



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

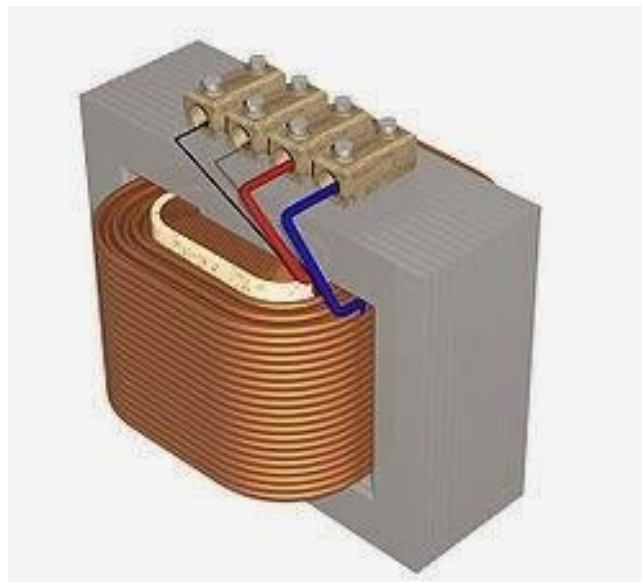
Transformator atau lebih dikenal dengan nama “*transformer*” atau “*trafo*” sejatinya adalah suatu peralatan listrik yang mengubah daya listrik AC pada satu level tegangan yang satu ke level tegangan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik tanpa merubah frekuensinya. Transformator biasa digunakan untuk mentransformasikan tegangan (menaikkan atau menurunkan tegangan AC). Selain itu, transformator juga dapat digunakan untuk sampling tegangan, sampling arus, dan juga mentransformasi impedansi. Transformator terdiri dari dua atau lebih kumparan yang membungkus inti besi feromagnetik. Kumparan-kumparan tersebut biasanya satu sama lain tidak dihubungkan secara langsung. Kumparan yang satu dihubungkan dengan sumber listrik AC (kumparan primer) dan kumparan yang lain mensuplai listrik ke beban (kumparan sekunder). Bila terdapat lebih dari dua kumparan maka kumparan tersebut akan disebut sebagai kumparan tersier, kuarter, dst.

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan, sehingga fluks magnet yang timbulkan akan mengalir ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*). Bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya beban) maka akan mengalir arus pada kumparan sekunder. Jika efisiensi sempurna (100%), semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.



Bagian utama transformator adalah dua buah kumparan yang keduanya dililitkan pada sebuah inti besi lunak. Kedua kumparan tersebut memiliki jumlah lilitan yang berbeda. Kumparan yang dihubungkan dengan sumber tegangan AC disebut kumparan primer, sedangkan kumparan yang lain disebut kumparan sekunder.

Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC (dialiri arus listrik AC), besi lunak akan menjadi elektromagnet. Karena arus yang mengalir tersebut adalah arus AC, garis-garis gaya elektromagnet selalu berubah-ubah. Oleh karena itu, garis-garis gaya yang dilingkupi oleh kumparan sekunder juga berubah-ubah. Perubahan garis gaya itu menimbulkan GGL induksi pada kumparan sekunder. Hal itu menyebabkan pada kumparan sekunder mengalir arus AC (arus induksi).¹



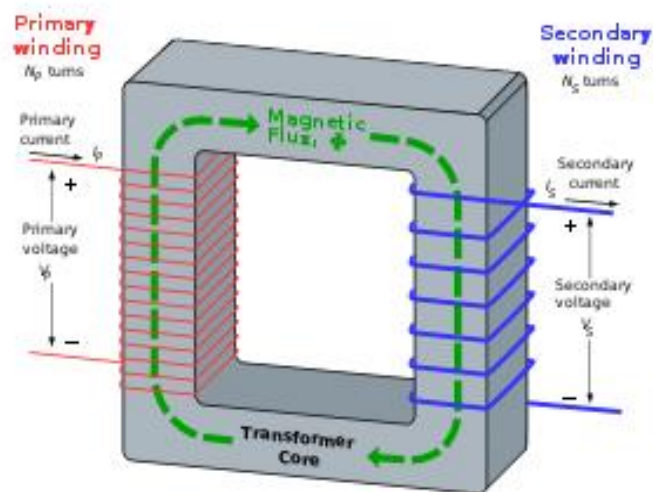
Gambar 2.1 Transformator

¹ Teknik Pengendalian Instrumen Logam, Jilid 2, Hal 214

2.2 Prinsip Kerja 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 berlaminasi.²

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini menginduksikan GGL dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna, semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.³



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Transformator

² Transmisi Tenaga Listrik, Abdul Kadir, Penerbit Universitas Indonesia, Hal 43

³ Teknik Pengendalian Instrumen Logam, Jilid 2, Hal 215

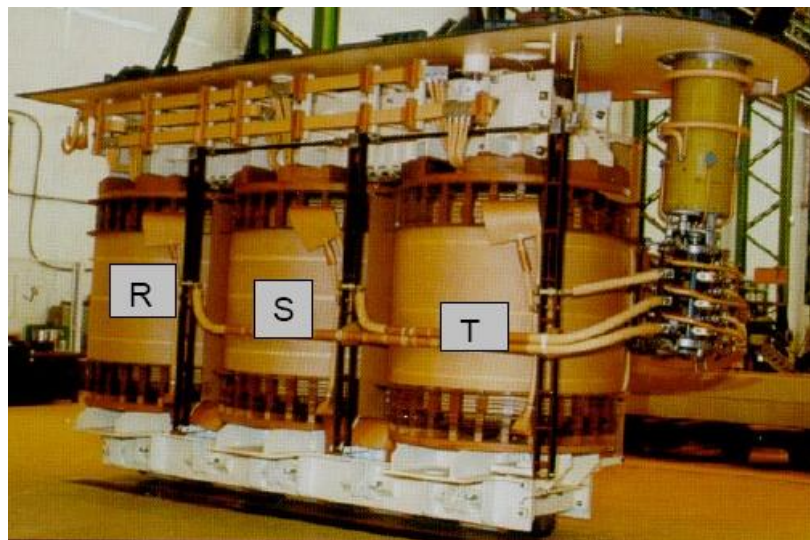


2.3 Komponen Transformator

Komponen transformator terdiri dari dua bagian, yaitu peralatan utama dan peralatan bantu. Peralatan utama transformator terdiri dari:

