontaminasi.

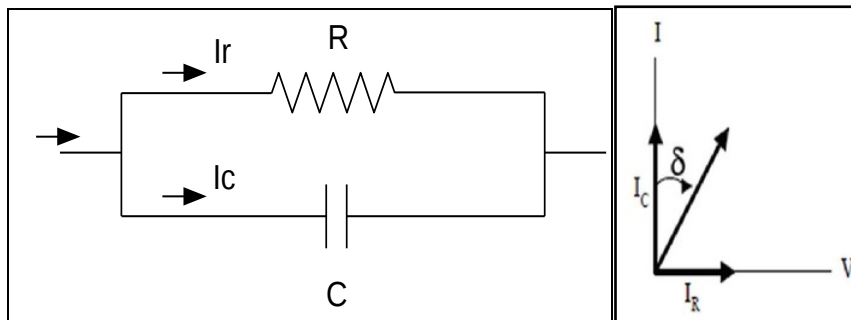
Leakage current meningkat lebih cepat dengan kehadiran moisture dibanding absorption current, pembacaan megaohm tidak akan meningkat seiring waktu layaknya antara kecepatan pada isolasi buruk dengan cepatnya isolasi yang bagus. Hal ini berdampak pada rendahnya index polarisasi. Keuntungan dari index ratio adalah dengan banyaknya hal yang dapat mempengaruhi pembacaan megaohm seperti suhu dan humidity baik pada 1 menit maupun 10 menit. Index polarisasi merupakan perbandingan antara nilai tahanan isolasi pada menit ke 10 dengan menit ke 1.

2.4.2 Pengukuran tangen delta

Tan delta atau sering disebut Loss Angle atau pengujian faktor disipasi adalah metoda diagnostik secara elektikal untuk mengetahui kondisi isolasi. Jika isolasi bebas dari defect, maka isolasi tersebut akan bersifat kapasitif sempurna seperti halnya sebuah isolator yang berada diantara dua elektroda pada sebuah kapasitor. Pada kapasitor sempurna, tegangan dan arus fasa bergeser 90° dan arus yang melewati isolasi merupakan kapasitif. Jika ada kontaminasi pada isolasi contohnya moisture, maka nilai tahanan dari isolasi berkurang dan berdampak kepada tingginya arus resistif yang melewati isolasi tersebut. Isolasi tersebut tidak lagi merupakan kapasitor sempurna. Tegangan dan arus tidak lagi bergeser 90° tapi akan bergeser kurang dari 90° . Besarnya selisih pergeseran dari 90° merepresentasikan tingkat kontaminasi pada isolasi.

Dibawah merupakan gambar rangkaian ekivalen dari sebuah isolasi dan diagram phasor arus kapasitansi dan arus resistif dari sebuah isolasi. Dengan mengukur nilai IR / IC dapat diperkirakan kualitas dari isolasi. Pada isolasi yang sempurna, sudut akan mendekati nol. Meningkatnya sudut mengindikasikan

meningkatnya arus resistif yang melewati isolasi yang berarti kontaminasi. Semakin besar sudut semakin buruk kondisi isolasi



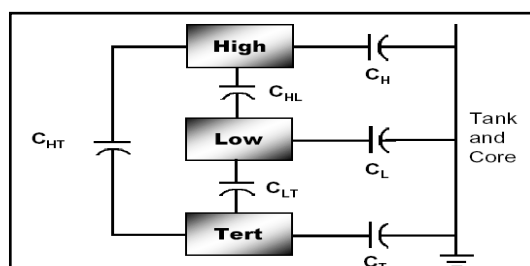
Gambar 2.23 Rangkaian ekivalen isolasi dan diagram fasor arus pengujian tangen delta

