

BAB II

TRANSFORMATOR DAN MINYAK ISOLASI

2.1 Transformator dan Minyak Isolasi

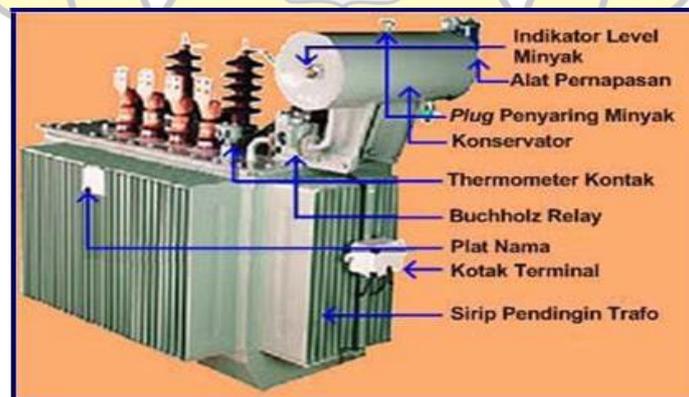
Pada umumnya pada suatu transformator tegangan tinggi terbagi dalam beberapa bagian utama yaitu, inti besi, kumparan transformator, bushing, peralatan proteksi (berbagai macam rele), tangki konservator dan sistem isolasi berupa isolasi cair (minyak transformator) dan isolasi padat (kertas/selulosa). dari beberapa bagian utama yang ada pada transformator tersebut, sistem isolasi yang terdiri dari minyak transformator dan isolasi kertas merupakan bagian paling utama yang perlu pemeliharaan dengan baik . [Abdul Kadir , 1989]

Kelangsungan operasi dan umur dari transformator sangat bergantung pada umur dan kualitas sistem isolasi. Salah satunya adalah kualitas dari sistem isolasi minyak transformator. Minyak transformator selain berfungsi sebagai isolasi dan pendingin, juga mempunyai sifat dapat melarutkan gas-gas yang timbul akibat kerusakan sistem isolasi baik isolasi pada (*cellulose*) maupun isolasi cair (minyak transformator) selama dalam operasinya. Selama transformator beroperasi maka di dalam minyak transformator akan mengalami beban berupa medan listrik dan juga beban thermal yang berasal baik dari belitan maupun inti trafo. Pemakaian transformator dalam jangka panjang dapat menyebabkan minyak trafo akan mengalami penurunan karakteristik dielektrik, fisik dan kimia. Selain itu juga menyebabkan timbulnya gas-gas terkarut yang berada dalam minyak transformator. [Abdul Kadir , 1989]

Berbagai faktor yang diperkirakan mempengaruhi ketembusan minyak transformator seperti luas elektroda, jarak celah, pendinginan perawatan sebelum pemakaian (elektroda dan minyak), pengaruh kekuatan dielektrik dai minyak transformator yang diukur serta kondisi pengujian minyak transformator itu sendiri juga mempengaruhi kekuatan dielektrik minyak transformator. Ketahanan isolasi minyak dapat juga dipengaruhi iklim, yaitu berupa suhu dan kelembaban udara di sekitar nya. Karakteristik pada isolasi minyak trafo akan berubah jika terjadi ketidak murnian di dalamnya akibat lama pemakaian serta tingkat pembebanan yang bervariasi. Pemakaian transformator dengan beban yang cukup tinggi menyebabkan kuat medan dan temperatur yang tinggi. Hal ini akan mempercepat terjadinya proses kegagalan. [Abdul Kadir, 1989]

- Bagian-bagian Transformator
Bagian transformator terdiri yaitu: [Abdul Kadir, 1989]

6 Bagian umum



Gambar 2.1 Bagian-bagian Transformator [Abdul Kadir, 1989]

4. Inti Besi

Berfungsi untuk mempermudah jalannya fluks magnetik yang di timbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Kumparan tersebut terdiri atas kumparan primer dan sekunder yang diisolasi.

5. Kumparan Besi

Kumparan transformator merupakan beberapa lilitan kawat berisolasi yang

membentuk suatu kumparan. kumparan tersebut terdiri atas kumparan primer dan sekunder yang diisolasi. kumparan tersebut berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

6. Minyak transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti transformator tenaga direndam dalam minyak transformator. terutama transformator daya yang memiliki daya yang besar.

7. Busing

Busing merupakan sebuah konduktor yang dilapisi oleh isolator. yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan bagian luar transformator. Busing biasanya kita lihat dalam bentuk penghubung antara kumparan transformator ke jaringan yang ada di luarnya.

8. Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak transformator berada (di tempatkan) dalam tangki. untuk menampung pemuain minyak transformator, tangki dilengkapi dengan konservator.

9. Nama Plat

Nama plat memuat data-data spesifikasi mekanis dan elektris pada transformator, sangat penting sebagai informasi yang diperlukan untuk mengenali transformator yang akan digunakan.

10. Thermometer Kontak

Untuk mendeteksi panas / suhu pada Transformer dan dilengkapi dengan relay untuk melindungi trafo pada pemakaian lebih atau sirkulasi udara ruangan yang kurang maksimal.

11. Sirip Pendingin

Bagian pinggir transformator yang berfungsi untuk mendinginkan transformator.

12. Alat Pernapasan

Untuk mengatur masuknya udara pada minyak transformator, yaitu mengatur suhu pada minyak transformator yang berubah-ubah. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara di luar masuk ke dalam tangki. kedua proses tersebut di sebut pernapasan transformator.

7 Peralatan bantu

7.1 Pendingin Transformator

Transformator tenaga umumnya dilengkapi dengan sistem pendingin, yang dimaksud agar transformator dapat berkerja sesuai rating yang tertera pada *nameplate*. Pada sistem transmisi 20 kV, transformator menggunakan pendingin ONAN.

Sistem pengalirannya (sirkulasi) dapat di bagi menjadi 2 klasifikasi:

7.1.1 Alamiah (nature)

7.1.2 Tekanan / paksaan (forced)

Tabel 2.1 Pendinginan Transformator

No.	Macam Sitem Pendingin	Media			
		Di dalam Transformator		Di luar Transformator	
		Sirkulasi alami	Sirkulasi paksa	Sirkulasi alami	Sirkulasi paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara

5	AFAN	-	Udara	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			

[SPLN (NO 50 1991 dan IEC 1997)]

Keterangan :

A = *Air* (udara)

O = *Oil* (minyak)

N = *Natural* (alamiah)

F = *Forced* (paksaan / tekanan) W = *Water* (air)

2.2 Sistem Isolasi Transformator

Isolasi transformator berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang memiliki beda tegangan agar tidak terjadi percikan ataupun lompatan bunga api di antara bagian-bagian tersebut. Selain itu isolasi transformator juga dapat berfungsi sebagai pendingin (*cooling*). Isolasi cair banyak digunakan pada peralatan listrik seperti pemutus tenaga, transformator dan lain sebagainya. [Abdul Kadir, 1989]

Pada transformator, akan timbul panas, baik yang dibangkitkan oleh kumparan tembaga maupun inti besi. Jika panas tersebut tidak di salurkan atau tidak dilakukan pendinginan, maka akan ada bagian dari peralatan yang akan rusak apabila panas yang timbul melampaui suhu maksimum yang diperbolehkan. Untuk mengatasi hal ini maka

inti dan kumparan dari transformator dicelupkan ke dalam suatu isolasi cair (minyak diala), yang berfungsi sebagai media pendingin dan media isolasi. [Abdul Kadir, 1989]

2.2.1 Sifat-sifat Isolator Cair

Beberapa sifat yang harus terdapat pada minyak transformator antara lain sebagai berikut : [Transformer Diagnostics, 2003]

1. Tegangan tembus yang tinggi

Tegangan tembus minyak transformator perlu diukur dikarenakan menyangkut kesanggupan minyak untuk menahan tegangan tembus tanpa terjadi kerusakan. tegangan tembus dapat diukur dengan cara memasukan dua buah elektroda bola (setengah bola) kedalam minyak yang hendak diukur. jika diperoleh tegangan tembus yang rendah, maka dapat dikatakan kalau minyak transformator telah terkontaminasi.

2. Faktor kebocoran dielektrik yang rendah

Daya yang hilang dalam operasi suatu transformator disebabkan kehilangan energi menjadi panas, akibat pemecahan molekul-molekul. Hal ini mengakibatkan minyak menjadi kotor atau menghasilkan kotoran berupa logam alkali, koloid bermuatan, dan sebagainya.

3. Viskositas yang rendah

Viskosita merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinu dan merata, tanpa adanya turbelensi dan gaya-gaya lain. Viskositas minyak biasanya diukur dari waktu aliran minyak dengan volume tertentu dan kondisi yang telah diatur. Viskositas minyak transformator merupakan faktor penting dalam aliran konveksi untuk memindahkan panas. Viskositas juga dipakai sebagai dasar pembagian kelas minyak.