2.3.1 Kumbaran trafo

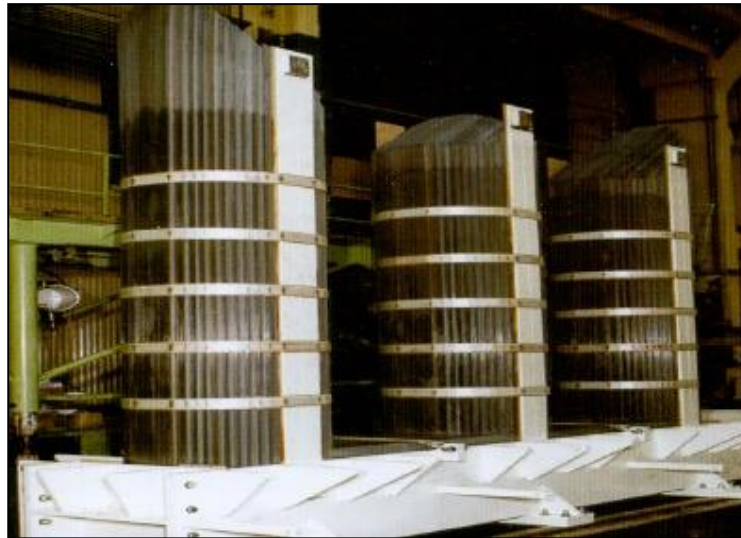
Kumbaran trafo terdiri dari beberapa lilitan kawat tembaga yang dilapisi dengan bahan isolasi (karton, pertinax, dll) untuk mengisolasi baik terhadap inti besi maupun kumbaran lain. Untuk trafo dengan daya besar lilitan dimasukkan dalam minyak trafo sebagai media pendingin. Banyaknya lilitan akan menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder. Kadang kala transformator memiliki kumbaran tertier. Kumbaran tertier diperlukan untuk memperoleh tegangan tertier atau untuk kebutuhan lain. Untuk kedua keperluan tersebut, kumbaran tertier selalu dihubungkan delta. Kumbaran tertier sering juga untuk dipergunakan penyambungan peralatan bantu seperti kondensator synchrone, kapasitor shunt dan reactor shunt.



Gambar 2.3 Kumbaran Transformator

2.3.2 Inti besi

Dibuat dari lempengan-lempengan feromagnetik tipis yang berguna untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi ini juga diberi isolasi untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy “Eddy Current”.



Gambar 2.4 Inti Besi

2.3.3 Minyak trafo

Berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Minyak trafo mempunyai sifat media pemindah panas (disirkulasi) dan mempunyai daya tegangan tembus tinggi. Pada power transformator, terutama yang berkapasitas besar, kumparan-kumparan dan inti besi transformator direndam dalam minyak-trafo. Syarat suatu cairan bisa dijadikan sebagai minyak trafo adalah sebagai berikut:

1. Ketahanan isolasi harus tinggi ($>10\text{kV/mm}$).
2. Berat jenis harus kecil, sehingga partikel-partikel inert di dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
3. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.



4. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan.
5. Tidak merusak bahan isolasi padat.
6. Sifat kimia yang stabil.

Tabel 2.1 Keterangan Minyak Trafo

No	Sifat Minyak Isolasi	Satuan	Klas I/ Klas II	Metode Uji	Tempat Uji
1	Kejernihan	-	Jernih	IEC 296	Di tempat
	Masa Jenis (20°C)	g/cm ³	<0,895	IEC 296	Lab
3	Vikositas (20°C)	cSt	<40 <25	IEC 296	Lab
	Kinematik - (15°C)	cSt	<800		
	Kinematik - (30°C)	cSt	<1800		
4	Titik Nyala	°C	>140 >100	IEC 296A	Lab
5	Titik Tuang	°C	<30 < 40	IEC 296A	Lab
6	Angka Kenetralan	mgKOH/g	<0,03	IEC 296	Lab
7	Korosi Belerang	-	Tidak Korosif	IEC 296	Ditempat/ Lab
8	Tegangan Tembus	kV/2,5mm	> 30	IEC 156&	Ditempat/ Lab
			> 50	IEC 296	
9	Faktor Kebocoran Dielektrik	-	< 0,05	IEC 250	Lab
				IEC 474 & IEC 74	
10	Ketahanan Oksidasi a. Angka Kenetralan b. Kotoran	mgKOH/ g %	< 0,40	IEC 74	Lab
			< 0,10		

2.3.4 Bushing

Sebuah konduktor (porselin) yang menghubungkan kumparan transformator dengan jaringan luar. Bushing diselubungi dengan suatu isolator dan berfungsi sebagai konduktor tersebut dengan tangki transformator. Selain itu juga bushing juga berfungsi sebagai pengaman hubung singkat antara kawat yang bertegangan dengan tangki trafo.



2.3.5 Tangki dan konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo ditempatkan di dalam tangki baja. Tangki trafo-trafo distribusi umumnya dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin (cooling fin) yang berfungsi memperluas permukaan dinding tangki, sehingga penyaluran panas minyak pada saat konveksi menjadi semakin baik dan efektif untuk menampung pemuai minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.

2.4 Jenis-jenis Transformator

2.4.1 Step-up

Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.