<http://ilmulistrik.com/wp-content/uploads/2013/09/03-Sep-13-004708.jpg>

1. Pengujian tangen delta pada isolasi trafo

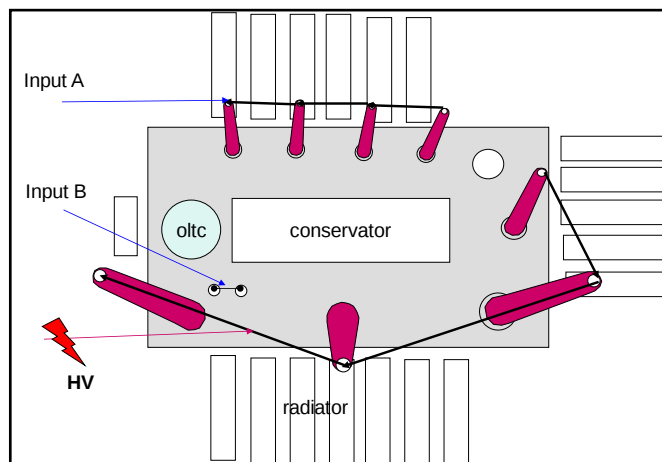
Sistem isolasi trafo secara garis besar terdiri dari isolasi antara belitan dengan ground dan isolasi antara dua belitan.

1. Primer – Ground
2. Sekunder – Ground
3. Tertier – Ground
4. Primer – Sekunder
5. Sekunder – Tertier
6. Primer – Tertier



Gambar 2.24 Rangkaian ekivalen isolasi trafo

<http://ilmulistrik.com/wp-content/uploads/2013/09/03-Sep-13-010105.jpg>

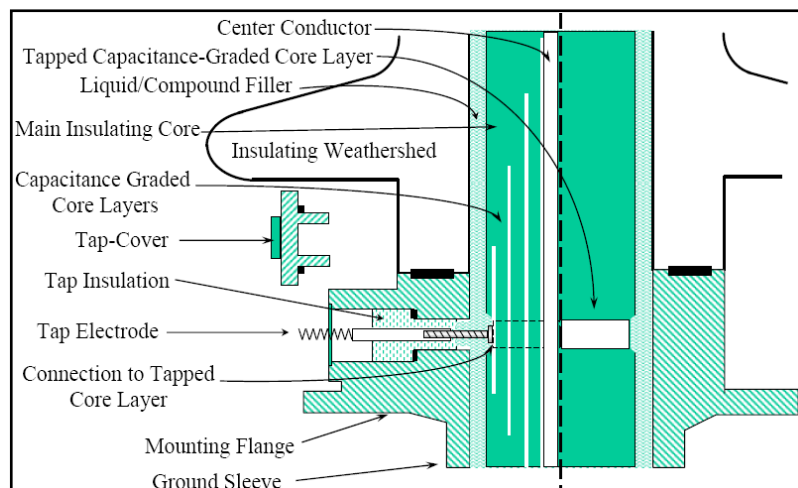


Gambar 2.25 Skema rangkaian pengujian tan delta trafo

<http://ilmulistrik.com/wp-content/uploads/2013/09/03-Sep-13-010305.jpg>

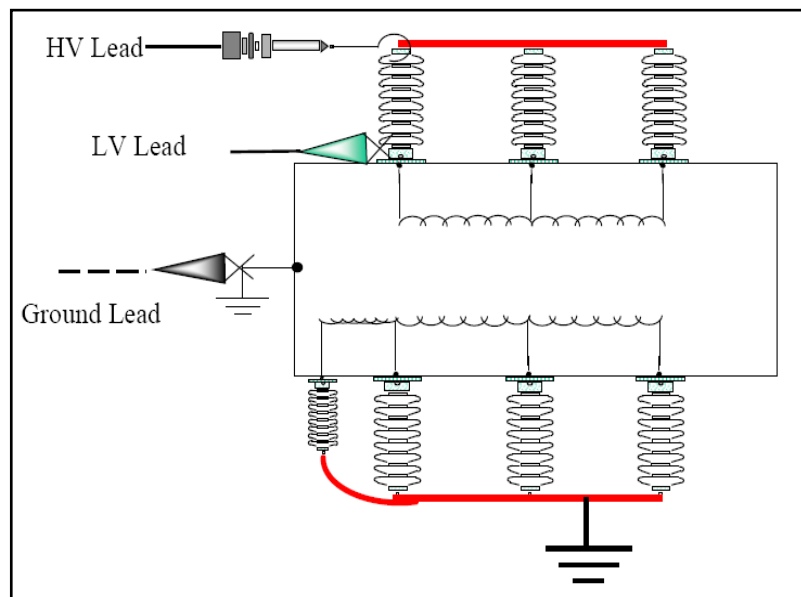
2. Pengujian tangen delta pada bushing

Pengujian tangen delta pada bushing bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi pada C1 (isolasi antara konduktor dengan center tap) yang menggambarkan kondisi isolasi kertas bushing, C2 (isolasi antara center tap dengan Ground) yang menggambarkan kondisi isolasi minyak bushing. Pengujian *hot collar* dilakukan untuk mengetahui kondisi keramik.