4. Titik nyala yang tinggi

Merupakan bahwa minyak dapat dipanaskan sampai suhu tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya.

5. Massa jenis yang rendah

Massa jenis merupakan perbandingan massa suatu volume cairan dengan volume dan suhu yang sama. Massa jenis minyak transformator lebih kecil dibandingkan air, oleh karena itu, adanya air dalam minyak transformator akan mudah untuk dipisahkan, karena air akan turun ke bawah sehingga akan lebih mudah dikeluarkan tangki minyak transformator atau pada tangki pemutus tenaga.

6. Kestabilan kimia dan penyerapan gas yang baik

Kestabilan ini penting terutama terhadap oksidasi, sehingga dapat dievaluasi kecenderungan minyak membentuk asam dan kotoran zat padat. Asam dan kotoran zat padat yang terbentuk akibat oksidasi akan menurunkan kemampuan minyak transformator menahan tegangan tembus. Selain itu air dan asam menyebabkan korosi terhadap logam yang ada di transformator, sedangkan kotoran zat padat akan menyebabkan perpindahan panas (*heat transfer*) dalam proses pendinginan transformator terganggu.

7. Resistivitas

Resistivitas merupakan kemampuan suatu partikel zat untuk menghantarkan (konduktor). Resistivitas yang rendah menunjukkan bahwa minyak tersebut sudah mengalami kontaminasi oleh bahan/zat yang bersifat kondisi

2.3 Minyak Isolasi Transformator

Minyak transformator merupakan bahan isolasi cair, minyak ini secara luas digunakan sebagai bahan dielektrik pada berbagai peralatan tenaga seperti transformator. Sebagai bahan dielektrik minyak transformator berfungsi ganda. Fungsi utama adalah sebagai media isolasi diantara bagian-bagian yang mengandung beda potensial agar tidak terjadi lompatan listrik (*flash over*) atau percikan api (*spark-over*), dan fungsi lainnya sebagai media pendingin pada transformator, kabel daya, atau sebagai media pemadam busur api pada circuit breaker. [*Abdul Kadir, 1989*]

Minyak transformator mineral tersusun atas senyawa utama hydrocarbon yang

terdiri atas senyawa hydrocarbon parafanik, senyawa hydrocarbon neftenik dan senyawa hydrocarbon aromatic. selain ketiga senyawa itu masih mengandung senyawa tambahan zat aditif yang kandungannya kecil yang berguna untuk meningkatkan pengaruh oksidasi, penyerapan gas dan sebagainya. [*Abdul Kadir , 1989*]

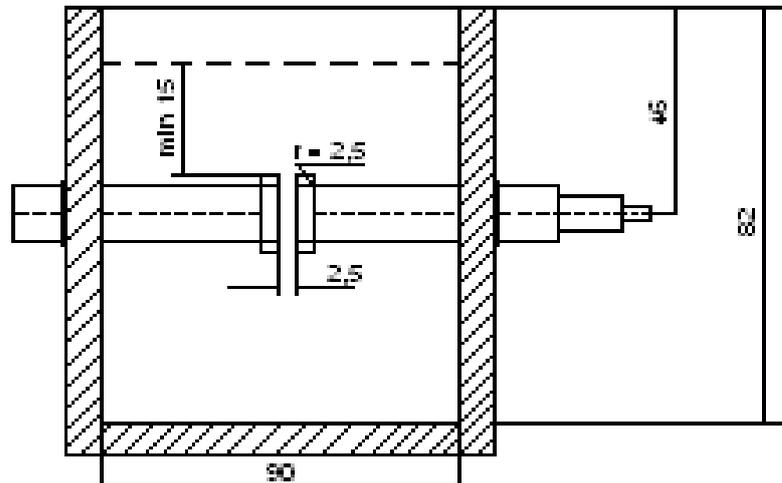
Minyak transformator mempunyai sifat yang sama seperti sebuah isolasi dan media pemindah, sehingga minyak transformator tersebut dapat berfungsi sebagai media pendingin dari isolasi. Minyak transformator harus memenuhi persyaratan, yaitu : [**BL, Theraja, AK Theraja, 2005**]

- Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak transformator harus kelas 1 dan 2 untuk minyak baru dan belum di filter > 10 kV / 2.5mm dan setelah di filter yaitu > 20 kV / 2.5mm.
- Penyalur panas yang baik, berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- Viskositas yang rendah, agar agar lebih mudah bersikulasi dan memiliki kemampuan pendinginan menjadi lebih baik. pada IEC 296 Viskositas menjadi kelas 1 saat suhu 40⁰ C adalah < 16.5 cSt.
- Titik nyala yang tinggi dan tidak mudah menguap yang dapat menimbulkan bahaya.
- Tidak merusak bahan isolasi padat dan sifat kimia yang stabil.