2.4.2 Step-down

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

2.4.3 Autotransformator

Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari autotransformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua



lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder. Selain itu, autotransformator tidak dapat digunakan sebagai penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat (biasanya tidak lebih dari 1,5 kali).

2.4.4 Transformator isolasi

Transformator isolasi memiliki lilitan sekunder yang berjumlah sama dengan lilitan primer, sehingga tegangan sekunder sama dengan tegangan primer. Tetapi pada beberapa desain, gulungan sekunder dibuat sedikit lebih banyak untuk mengkompensasi kerugian. Transformator seperti ini berfungsi sebagai isolasi antara dua kalang. Untuk penerapan audio, transformator jenis ini telah banyak digantikan oleh kopling kapasitor.

2.4.5 Transformator pulsa

Transformator pulsa adalah transformator yang didesain khusus untuk memberikan keluaran gelombang pulsa. Transformator jenis ini menggunakan material inti yang cepat jenuh sehingga setelah arus primer mencapai titik tertentu, fluks magnet berhenti berubah. Karena GGL induksi pada lilitan sekunder hanya terbentuk jika terjadi perubahan fluks magnet, transformator hanya memberikan keluaran saat inti tidak jenuh, yaitu saat arus pada lilitan primer berbalik arah.

2.4.6 Transformator tiga fasa

Transformator tiga fasa sebenarnya adalah tiga transformator yang dihubungkan secara khusus satu sama lain. Lilitan primer biasanya dihubungkan secara bintang (Y) dan lilitan sekunder dihubungkan secara delta (Δ).



2.5 Peralatan Bantu Transformator

Adapun peralatan bantu transformator terdiri dari:

1. **Peralatan Pendingin** ; pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi di dalam trafo, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut trafo perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar trafo. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa: udara/gas, minyak dan air.
2. **Tap Changer**; yaitu suatu alat yang berfungsi untuk merubah kedudukan tap (sadapan) dengan maksud mendapatkan tegangan keluaran yang stabil walaupun beban berubah-ubah. Tap changer selalu diletakkan pada posisi tegangan tinggi dari trafo pada posisi tegangan tinggi. Tap changer dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (on-load) atau dalam keadaan tak berbeban (off load), tergantung jenisnya.
3. **Peralatan Proteksi**; peralatan yang mengamankan trafo terhadap bahaya fisis, listrik maupun kimiawi. Yang termasuk peralatan proteksi transformator antara lain sebagai berikut:
 - Rele Bucholz; yaitu peralatan rele yang dapat mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo yang menimbulkan gas. Di dalam transformator, gas mungkin dapat timbul akibat hubung singkat antar lilitan (dalam fasa/ antar fasa), hubung singkat antar fasa ke tanah, busur listrik antar laminasi, atau busur listrik yang ditimbulkan karena terjadinya kontak yang kurang baik.
 - Rele tekanan lebih; peralatan rele yang dapat mendeteksi gangguan pada transformator bila terjadi kenaikan tekanan gas secara tiba-tiba dan an langsung mentriapkan CB pada sisi upstream-nya.
 - Rele diferensial; rele yang dapat mendeteksi terhadap gangguan transformator apabila terjadi flash over antara kumparan dengan



kumparan, kumparan dengan tangki atau belitan dengan belitan di dalam kumparan ataupun antar kumparan.

- Rele beban lebih; rele ini berfungsi untuk mengamankan trafo terhadap beban yang berlebihan dengan menggunakan sirkit simulator yang dapat mendeteksi lilitan trafo yang kemudian apabila terjadi gangguan akan membunyikan alarm pada tahap pertama dan kemudian akan menjatuhkan PMT.
- Rele arus lebih; rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman trafo, juga diharapkan rele ini mempunyai sifat komplementer dengan rele beban lebih. Rele ini juga berfungsi sebagai cadangan bagi pengaman instalasi lainnya. Arus berlebih dapat terjadi karena beban lebih atau gangguan hubung singkat.
- Rele fluks lebih; rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator dengan mendeteksi besaran fluksi atau perbandingan tegangan dan frekwensi.
- Rele tangki tanah; rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator bila terjadi hubung singkat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada transformator.
- Rele gangguan tanah terbatas; rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan tanah didalam daerah pengaman transformator khususnya untuk gangguan di dekat titik netral yang tidak dapat dirasakan oleh rele diferensial.
- Rele termis; rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkan oleh arus lebih. Besaran yang diukur di dalam rele ini adalah kenaikan temperatur.



4. **Peralatan Pernapasan (*Dehydrating Breather*)** ; ventilasi udara yang berupa saringan silikagel yang akan menyerap uap air. Karena pengaruh naik turunnya beban trafo maupun suhu udara luar, maka suhu minyakpun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya bila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernapasan trafo. Permukaan minyak trafo akan selalu bersinggungan dengan udara luar yang menurunkan nilai tegangan tembus minyak trafo, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi tabung berisi kristal zat hygroskopis.

5. **Indikator** ; untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator yang antara lain sebagai berikut:
 - indikator suhu minyak
 - indikator permukaan minyak
 - indikator sistem pendingin
 - indikator kedudukan tap.

2.6 Perawatan dan Pemantauan Transformator

Dengan melakukan perawatan secara berkala dan pemantauan kondisi transformator pada saat beroperasi akan banyak keuntungan yang didapat, antara lain:

- a. Meningkatkan keandalan dari transformator tersebut.
- b. Memperpanjang masa pakai.
- c. Jika masa pakai lebih panjang, maka secara otomatis akan dapat menghemat biaya penggantian unit transformator.



Adapun langkah-langkah perawatan dari transformator, antara lain adalah:

- a. Pemeriksaan berkala kualitas minyak isolasi.
- b. Pemeriksaan/pengamatan berkala secara langsung (Visual Inspection)
- c. Pemeriksaan-pemeriksaan secara teliti (overhauls) yang terjadwal.