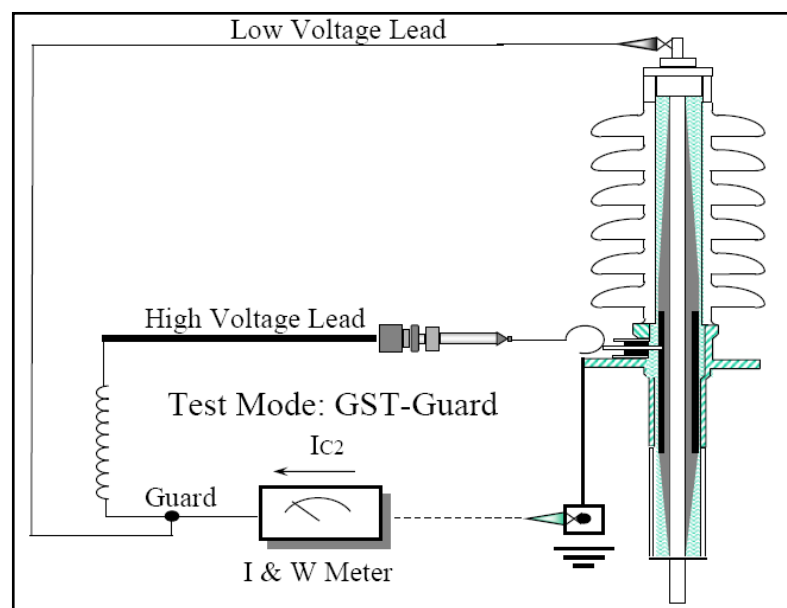


Gambar 2.26 Struktur bushing

<http://ilmulistrik.com/pengukuran-tangen-delta-bushing-trafo-tenaga.html>



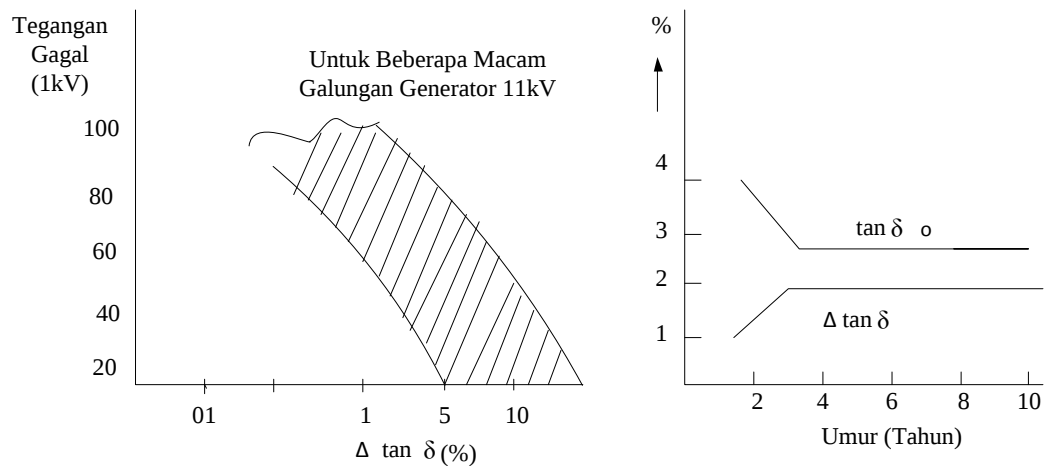
Gambar 2.27 Diagram pengujian tangen delta C1 pada bushing
<http://ilmulistrik.com/pengukuran-tangen-delta-bushing-trafo-tenaga.html>



Gambar 2.28 Diagram pengujian tangen delta C2 pada bushing
<http://ilmulistrik.com/pengukuran-tangen-delta-bushing-trafo-tenaga.html>

2.4.3 Pengukuran tahanan isi dan tahanan permukaan

Apabila tegangan diterapkan pada sebuah bahan isolasi, maka sebagian dari arusnya mengalir melalui tubuh (volume) dan sebagian lagi melalui permukaan bahan tersebut.



