



## 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).<sup>1</sup>

## **2.2 Prinsip Kerja Tranformator**

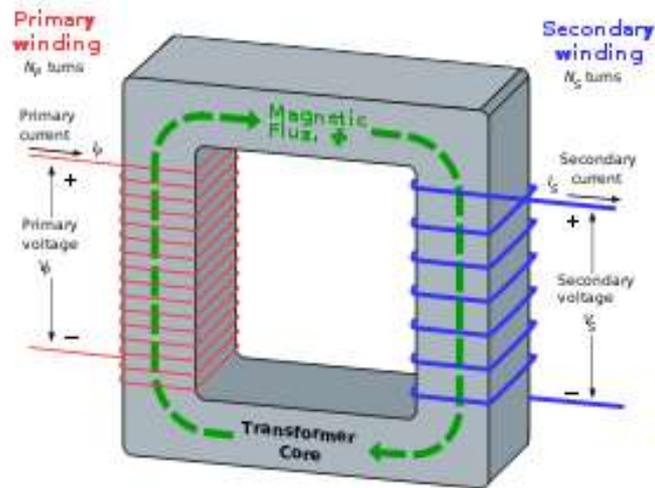
Transformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer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

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.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia “*Teknik Pengendalian Instrumen Logam*”, Jilid 2, Hal 214

<sup>2</sup> Transmisi Tenaga Listrik, Abdul Kadir, Penerbit Universitas Indonesia, Hal 43



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Transformator

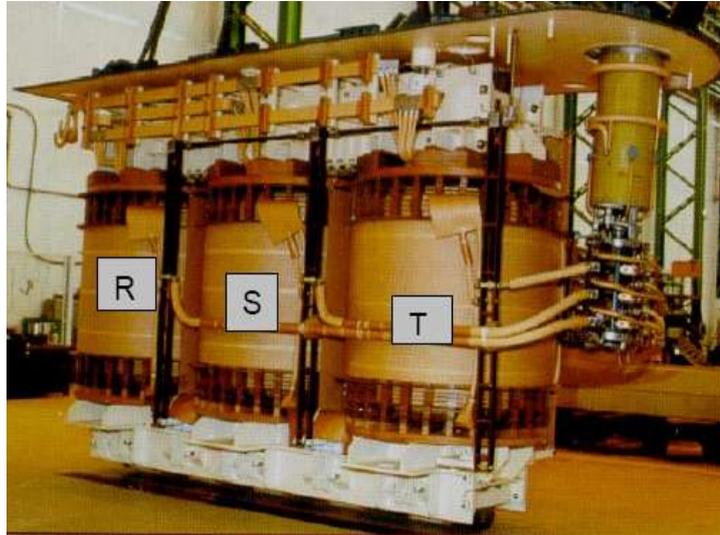
## 2.3 Komponen Transformator<sup>3</sup>

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.

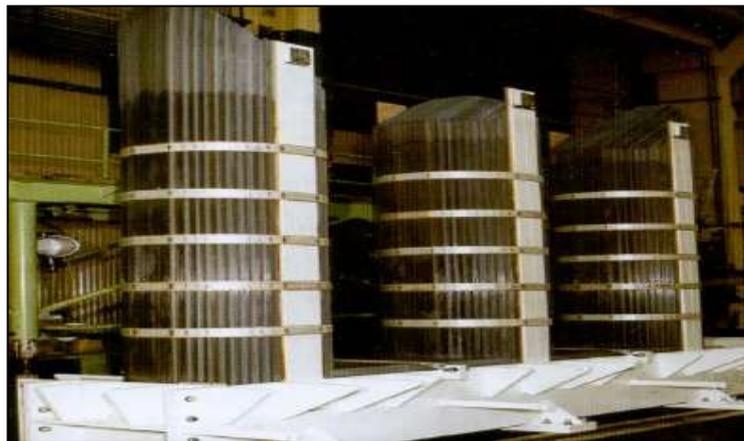
<sup>3</sup> Modul Pemeliharaan Trafo, Perusahaan Listrik Indonesia, Hal 2 - 11



Gambar 2.2 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 kumbaran. Inti besi ini juga diberi isolasi untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus eddy "*Eddy Current*".



Gambar 2.3 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 V Klas II	Metode Uji	Tempat Uji
1	Kejernihan	-	Jernih	IEC 296	Ditempat
2	Masa Jenis ( $20^{\circ}\text{C}$ )	$\text{g/cm}^3$	$<0.895$	IEC 296	Lab
3	Vikositas ( $20^{\circ}\text{C}$ )	cSt	$<40$ $<25$	IEC 296	Lab
	Kinematik - ( $15^{\circ}\text{C}$ )	cSt	$<800$		
	Kinematik - ( $30^{\circ}\text{C}$ )	cSt	$<1800$		
4	Titik Nyata	$^{\circ}\text{C}$	$>140$ $>100$	IEC 296A	Lab
5	Titik Tuang	$^{\circ}\text{C}$	$<30$ $<40$	IEC 296A	Lab
6	Angka Kenetralan	$\text{mgKOH/g}$	$<0.03$	IEC 296	Lab
7	Korosi Belerang	-	Tidak Korosif	IEC 296	Ditempat/Lab
8	Tegang Tembus	$\text{kV/2.5mm}$	$>30$ $>50$	IEC156	Ditempat/Lab



9	Faktor Kebocoran Dielektrik	-	<0.05	IEC 250 IEC 474 & IEC 74	Lab
10	Ketahanan Oksidasi a. Angka kenetralan b. Kotoran	mgKOH/g	<0.40 <0.10	IEC 74	Lab

### 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 pemuaiian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.