Pada saat transformator beroperasi ada beberapa pemeriksaan dan analisa yang harus dilakukan, antara lain:

1. Pemeriksaan dan analisa minyak isolasi transformator, meliputi:
 - Tegangan tembus (breakdown voltage) Analisa gas terlarut (dissolved gas analysis, DGA)
 - Analisa minyak isolasi secara menyeluruh (sekali setiap 10 tahun)Pemeriksaan dan analisa kandungan gas terlarut (Dissolved gas analysis, DGA), untuk mencegah terjadinya:(partial) discharges, Kegagalan thermal (thermal faults), Deteriorasi / pemburukan kertas isolasi/laminasi.Pemeriksaan dan analisa minyak isolasi secara menyeluruh, meliputi: power factor (cf. $\tan \delta$), kandungan air (water content), neutralisation number, interfacial tension, furfural analysis dan kandungan katalisator negatif (inhibitor content).
2. Pengamatan dan Pemeriksaan Langsung (Visual inspections)
 - Kondisi fisik transformator secara menyeluruh.
 - Alat-alat ukur, relay, saringan/filter dll.
 - Pemeriksaan dengan menggunakan sinar infra-merah (infrared monitoring), setiap 2 tahun.
3. Karakteristik Akibat Kegagalan Gas

<u>Jenis Kegagalan</u>	<u>Unsur Gas yang timbul</u>
Partial Discharge:	Hydrogen (H ₂)
Busur api/ Arching:	Asethylene (C ₂ H ₂)
Kegagalan Thermal:	Carbon Hydrides (CH ₄ C ₂ H ₄ C ₂ H ₆)
Kegagalan Kertas:	Carbon Monoxide dan dioxide (CO ₁ CO ₂)



4. Tindakan yang biasa dilakukan pada saat Pemeriksaan Teliti (Overhaul)
 - a. Perawatan dan pemeriksaan ringan (Minor overhaul), setiap 3 atau 6 tahun.
 - on-load tap changers
 - oil filtering dan vacuum treatment
 - relays dan auxiliary devices.
 - b. Perawatan dan pemeriksaan teliti (Major overhaul)
 - Secara teknis setidaknya 1 kali selama masa pakai.
 - pembersihan, pengencangan kembali dan pengeringan.
 - c. Analisa kimia
 - analisa kertas penyekat/laminasi (sekali setiap 10 tahun)
 - d. Pengujian listrik (Electrical Test) untuk peralatan;
 - power transformer
 - bushing
 - Transformator ukur (measurement transformer)
 - breaker capacitors

Pengujian listrik (electrical test) dilakukan setidaknya setiap 6 - 9 tahun.

Pengujian yang dilakukan meliputi :

- Doble measurements
- PD-measurement
- Frequency Responce Analysis, FRA
- voltage tests

Penyebab Hubung Singkat didalam Transformator, antara lain:

- Gangguan hubung singkat antar lilitan karena rusaknya laminasi.
- Perubahan kandungan gas H₂, CH₄, CO, C₂H₄ dan C₂H₂.⁴

⁴ Iman.weebly.com/uploads/1/5/7/2/15720440/transformator.doc



2.7 Pemeliharaan Transformator

Tujuan pemeliharaan adalah untuk mencegah terjadinya gangguan pada saat unit beroperasi, sehingga tidak mengakibatkan kerusakan yang lebih besar / fatal, dan peralatan tersebut mempunyai masa pakai yang lebih lama, menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik serta tingkat keselamatan lebih terjamin. Kerusakan terbesar pada mesin listrik berputar terutama pada mesin induksi disebabkan oleh kerusakan isolasi winding stator. Kerusakan isolasi winding stator biasa disebabkan oleh :

- 1) *Thermal Stresses*
- 2) *Mechanical Stresses*
- 3) *Environmental Stresses*

- ***Thermal stresses***

Overheating yang terjadi pada winding dan berlangsung lama, menyebabkan stress pada winding & isolasi kawat menjadi rapuh, dan lama kelamaan isolasi akan menjadi retak. Jika gejala ini disertai dengan timbulnya PD (*partial discharge*), maka proses penuaan isolasi akan menjadi lebih cepat.

- ***Mechanical stresses***

Winding yang tidak divarnis dengan baik, *connection point*, *blocking coil*, adalah meruipakan titik paling lemah terhadap pengaruh dari luar, seperti *mechanical vibration*, dan *magnetic vibration*.

- ***Environmental stresses***

Kontaminasi : udara lembab, debu, karbon, minyak atau bahan kimia lain, yang terkumpul di permukaan isolasi, adalah merupakan partikel konduktive yang dapat menghantar listrik.

Karena adanya beda potensial antara winding dengan ground, maka partikel tersebut, akan berfungsi sebagai media hantaran untuk menghantar arus listrik dari



winding ke ground, karena sifat kotoran yang demikian maka pada tempat-tempat penumpukan kotoran akan terbentuk jalur hantaran listrik ("*Electrical tracking* ").

Seperti kita ketahui bahwa pelaksanaan pemeliharaan terdapat beberapa klasifikasi, diantaranya pemeliharaan yang biasa dilakukan secara rutin adalah pemeliharaan jenis preventif.

Pada umumnya pemeliharaan komponen trafo di unit pembangkit thermal dilakukan dalam 2 kategori, yaitu :

- Pemeliharaan yang bersifat rutin.
- Pemeliharaan yang bersifat periodic.