Gambar 2.29 Pengukuran Tahanan Isolasi

Sumber : Artono Arismunandar, hal: 63

2.4.4 Faktor yang mempengaruhi tahanan isolasi

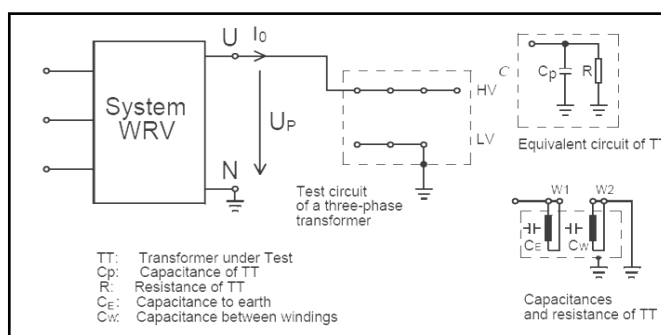
Faktor-faktor yang mempengaruhi pengukuran tahanan isolasi antara lain adalah arus absorpsi, suhu dan tegangan yang diterapkan. Dalam pengukuran tahanan perlu diperhatikan lamanya tegangan yang diterapkan dan bahwa sebelum pengukuran dimulai, bahan yang hendak diuji dibebaskan dari muatan yang melekat padanya (waktu pelepasan biasanya 5-10 menit). Selanjutnya untuk menilai kondisi suatu bahan isolasi dipakai suatu indeks polarisasi.

$$\alpha p = \frac{R_{10 \text{ menit}}}{R_{1 \text{ menit}}} = \frac{I_{1 \text{ menit}}}{I_{10 \text{ menit}}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana R menyatakan tahanan isolasi, dan I menyatakan jumlah arus yang mengalir, semuanya diukur sesudah 1 atau 10 menit. Bilan $\alpha p = 1$, maka dalam bahan isolasi terdapat kebocoran ini berarti bahwa bahan tersebut tidak baik.

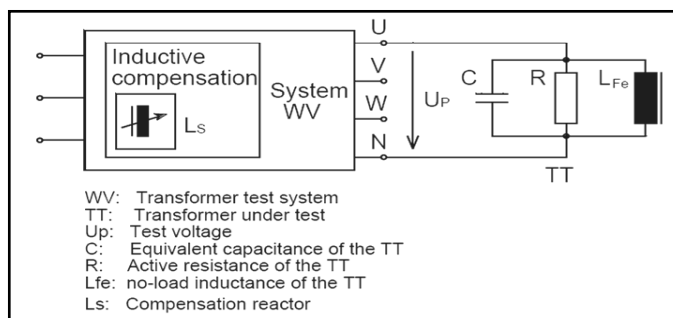
2.5 HV Test

Pengujian HV test dilakukan dengan tujuan untuk meyakinkan bahwa ketahanan isolasi trafo sanggup menahan tegangan. Isolasi yang dimaksud adalah isolasi antara bagian aktif (belitan) terhadap ground, koneksi-koneksi terhadap ground dan antara belitan satu dengan yang lainnya. Secara umum ada dua jenis pengujian HV test, *Applied voltage test* dan *induce voltage test*. *Applied voltage test* berarti menghubungkan objek uji langsung dengan sumber tegangan uji.



Gambar 2.30 Prinsip dan rangkaian pengujian Applied voltage test
 (<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

Induce voltage test berarti objek uji akan mendapatkan tegangan uji melalui proses induksi.



Gambar 2.31 Rangkaian pengujian Induce Voltage test
 (<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

Berdasarkan standar IEC, pelaksanaan pengujian HV test dapat dilengkapi dengan pengujian Partial discharge (PD) untuk mengetahui kondisi isolasi trafo pada saat mendapat stress tegangan