## 2.4 Jenis-jenis Transformator<sup>4</sup>

### 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

<sup>4</sup>Pembangkitan energi listrik edisi kedua, Djiteng Marsudi hal 34



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 ( $\Delta$ ).

### 2.5 Peralatan Bantu Transformator<sup>5</sup>

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

---

<sup>5</sup>Peralatan Tegangan Tinggi, Bonggas L.Tobing hal 7



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 hubungan singkat antar lilitan (dalam fasa/ antar fasa), hubungan 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 langsung mentrippingkan 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 hubungan singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengamanan trafo, juga diharapkan rele ini mempunyai sifat komplementer dengan rele beban lebih. Rele ini juga berfungsi sebagai cadangan bagi pengamanan instalasi lainnya. Arus berlebih dapat terjadi karena beban lebih atau gangguan hubungan 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

Tabel 2.2 Karakteristik Akibat Kegagalan Gas

No	Jenis Kegagalan	Unsur gas yang timbul
1	Partial Discharge	Hydrogen ( H <sub>2</sub> )
2	Busur api/ Arching	Asethylene (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )
3	Kegagalan Thermal	Carbon Hydrides ( CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )
4	Kegagalan Kertas	Carbon Monoxide dan dioxide ( CO, CO <sub>2</sub> )

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 transformator)
- breaker capacitors

Pengujian listrik (*electrical test*) dilakukan setidaknya setiap 6 - 9 tahun. Pengujian yang dilakukan meliputi :

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

Penyebab Hubung Singkat didalam Transformator, antara lain:

- Gangguan hubung singkat antar lilitan karena rusaknya laminasi.
- Perubahan kandungan gas H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

## **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 merupakan 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 terdapat komutator Slip ring.
- Cek tekanan sikat arang, tidak boleh terlalu lemah atau terlalu keras.

### 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 targantung 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 bantu.

## 2.8 Pengujian Tahanan Isolasi<sup>6</sup>

Pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi adanya kelemahan isolasi tahanan. Pengujian isolasi secara rutin dapat dilakukan dengan menggunakan Megger yang pembacaannya langsung dalam mega Ohm. Tahanan isolasi ( *Insulation Resistance* ) adalah ukuran kebocoran arus yang melalui isolasi. Yang bertujuan untuk

<sup>6</sup>Dasar – dasar teknik pengujian tegangan tinggi edisi kedua, Bonggas L.Tobing hal 145



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 mega Ohm. 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. Mega Ohm meter biasanya memiliki kapasitas pengujian 500, 1000 atau 2500 V dc.



Gambar 2.4 Alat ukur mega Ohm meter<sup>7</sup>

Beberapa faktor yang mempengaruhi pengujian tahanan isolasi faktor – faktor antara lain adalah :

- arus arbsorpsi
- suhu
- 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.

<sup>7</sup>Alat ukur tahanan isolasi, Perusahaan Listrik Negara hal 7



## 2.9 Indeks Polarisasi

Indeks Polarisasi merupakan petunjuk kekeringan dan kebersihan dari lilitan, dan hasilnya akan menentukan apakah peralatan aman untuk dioperasikan. Tujuan dari indeks polarisasi adalah untuk memastikan peralatan tersebut layak dioperasikan atau bahkan untuk dilakukan pengujian tegangan lebih. Indeks polarisasi merupakan rasio tahanan isolasi saat menit ke 10 dengan menit ke 1 dengan tegangan yang konstant.

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

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

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 Polarisitas menurut standar IEEE Std 43-2000(R2006) tentang Indeks Polarisitas yaitu jika nilai Indeks Polarisasi kurang dari 1.25 maka kemungkinan adanya kontaminasi pada isolasi stator, misalnya isolasi winding terlalu banyak menyerap uap air (lembab) atau terdapat penumpukan kotoran konduktive, sehingga perlu dilakukan pemeliharaan yaitu membersihkan winding stator dari kontaminasi kotoran atau dengan cara mengeringkan winding stator.

Tabel 2.3 Kondisi Isolasi berdasarkan Indeks Polarisasi<sup>8</sup>

Kondisi	Indeks Polarisasi
Berbahaya	< 1,0
Jelek	1,0 - 1,1
Dipertanyakan	1,1 - 1,25
Baik	1,25 - 2,0
Sangat baik	Di atas 2.0

Untuk isolasi belitan yang baik, nilai Indeks Polarisasi harus minimum 1.25 pada pengukuran di temperatur 20 °C.

- Nilai Indeks Polarisasi dibawah diantara 1.25 - 2 , peralatan masih dapat dioperasikan, tapi perlu pengawasan dan pemantauan berkala.
- Nilai Indeks Polarisasi dibawah 1.25, 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.

---

<sup>8</sup> IEE Std 43-2000(R2006)