2.7.1 Pemeliharaan rutin.

Pemeriksaan yang bersifat rutin adalah pemeliharaan yang dilakukan secara berulang dengan periode harian, mingguan dan bulanan dengan kondisi yang sedang beroperasi, yaitu meliputi :

- Pemeriksaan temperature belitan stator, *bearing*, air pendingin dan lainnya dilakukan setiap hari.
- Pemeriksaan kebocoran pendingin minyak (khusus generator dengan pendingin hydrogen) dalam sekali sebulan.
- Pemeriksaan vibrasi sekali dalam sebulan.
- Pemeriksaan tekanan hydrogen, *seal oil pump*.
- Pemeriksaan *fuse rotating rectifier (Brushless Excitation)* atau pemeriksaan sikat arang (*Static Excitation / DC Dinamic Excitation*)

Pada dasarnya penggantian sikat arang dapat dilakukan pada saat mesin beroperasi, karena pada mesin-mesin yang besar sikat arang biasanya dipasang tidak hanya satu tetapi ada beberapa pasang dengan cara parallel.



Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan penggantian pada kondisi beroperasi, yaitu :

- Terjadinya sengatan listrik atau terbakar.
- Terjadi kontak dengan peralatan yang berputar.
- Lokasi tempat bekerja harus bersih, penerangan yang cukup dan diberi batas.
- Petugas pelaksana harus berpakaian rapi tidak sobek dan pakain lengan pendek.
- Semua piranti kerja harus terisolasi dan tidak dapat jatuh pada saat bekerja.
- Beri catatan (*Tagging*) pada peralatan kontrol bahwa sedang dilakukan pekerjaan penggantian sikat arang.
- Sebelum sikat arang lepas dari rumah sikat arang periksa dan yakinkan bahwa sikat arang yang lain mengontak dengan baik terhadap komutator Slip ring.
- Cek tekanan sikat arang, tidak boleh terlalu lemah atau terlalu keras.

Bila tekanan kurang baik akan mengakibatkan:

- Kontak kurang baik
- Bergetar
- Timbul bunga api
- Sikat arang cepat aus

2.7.2 Pemeliharaan periodik.

Pemeriksaan yang bersipat periodik adalah pemeriksaan yang dilakukan berdasarkan lama beropersi generator, yang diklasifikasikan :

- Pemeriksaan sederhana yang dilakukan setiam 8.000 jam
- Pemeriksaan sedang, setiap 16.000 jam
- Pemeriksaan serius, setiap 32.000 jam



Pemeriksaan periodik kegiatan yang dilakukan meliputi pembongkaran (*disassembly*), pemeriksaan (*Inspection*) dan pengujian (*Testing*). kegiatan pemeriksaan tersebut tidak harus semua komponen dilakukan sama, melainkan tergantung dari klasifikasi pemeriksaan periodiknya.

Pemeriksaan sederhana dan sedang, komponen yang diperiksa tidak seluruhnya melainkan sebagian saja. Tetapi pemeriksaan serius, kegiatan-kegiatan seperti disebutkan diatas dilakukan secara menyeluruh terhadap transformator dan alat bantuannya.⁵

2.7.3 Pemeliharaan prediktif (*predictive maintenance*)

Teknik pemeliharaan secara prediktif telah disinggung secara singkat dalam subbab dalam pasal ini pemeliharaan secara prediktif akan dibahas secara lebih rinci. Sebagai contoh diambil bantalan-bantalan generator yang suhu maksimumnya adalah 80° C. Apabila suhu bantalan ini nilainya konstan 54° C maka bantalan ini tidak perlu diperiksa.

Namun apabila suhu bantalan cenderung naik, yaitu mulai akhir bulan Mei (titik A), maka hal ini memerlukan pengamatan khusus. Pada akhir bulan Agustus (titik B) diadakan evaluasi atas kecenderungan suhu yang naik ini, kemudian dibuat ekstrapolasi sampai memotong garis suhu 80° C (maksimum yang diperbolehkan) di titik C pada bulan Oktober. Berdasarkan ekstrapolasi ini kemudian diprediksikan waktu untuk melakukan pemeriksaan bantalan generator ini.

Kalau biasanya rekaman suhu ini diperiksa sekali dalam sebulan maka setelah titik B pemeriksaan rekaman ini sebaliknya dilakukan lebih sering karena telah mendekati suhu maksimum yang diperbolehkan untuk menjaga kemungkinan terjadinya kenaikan suhu yang lebih cepat sehingga prediksi tanggal pemeriksaan perlu dipercepat.

⁵ <https://syuratman.files.wordpress.com/2011/10/bab-iii-study-kasus.doc>



Kenaikan suhu bantalan bisa disebabkan antara lain karena adanya kotoran yang masuk kedalam bantalan. Hal yang serupa bisa dilakukan terhadap pengamatan nilai tahanan isolasi dari sebuah motor listrik.

Dengan uraian yang serupa dengan uraian mengenai rekaman suhu bantalan generator, rekaman tahanan isolasi motor listrik juga bisa menghasikan prediksi kapan motor harus menjalani pemeliharaan, yaitu pada akhir bulan Juli. Bedanya dengan suhu bantalan untuk tahanan isolasi motor yang membatasi adalah nilai minimum yang diperbolehkan yaitu $6 \text{ M}\Omega$ (Megaohm).

Yang menurunkan tahanan isolasi motor terutama adalah kelembaban udara dan debu yang ada di udara. Motor yang sering berhenti lebih cepat turun tahanan isolasinya daripada motor yang sering beroperasi terutama jika berdekatan dengan tempat yang lembab. Hal ini disebabkan karena motor yang sering beroperasi memberi dampak mengeringkan isolasi. Motor yang diberi beban lebih bisa mengalami kerusakan isolasi sehingga tahanan isolasinya turun.⁶

2.8 Pengujian Tahanan Isolasi

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

Nilai *Insulation Resistance* (IR) stator diukur pada suhu ruangan $30,5^{\circ}\text{C}$, pengukuran dilakukan dengan cara melepas hubungan way (Y) generator terhadap ground terlebih dahulu. Pengukuran dilakukan pada tiap fasa yaitu fasa R, S, dan T masing-masing di ukur langsung terhadap ground. Sehingga megger yang digunakan yaitu megger fasa terhadap ground. Jenis

⁶ Pembangunan Energi Listrik, Edisi II Djiteng Marsudi, Penerbit Erlangga, Hal 231



Megger yang digunakan adalah Megger jenis analog dengan tegangan 5000 Volt, pemilihan megger dengan tegangan 5000 Volt sesuai dengan besarnya tegangan kerja Generator 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 generator, 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.