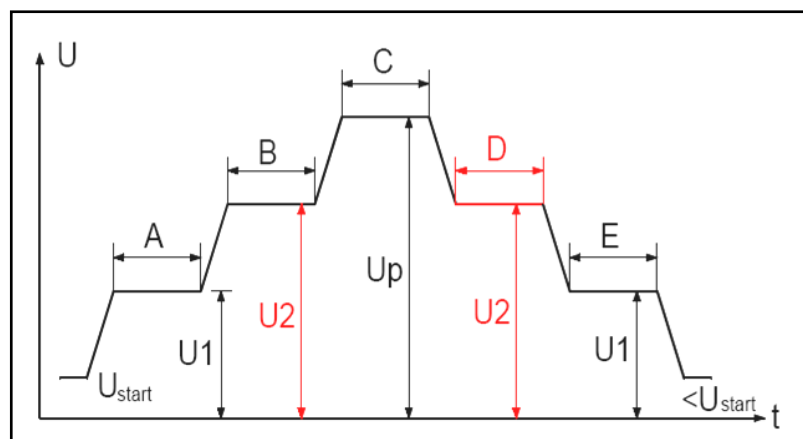
Table 2.3 Rekomendasi pengujian PD pada pelaksanaan induce test

Category of winding	Highest voltage for equipment U_m (kV)	Three-phase transformer			Single-phase transformer	
		ACLD	ACSD		ACLD	ACSD
			Single-phase Phase-to-earth test	Three-phase Phase to phase test		Single-phase Phase to earth test
Uniform insulation	< 72.5			o		o
	$72.5 < U_m < 170$			PD		PD
	$170 < U_m < 300$	PD			PD	
	> 300	PD			PD	
Non-uniform insulation	$72.5 < U_m < 170$		PD	PD		PD
	$170 < U_m < 300$	PD			PD	
	> 300	PD			PD	

Symbols: o Routine test without PD measurement
PD Routine test with PD measurement

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

Besarnya tegangan uji dan lamanya proses pengujian telah diatur pada standar IEC 60076-3



Gambar 2.32 Besar dan durasi waktu pelaksanaan induce test

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

Dimana:

$$A = B = E \rightarrow 5 \text{ menit}$$

$$C = 120 * f_r / f_p \text{ (sec)} \geq 15 \text{ detik}$$

$$U_1 = 1.1 U_m / \sqrt{3}$$

$$U_{\text{start}} < 1/3 * U_2$$

ACSD :

$$D \geq 5 \text{ Menit}$$

$$U_2 = 1.3 U_m \text{ (phase to phase)} = 1.3 U_m / \sqrt{3} \text{ (phase to earth)}$$

$$U_p \text{ (Lihat Annex D, tabel D.1 pada IEC 60076 – 3)}$$

ACLD:

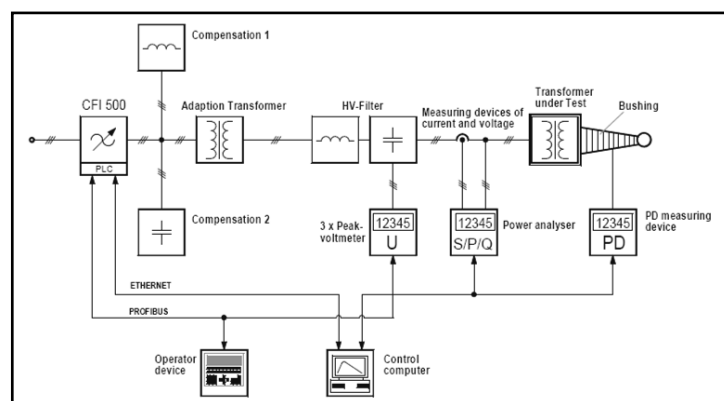
$$D = 60 \text{ menit untuk } U_m > 300 \text{ kV}$$

$$D = 30 \text{ menit untuk } U_m < 300 \text{ kV}$$

$$U_2 = 1.5 U_m / \sqrt{3} \text{ (phase to earth)}$$

$$U_p = 1.7 U_m / \sqrt{3} \text{ (phase to earth)}$$

Sebuah sistem alat uji HV test terdiri dari beberapa bagian yang terintegrasi.