[**BL, Theraja, AK Theraja, 2005**]

Sebagai bagian isolas, minyak transformator harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi. Pengujian tegangan tembus minyak transformator dapat dilakukan dengan menggunakan peralatan seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini.

Gambar 2.2 Skema Alat Pengujian Tegangan Tembus



[BL, Theraja, AK Theraja, 2005]

2.3.1 Dielektrik Cair

Kekuatan dielektrik cair merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa menahan tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan dielektrik. kekuatan dielektrik cair tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri, material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan sebagainya yang dapat merubah sifat molekul cairan. [Transformer Diagnostics, 2003]

Dalam isolasi cair kekuatan dielektrik setara dengan tegangan yang terjadi. menurut hukum paschen's, kekuatan dielektrik cair berkisar antara 10^7 V/cm. Dielektrik cair akan mengisi volume ruang yang harus diisolasi dan secara simultan akan mendisipasikan panas yang timbul secara konveksi. Dielektrik cair mempunyai kerapatan 1000 kali lebih besar dan lebih tinggi dari pada dielektrik gas. Kelebihan lain dari dielektrik cair murni yaitu mempunyai kemampuan untuk memperbaiki diri sendiri jika terjadi suatu pelepasan muatan (*discharge*). salah satu kelemahan dielektrik cair yaitu mudah terkontaminasi. [Transformer Diagnostics, 2003]

2.3.2 Sifat-sifat Dilektrik

A. Sifat Fisika

Sifat-sifat fisika menjelaskan sifat isolasi cair secara umum yang nantinya digunakan dalam proses perencanaan peralatan. Sifat-sifat fisika yang terpenting adalah : [Transformer Diagnostics, 2003]

- a) Kejenihan (*Appearance*)
- b) Massa jenis (*Density*)
- c) Viskositas kinematik (*kinematic viscosity*)
- d) Titik nyala (*Flash point*)
- e) Titik tuang (*Pour point*)
- f) Angka kenetralan

B. Sifat Kelistrikan

Adapun sifat-sifat kelistrikan dari isolasi cair antara lain : [Transformer Diagnostics, 2003]

- a) Tegangan tembus atau gagal (*Breakdown Volatge*)
- b) Resistivitas (*Resistivity*)
- c) Faktor kebocoran dielektrik (*Dielektric dissipation faktor*)
- d) Permittivitas (*Permittivity*)

2.3.3 Kertas Isolasi

Kertas Isolasi pada transformator mempunyai fungsi memisahkan bagian konduktor-konduktor yang ada pada pada transformator, yaitu kumparan dan inti besi. Isolasi kertas sendiri digunakan untuk mencegah hubung singkat antara kawat pada bagian primer terhadap bagian sekunder. [Abdul Kadir , 1989]

2.4. Jenis-jenis Kegagalan Transformator Akibat Kontaminasi Minyak Isolasi

a. *Overheating*

Ketika transformator yang beroperasi kelebihan beban, maka akan menghasilkan panas yang berlebih dan dapat memperburuk isolasi. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan hasil DGA menunjukkan *karbon monoksida* dan *karbon dioksida* tinggi. Dalam kasus dengan suhu yang lebih hasil penelitian menunjukkan gas metana dan etilena berada pada tingkat yang lebih tinggi. [**Abdul Kadir , 1989**]

Korona

Korona adalah terlepasnya muatan listrik dari permukaan konduktor. Modus terlepasnya muatan ini dalam skala besar dapat terlihat oleh mata telanjang, sedangkan dalam skala kecil tidak dapat terlihat oleh mata. Korona terjadi dikarenakan kadar *hidrogen* yang tinggi pada minyak isolasi. Gas hidrogen adalah gas satu-satunya yang menghasilkan korona namun terkadang gas hidrogen juga terbentuk akibat adanya reaksi kimia antara kandungan air yang berada dalam minyak logam. [**Abdul Kadir , 1989**]

b. Arcing (busur api)

Arcing adalah gangguan yang paling berbahaya pada minyak isolasi dan transformator yang diakibatkan oleh gas *asetilena* pada minyak isolasi Gas-gas yang timbul karena gangguan ini adalah : H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CH_4 , munculnya busur api dalam minyak isolasi ditandai dengan pembentukan gas- gas hidrogen dan asetilena sebagai gas-gas yang paling dominan. [**Abdul Kadir , 1989**]