- **Pengujian Indeks Polarisasi**

Pengujian untuk menentukan keadaan isolasi yang baik adalah membandingkan hasil tahanan setelah pengujian tegangan selama 10 menit dengan tahanan pada saat satu menit pertama. Jika pengujian dilakukan sebelum dan sesudah mesin dibersihkan, dan atau sesudah mesin dikeringkan, akan menunjukkan hasil pengukuran yang lebih baik. Indeks Polarisasi test merupakan petunjuk kekeringan dan kebersihan dari lilitan, dan hasilnya akan menentukan apakah peralatan aman untuk dioperasikan dan atau peralatan untuk dilakukan pengujian tegangan lebih.

Untuk stator, pengujian IP menggunakan tegangan 2,5 kV dc (tegangan rating generator 13.8 kV, 50 hz, 3 fasa). Jika IP adalah sama atau lebih besar dua (2), maka pengujian dengan tegangan 6 KV dc dapat dilakukan.



IP untuk pengujian dengan 6 KV dc harus lebih besar atau sama dengan 2. Untuk rotor, tegangan 500 Vdc dapat digunakan tanpa melepaskan atau menghubungkan singkatkan diode. Jangan menggunakan tegangan lebih dari 500 V dc tanpa mengetahui hasil pengujian dengan tegangan 500 V dc. Jika digunakan tegangan yang lebih tinggi, diode harus dilepas. Tahanan rotor pada pengujian tahanan dengan menggunakan tegangan 500 V dc harus lebih dari 50 megohm dan PI untuk tegangan 500 V dc harus lebih besar dari dua (2). Tegangan maksimum yang diizinkan adalah 1500 V ac atau 2500 V dc.

- **Pengujian Tegangan Lebih.**

Pengujian tegangan lebih dimaksudkan untuk menemukan kelemahan pada lilitan stator yang harus diperbaiki. Pengujian ini juga digunakan untuk meyakinkan bahwa lilitan mempunyai ketahanan dielektrik yang cocok untuk dioperasikan. Pengujian ini dapat dilakukan dengan menggunakan tegangan ac (50 hz) atau arus searah.

Tingkat tegangan yang diterapkan sangat tergantung pada tipe mesin, pelayanannya, isolasinya, dan pengalaman pemakai didalam pengujian tegangan tinggi. pengujian arus bolak-balik biasanya dilakukan dengan menggunakan tegangan sebesar 1,5 kali tegangan jala-jala. Sedangkan pengujian dengan tegangan arus searah kira-kira 1,7 kali pengujian AC atau sekitar 2,7 kali tegangan nominal jala-jala.

Perhatian :

Jangan lakukan pengujian jika mesin dalam keadaan kotor dan basah (tidak bersih dan tidak kering).

- **Pengujian Step Voltage**

Pada pengujian ini, generator dilepaskan dari sistem pengendali dan semua peralatan bantunya, dan hubungkan alat penguji tegangan tinggi dc antara satu fasa lilitan generator dengan metal generator. Tegangan dinaikkan selangkah demi selangkah dan arus bocor dapat kita baca dan data tersebut



dicatat.

Arus yang terbaca pertama kali sebelum arus menjadi stabil yang merupakan arus bocor yang dapat dinyatakan arus sebagai fungsi waktu terdiri dari tiga komponen yaitu :

1. Arus pengisian pada lilitan terhadap kapasitas tanah. Arus ini dengan cepat turun dari maksimum menjadi nol.
2. Arus absorpsi pada pergeseran molekul pengisian pada dielektrik. Arus peralihan ini akan berkurang dengan waktu yang sangat lambat untuk menjadi nol.
3. Arus bocor yang merupakan arus penghantar sebenarnya dari dielektrik, arus bocor akan berubah-ubah tergantung tegangan yang diterapkan. Arus ini dapat juga terdiri dari arus bocor permukaan.

Pada pengujian ini, temperatur, kelembaban, dan keadaan sekelilingnya harus dicatat. Penghantar pengujian harus berukuran 12 AWG atau lebih, dan diatur agar bebas dari pengaruh kehilangan (kerugian) korona. Semua peralatan bantu seperti pendeteksi temperatur, lilitan fasa yang tidak diuji, dan lilitan rotor harus ditanahkan sebelum dilakukan pengujian. Hal ini perlu, karena setelah pengujian pengisian dapat dilepaskan dengan aman. Terapkan tegangan 10 kV pada saat mulai melakukan pengujian dan naikkan setiap tingkat sampai tercapai nilai tegangan 2.7 kali tegangan jala-jala. Tahanan isolasi dapat dihitung pada setiap tingkat dengan menggunakan hukum ohm.

Tahanan isolasi (mega Ohm) = tegangan pengujian/ arus bocor.

Arus bocor yang terbaca biasanya dalam mikro amper.

- **Pengeringan Lilitan**

Jika nilai pengujian rendah dan lilitan relatif bersih, maka lilitan harus dikeringkan sampai sekurang-kurangnya diperoleh nilai minimum yang dianjurkan. Pengeringan dapat dilakukan dengan pemanasan luar atau pemanasan dalam. Cara yang dipilih sangat tergantung dari kemudahan, ketersediaan dan biaya. Panas yang cukup harus bisa dihasilkan untuk



mendapatkan temperatur pada ujung lilitan 75oC. Kemampuan kenaikan temperatur harus dimulai dari rendah untuk menghindari terbentuknya uap atau gas yang berlebihan tekanannya dan hal ini dapat merusak isolasi.