Gambar 2.33 Sistem Alat Uji HV test

(<http://erwansyah19.blogspot.com/2013/09/trafo-tenaga-2.html>)

2.5.1 Pengujian OLTC

a. Continuity test

OLTC adalah bagian trafo yang berfungsi sebagai mekanisme tapping dari perubahan ratio belitan trafo. Nilai tahanan belitan primer pada saat terjadi perubahan ratio tidak boleh terbuka (open circuit). Pengujian ini memanfaatkan Ohmmeter yang dipasang serial dengan belitan primer trafo. Setiap perubahan tap/ratio, nilai tahanan belitan diukur.

b. Dynamic resistance

OLTC merupakan satu satunya bagian trafo yang bergerak secara mekanik. Pada umumnya OLTC dibagi menjadi dua bagian utama yaitu diverter switch dan selector switch. Fungsi daripada diverter switch adalah sebagai kontak bantu pada saat perubahan selektor switch. Karena terjadi pergerakan mekanik pada OLTC terutama pada kontak diverter switch maupun selector switch, maka pada suatu saat tertentu kontak kontak tersebut akan mengalami aus, sedangkan komponen lainnya yang terkait dengan kontak akan mengalami kelelahan bahan/fatigue. Apabila keausan kontak terjadi maka luas permukaan kontak untuk mengalirkan arus tidak terpenuhi sehingga akan terjadi panas dan dapat juga terjadi arcing pada saat perpindahan kontak. Untuk mengetahui ketidaknormalan kerja pada OLTC khususnya yang berkaitan dengan kontak diverter maupun selektor switch maka dilakukan pengukuran dynamic resistance.

c. Pengukuran tahanan transisi dan ketebalan kontak diverter switch

Transisi resistor berfungsi untuk meredam arus yang mengalir melalui OLTC agar pada saat perpindahan selector switch tidak terjadi arcing. Untuk memastikan resistor masih tersambung dan nilai tahanannya masih memenuhi syarat, harus dilakukan pengukuran tahanan transisi. Akibat dari kerja mekanik antara kontak gerak dan kontak diam pada diverter, kontak dapat mengalami keausan. Untuk menjaga kinerja kontak tetap baik pabrikan telah menentukan batasan dari ketebalan kontak tersebut.

2.6 Pengukuran *Insulation Resistance*(IR)

Insulation Resistance Test / Megger Test merupakan pengujian yang paling mudah dan sederhana untuk menentukan kemampuan isolasi. Megger Test ini dilakukan pada Stator atau Belitan Trafo, selain itu juga dapat diterapkan pada semua mesin atau lilitan kecuali rotor motor sangkar tupai karena tidak mempunyai isolasi untuk dites. Peralatan yang digunakan untuk pengujian ini disebut Mega Ohm Meter atau Megger Tester atau Megger saja.

Pengukuran *Insulation Resistance* berdasarkan standar IEEE 43-2000 mengenai Index Polarisasi dan resistansi isolasi berdasarkan table berikut ini :

Tabel 2.4 Tegangan Test Untuk Tiap-tiap Tegangan kerja

TEGANGAN KERJA MESIN YANG DIUKUR	TEGANGAN TEST
Mesin dengan tegangan kerja : 240 – 2400 Volt	500 Volt DC
Mesin dengan Tegangan kerja : 3000 – 4800 Volt	2500 Volt DC
Mesin dengan Tegangan kerja : 5200 – 13800 Volt	2500 atau 5000 Volt DC
Semua mesin DC	500 Volt DC
Semua winding rotor dengan rated tegangan > 100 Volt	500 , max. 1000 Volt DC

Serta nilai tahanan isolasi antara penghantar satu dan penghantar yang lain maupun antara penghantar dan ground, nilai resistansi minimumnya adalah sebesar tegangan operasi dalam KV ditambah 1 kemudian dikalikan 100 MΩ yang dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$R_{\min} = (V_{\text{rms}} + 1) \times 100 \text{ M}\Omega \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

$R_{\min}$ = Resistansi minimum lilitan (MΩ)

V_{rms} = Tegangan Kerja dalam KV (Line-to-Line).

Indeks yang biasa digunakan dalam menunjukan pembacaan megger dikenal sebagai *dielectric absorption*, yang diperoleh dengan pembacaan yang

berkelanjutan untuk periode waktu yang lebih lama. Jika pengujian berkelanjutan untuk periode selama 10 menit, megger akan mempunyai kemampuan untuk mempolarisasikan atau mencharger kapasitansi tinggi ke isolasi stator, dan pembacaan resistansi akan meningkat jika isolasi bersih dan kering. Rasio pembacaan 10 menit dibandingkan pembacaan 1 menit dikenal sebagai *Polarization Index* (PI) atau Indeks Polarisasi (IP).

