

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu pembuatan Proyek Akhir ini, dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian.

1. Kadir, Abdul. 1989. PT. Elex Media Koputindo, dengan buku yang berjudul "Transformator" menjelaskan mengenai karakteristik dari transformator.
2. Hudaya, Anwar. 1981. Universitas Pakuan, dengan skripsi yang berjudul "Pengaruh trafo Mineral Terhadap Kualitas Tegangan Tembus, Angka Kenetralan, dan Kadar Air" menjelaskan mengenai pengujian transformator.
3. Safitri, Hidayah. 2010. STT-PLN S1 Teknik Elektro, dengan skripsi yang berjudul "Penggunaan Tegangan Tembus Minyak Transformator dan Analisa Pada Transformator Distribusi di PT. PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Area Cikokol" menjelaskan mengenai permasalahan pada minyak transformator.

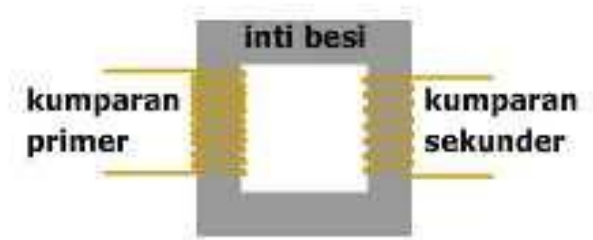
2.2. Transformator (Trafo)

Transformator merupakan peralatan statis dimana rangkaian dan belitan yang terdiri dari dua atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama. *Transformator* menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum ampere dan Hukum Faraday, yaitu perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet/fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi. Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan fluks magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, fluks magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan

terdapat beda potensial/tegangan induksi.

2.3 Bagian-bagian Transformator

Berikut ini merupakan bagian-bagian dari transformator :



Gambar 2.1 Inti Besi dan Kumparan Pada Transformator

1. Inti besi

Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya fluks 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 dengan maksud untuk mengurangi *eddy current* yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi-rugi (*losses*).

2. Belitan

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 fluks magnetik.

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 bodi tangki transformator.



Gambar 2.2 *Bushing* Pada Transformator

4. Konservator



Gambar 2.3 Konservator Transformator

Kenaikan suhu operasi pada *transformator* isolasi akan menuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. *Konservator* dingunkan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu. Volume minyak di *konservator* akan mengalami perubahan akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar (untuk tipe *konservator* tanpa rubber bag), maka udara yang akan masuk kedalam *konservator* akan difilter melalui *silicalgel* sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.

Minyak *transformator* tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini *konservator* dirancang dengan menggunakan *breather bag/rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator. *Silicalgel* sendiri memiliki batasan kemampuan untuk menyerap kandungan air sehingga pada periode tertentu *silicalgel* tersebut harus dipanaskan bahkan perlu dilakukan penggantian. *Dehydrating Breather* merupakan teknologi yang berfungsi untuk mempermudah pemeliharaan *silicalgel*, dimana terdapat pemanasan otomatis ketika *silical* mencapai kejenuhan tertentu.

5. Pendingin



Gambar 2.4 Silicagel Dari Transformator

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 transformator, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar dari transformator.

Maka yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa : udara/gas, minyak dan air. Pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara :

- a. Alamiah (natural)
- b. Tekanan paksaan (forced)

Pada transformator distribusi pendinginan dilakukan dengan menggunakan minyak transformator dan radiator (bentuk sirip yang

diletakkan di tangki yang juga merupakan bagian dari tangki) serta mengandalkan pada hembusan udara alami sehingga disebut dengan sistem pendinginan ONAN (*oil natural* air natural)

6. *Tap Changer* (perubah tap)



Gamabr 2.5 *Tap Changer* Transformator

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 sehingga dapat merubah *ratio* antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan buspen berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian *ratio* belitan ini disebut *Tap changer*.

Ratio belitan akan mengalami perubahan dan dapat dilakukan pada saat *transformator* sedang berbeban (*On Load tap changer*) atau saat *transformator* tidak berbeban (*Off circuit tap changer/De Energize Tap Changer*)

Tap changer terdiri dari :

- a. *Selector Switch*
- b. *Diverter Switch*

c. Tahanan transisi

Aktivitas *tap changer* lebih dinamis 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.