- **Pemanasan Dari Luar**

Biasanya generator dilengkapi dengan pemanas listrik. Alat ini ditempatkan pada bagian bawah mesin dan terbuka lebar hal ini dimaksudkan agar pemanasan pada mesin dapat menyebar keseluruhan bagian mesin, tentunya hal ini harus dibantu dengan sirkulasi yang memadai selama pemanasan untuk menjamin pekerjaan yang menyeluruh dan sempurna.

- **Pemanasan Dari Dalam**

Pemanasan dengan menggunakan sirkulasi arus pada lilitan adalah hal yang paling baik untuk lilitan medan. Cara ini juga dapat dilakukan pada lilitan stator, tetapi perhatian yang cermat harus dilakukan didalam pengendalian arus searah yang digunakan untuk menghindari kerusakan pada komponen-komponen mesin.

Untuk stator dapat juga dipanaskan dengan menggunakan sirkulasi arus searah yang diperoleh dari penguat terpisah atau menggunakan mesin las. Kemampuan kenaikan temperatur harus mendapat perhatian khusus untuk menghindari panas dibagian dalam terlalu tinggi. Hasil pengeringan harus diperiksa dengan maksud untuk mengetahui tahanan isolasi. Pada permulaan penerapan panas, tahanan isolasi akan jatuh, tetapi akan naik dan akhirnya tetap sebagai hasil pemanasan.

- **Pemeriksaan Isolasi Bearing**

Variasi pada rangkaian magnit generator dapat menyebabkan perubahan yang periodik pada jumlah fluksi yang tersalurkan ke poros. Perubahan fluksi ini dapat membangkitkan tegangan yang cukup untuk arus bersirkulasi yang melalui poros, bearing dan rangka. Jika arus ini dibiarkan



mengalir, akan menimbulkan pengaruh yang berbahaya pada journal dan bearing. Untuk menghilangkan arus ini, bearing harus diisolasi. Pada mesin type bracket bearing diisolasi antara mounting ringnya dan rumah bearing. Hal yang perlu diperhatikan adalah mengisolasi setiap peralatan deteksi seperti probe temperatur, yang berhubungan dengan bearing. Adalah sangat sulit sekali memeriksa isolasi bearing ini. Pengukuran yang bisa dilakukan adalah memasang megger 500 volt pada bearing dan bracket bearing. Pembacaan 0.1 megohm atau lebih besar memperlihatkan bahwa isolasi bearing sudah memadai.

- **Pendektesi Kebocoran Bahan Pendingin.**

Pendektesi kebocoran bahan pendingin (pengindera kelembaban) ditempatkan pada saluran udara dingin setiap pendingin. Masing-masing pengindera dihubungkan kerele yang akan mentripkan sistem apabila nilai penyetelan rele dilampaui. Pengindera kelembaban tidak memerlukan perawatan selama kurang lebih dua tahun, kecuali jika elemennya terlalu kotor maka perlu dibersihkan, alat ini masih dapat bekerja dengan baik walaupun pada permukaannya terdapat debu.⁷

2.9 Tahanan Isolasi (IR) dan Indeks Polarisasi (IP)

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

⁷ <http://power-grounding.blogspot.com/2009/11/pengujian-tahanan-isolasi-sebagai.html>

2.9.1 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 2.5 Alat ukur Mega Ohm meter

- Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Tahanan Isolasi

Faktor – faktor yang mempengaruhi pengukuran tahanan isolasi antara lain adalah : (a) arus arbsorpsi, (b) suhu dan (c) tegangan yang diterapkan. Berhubung dengan adanya arus arbsorpsi seperti yang diuraikan di muka, maka dalam pengukuran tahanan perlu diperhatikan lamanya tegangan diterapkan dan bahwa sebelum pengukuran dimulai, bahan yang hendak diuji sudah dibebaskan dari muatan yang melekat



padanya (waktu pelepasan biasanya 5-10 menit). Selanjutnya untuk menilai kondisi sesuatu bahan isolasi dipakai suatu indeks polarisasi.⁸

2.9.2 Indeks polarisasi (IP)

Indeks Polarisasi, digunakan untuk mengetahui tingkat kekeringan, kebersihan dan keamanan isolasi suatu belitan pada mesin listrik. Pengukuran ini dilakukan selama 10 menit, dengan membandingkan hasil pengukuran tahanan isolasi 1 menit terhadap hasil pengukuran selama 10 menit. Dengan rumus sebagai berikut :

$$IP = \frac{\text{Pengukuran Tahanan isolasi 10 menit}}{\text{Pengukuran Tahanan isolasi 1 menit}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

R10 menit = Nilai resistansi yang diukur pada saat t = 10 menit

R1 menit = Nilai resistansi yang diukur pada saat t = 1 menit

Tujuan dari pengujian index polarisasi adalah untuk memastikan peralatan tersebut layak dioperasikan atau bahkan untuk dilakukan overvoltage test. Indeks polarisasi merupakan rasio tahanan isolasi saat menit ke 10 dengan menit ke 1 dengan tegangan yang konstant.

Menurut Hukum Ohm yakni resistansi isolasi yang diukur dengan tegangan V_2 lebih kecil daripada R_{V1} yakni resistansi isolasi yang diukur dengan dengan tegangan V_1 . Artinya, resistansi isolasi berkurang ketika diukur dengan tegangan V_2 idealnya, nilai resistansi isolasi harus tetap sebesar R_{V1} . Jika R_{V2} semakin kecil, faktor titik lemah semakin besar. Dengan kata lain, jika faktor titik lemah suatu bahan isolasi semakin besar, kualitas bahan isolasi tersebut semakin buruk.