Jika nilai Indeks Polarisasi (IP) terlalu rendah ini mengindikasikan bahwa lilitan mungkin terkontaminasi oli, kotoran,serangga, atau terbasahi oleh air (lembab). Besarnya Indeks Polarisasi (IP) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PI = \frac{\text{Pengukuran } R_{is} \text{ 10 menit}}{\text{Pengukuran } R_{is} \text{ 1 menit}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Nilai parameter Indeks Polarisasi (IP) menurut standar IEEE 43-2000 tentang Indeks Polariotas dan Resistansi Isolasi adalah sebagai berikut :

Lower than 1.0	= Dangerous
1.0 to 1.4	= Poor
1.5 to 1.9	= Questionable
2.0 to 2.9	= Fair
3.0 to 4.0	= Good
Over than 4.0	= Excellent

Jika nilai PI kurang dari 2.0 maka kemungkinan adanya kontaminasi pada isolasi trafo, misalnya isolasi winding terlalu banyak menyerap uap air (lembab) atau terdapat penumpukan kotoran konduktive, sehingga perlu dilakukan pemeliharaan yaitu membersihkan winding trafo dari kontaminasi kotoran atau dengan cara mengeringkan winding trafo.

Tabel 2.5 Nilai minimum PI berdasarkan kelas isolasi

Thermal Class Rating	Minimum PI Value
Class A	1.5
Class B	2.0
Class F	2.0
Class H	2.0

2.7 Pengujian Tahanan Isolasi

Salah satu jenis pemeliharaan yang dilakukan dalam kegiatan *Combustion Inspection*(CI) yaitu pemeliharaan periodik yang dilakukan setiap 8.000 jam trafo beroperasi adalah pemeriksaan stator atau belitan trafo, kegiatan yang dilakukan dapat berupa pengujian tahanan isolasi (*Insulation Resistance Test*) dan *Polarization Index Test*.

Nilai *Insulation Resistance*(IR) stator diukur pada suhu ruangan 30,5°C, pengukuran dilakukan dengan cara melepas hubungan way (Y) trafo terhadap ground terlebih dahulu. Pengukuran dilakukan pada tiap phasa yaitu phasa R, S, dan T masing-masing di ukur langsung terhadap ground. Sehingga megger yang digunakan yaitu megger phasa terhadap ground. Jenis Megger yang digunakan adalah Megger jenis analog dengan tegangan 5000 Volt, pemilihan megger dengan tegangan 5000 Volt sesuai dengan besarnya tegangan kerja Trafo dan berdasarkan standar IEEE.

Pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi adanya kelemahan isolasi tahanan. Pengujian isolasi secara rutin dapat dilakukan dengan menggunakan Megger yang pembacaannya langsung dalam megaohm. Tahanan isolasi adalah ukuran kebocoran arus yang melalui isolasi. Tahanan berubah-ubah karena pengaruh temperatur dan lamanya tegangan yang diterapkan pada lilitan tersebut, oleh karena itu faktor-faktor tersebut harus dicatat pada waktu pengujian. Nilai tegangan minimum pengujian adalah satu kilovolt sebanding dengan satu (1) megaohm nilai resistansi pada lilitan stator trafo, nilai tahanan yang rendah dapat menunjukkan lilitan dalam keadaan kotor atau basah.

Moisture dapat juga terdapat pada permukaan isolasi, atau pada lilitan atau pada keduanya. Oleh sebab itu, pengujian dengan megger sebelum dan sesudah mesin dibersihkan harus dilakukan. Jika nilai tahanan tetap rendah dan lilitan relatif bersih, ada kemungkinan adanya moisture pada lilitan, dan lilitan harus dikeringkan sekurang-kurangnya sampai diperoleh tahanan minimum yang dianjurkan.

Nilai *Insulation Resistance* lilitan belitan trafo masing-masing Phasa dihitung dengan rumus:

$$IR = \frac{\sum IR(M\Omega)}{n} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

IR = Nilai *Insulation Resistance* rata-rata

IR = *Insulation Resistance* hasil pengukuran

n = Banyak jumlah data

Kemungkinan besarnya nilai arus bocor yang terjadi pada masing-masing phasa adalah sebesar :

$$I_{is} = \frac{V(LL)}{IR_{average}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

I_{is} = Nilai arus bocor

V(LL) = Tegangan *line to line*

IR = nilai *insulation resistance* rata-rata