Akibat adanya arus absorpsi, hasil pengukuran resistansi isolasi tergantung juga pada waktu pengukuran. Pada saat $t = 1$ menit,

⁸ Teknik Tenaga Listrik, Jilid I Dr. Artono Arismunandar, Dr. S. Kuwahara. Penerbit PT. PRADNYA PARAMITA JAKARTA



dimisalkan arus absorpsi kedua bahan sama sehingga resistansi kedua bahan isolasi pada saat itu adalah sama. Pada saat $t = 10$ menit, arus absorpsi bahan isolasi A lebih besar daripada arus absorpsi bahan isolasi B sehingga pada saat itu, resistansi bahan isolasi A lebih kecil daripada resistansi bahan isolasi B. Dengan kata lain. Pertambahan nilai resistansi bahan isolasi A lebih kecil daripada pertambahan nilai resistansi bahan isolasi B. Pertambahan nilai resistansi bahan isolasi seharusnya semakin besar agar arus absorpsi sama dengan nol. Dengan kata lain, bahan isolasi semakin baik jika pertambahan nilai resistansinya semakin besar. Untuk membedakan pertambahan nilai resistansi padaberbagai jenis bahan isolasi di buat suatu definisi yang disebut indeks polarisasi yaitu perbandingan nilai resistansi suatu bahan yang diukur pada saat $t = 1$ menit dengan nilai resistansi yang diukur pada saat $t = 10$ menit dengan nilai resistansi yang diukur pada saat $t = 10$ menit atau

$$I_p = \frac{R_{10 \text{ menit}}}{R_{1 \text{ menit}}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$R_{10 \text{ menit}}$ = Nilai resistansi yang diukur pada saat $t = 10$ menit

$R_{1 \text{ menit}}$ = Nilai resistansi yang diukur pada saat $t = 1$ menit

Bahan isolasi yang baik adalah bahan yang arus absorpsinya kecil atau yang mempunyai $R_{10 \text{ menit}}$ besar, dengan kata lain, yang indeks polarisasinya besar. Jika indeks polarisasi suatu bahan isolasi menurun, hal itu menandakan bahwa kualitas bahan isolasi tersebut semakin buruk. Pada umumnya, indeks polarisasi bahan isolasi kelas A lebih besar daripada 1,5 sedang bahan isolasi kelas B lebih besar dari pada 2,5.



Resistansi isolasi juga tergantung pada temperatur, kelembaban, dan bentuk elektroda uji. Karena itu, semua kondisi ini harus dicantumkan pada hasil pengukuran.⁹

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 atau dengan persamaan

$$I_{is} = \frac{V_{rms}}{IR_{average}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

I_{is} = Nilai arus bocor pada transformator

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

$IR_{average}$ = Nilai Rata – rata tahanan isolasi 1 – 10 menit masing – masing belitan transformator

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 indeks polarisasi. Keuntungan dari indeks ratio adalah dengan banyaknya hal yang dapat mempengaruhi pembacaan megaohm

⁹ Dasar - dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Edisi Kedua Bonggas L. Tobing, Penerbit Erlangga Hal 41



seperti suhu dan humidity baik pada 1 menit maupun 10 menit. Indeks polarisasi merupakan perbandingan antara nilai tahanan isolasi pada menit ke 10 dengan menit ke 1.¹⁰

Untuk isolasi belitan yang baik, nilai IP harus minimum 2 pada pengukuran di temperatur 20 °C.

- Nilai IP dibawah diantara 1.5 - 2 , peralatan masih dapat dioperasikan, tapi perlu pengawasan dan pemantauan berkala.
- Nilai IP dibawah 1.5, mengindikasikan isolasi belitan peralatan tersebut dalam keadaan basah, kotor atau sudah ada yang bocor. Sehingga perlu dilakukan pembersihan, pengeringan dan refurbish apabila ditemukan kerusakan pada isolasinya.

Pengukuran Insulation Resistance berdasarkan standar IEEE C57.125-1991 mengenai Index Polarisasi dan resistansi isolasi berdasarkan table berikut ini :

Tabel 2.2 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

¹⁰ Buku PLN Pedoman O&M Trafo Tenaga



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 sbb :

$$R_{\min} = (V_{\text{rms}} + 1) \times 1000 \cdot 10^{-6} \dots\dots\dots(2.4)^{11}$$

Dimana :

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

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

Indeks yang biasa digunakan dalam menunjukkan 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). Maka sebagai nilai parameter Indeks Polaritas (IP) menurut standar IEEE C57.125-1991 tentang Indeks Polaritas dan Resistansi Isolasi yaitu adalah jika nilai IP kurang dari 2.0 maka kemungkinan adanya kontaminasi pada isolasi stator, misalnya isolasi winding terlalu banyak menyerap uap air (lembab) atau terdapat penumpukan kotoran konduktive, sehingga perlu

¹¹ Dasar - dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Edisi Kedua Bonggas L. Tobing, Penerbit Erlangga Hal 138



dilakukan pemeliharaan yaitu membersihkan winding stator dari kontaminasi kotoran atau dengan cara mengeringkan winding stator.¹²

Tabel 2.3 Nilai minimum IP 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

Tujuan dari pengujian indeks 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 yang muncul saat memberikan tegangan dc steady state terdiri dari:

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

¹² <http://power-grounding.blogspot.com/2009/11/pengujian-tahanan-isolasi-sebagai.html>



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. Pengkategorian kondisi isolasi berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi dilihat dari nilai tahanan isolasinya itu sendiri (megohm) dan index polarisasi (perbandingan hasil pengujian tahanan isolasi pada menit ke – 10 dengan menit ke 1).

Kondisi isolasi berdasarkan indeks polarisasi¹³

Tabel 2.4 Kondisi Isolasi berdasarkan Indeks Polarisasi

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	-

¹³ Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik. Transformator Tenaga. SK114 No 1-22/HARLUR-PST/2009. Perusahaan Listrik Negara. Indonesia