7. Indikator

Untuk mengawasi selama trafo beroperasi, maka perlu adanya indikator pada trafo sebagai berikut:

- a. indikator suhu minyak
- b. indikator permukaan minyak
- c. indikator tekanan
- d. indikator sistem pendingin
- e. indikator kedudukan tap

8. NGR (*Natural Grounding*)

Metode pentahanan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan neural sekunder pada *transformator* sebelum terhubung ke *ground*/tanah. Tujuannya dipasang *NGR* adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah. Ada 2 jenis NGR (*Neutral Grounding Resistor*)

a. *Liquid*

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

b. *Solid*

NGR jenis padat terbuat dari *stainless Steel*, FeCrAl, Cast Iron, Copper Nikel atau Nichrome yang diatur sesuai nilai

tahanannya

9. Proteksi transformator

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 mudah terbakar. Tekanan atau gelembung gas tersebut akan naik ke *konsektor* melalui pipa penghubung dan *rele bucholz*. Tekanan minyak maupun gelembung gas ini akan dideteksi oleh *rele bucholz* sebagai indikasi telah terjadinya gangguan internal.

2.4. Hukum Induksi Faraday

Hukum utama yang mengatur bidang ketransformatoran adalah hukum induksi Faraday. Menurut hukum ini, integral garis suatu gaya listrik melalui suatu garis lengkung yang tertutup, berbanding lurus dengan perubahan per satuan waktu dari arus induksi, atau fluks yang dilingkari oleh garis lengkung itu. Sedangkan arus induksi atau fluks itu didefinisikan sebagai integral permukaan induksi magnet melalui suatu luas, yang dibatasi oleh garis lengkung tersebut di atas. Apabila arah, yang dianggap positif dari fluks, mempunyai tertib siklus ke kanandengan arah yang dipandang positif bagi integral garis gaya listrik, maka perbandingan itu memiliki tanda negatif. Dalam rumus, hukum Faraday berbentuk sebagai berikut :

$$\oint F^i \cdot d\vec{\ell} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot d\vec{S} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- F^i = gaya listrik yang disebabkan induktif (V/m)
- $d\ell$ = unsur panjang integral miring (m)
- dt = unsur waktu (detik)
- dS = unsur luas permukaan S (m^2)
- B = induksi magnet (Wb/m^2)
- = tanda selaku besaran vektor

Perlu didikemukakan bahwa luas S, yang dilalui integral B, diliputi oleh

pembuatan integral F^i .

Sedangkan rumus untuk induksi berbentuk sebagai berikut:

$$v = \int_s \bar{B} \cdot \overline{dS} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

v	= arus induksi atau fluks	(Wb)
B	= induksi magnet	(Wb/m ²)
dS	= unsur luas permukaan S	(m ²)

2.5. Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti transformator tenaga direndam dalam minyak transformator, terutama transformator-transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak transformator tersebut sebagai media pendingin dan isolasi.

2.6. Sistem Pendingin Pada Transformator

Transformator umumnya diisi minyak sebagai bahan isolasi antara kumparan dan kumparan dengan kaki. Transformator tenaga umumnya dilengkapi dengan sistem pendingin, yang dimaksudkan supaya transformator dapat bekerja sesuai rating yang tertera pada spesifikasinya. Apabila pada transformator tersebut mengalami panas yang berlebihan maka sistem pendingin yang ada pada transformator tersebut sangatlah penting untuk menjaga kerja transformator tersebut. Sistem pendingin menempati posisi yang cukup penting bila dikaitkan dengan umur transformator tersebut. Sistem pendingin menempati posisi yang cukup penting bila dikaitkan dengan umur transformator tersebut. Panas berlebihan yang terjadi pada transformator umumnya disebabkan oleh :

1. Pabrik yang membuat transformator berusaha untuk merancang transformator yang seoptimal mungkin, guna untuk memperoleh daya yang maksimum. Sehingga transformator cenderung semakin cepat panas.

2. pemakai transformator sering mengabaikan kemampuan transformator yang mereka pergunakan dengan membebani transformator tersebut diatas daya pengenalnya.

Tipe pendingin transformator adalah secara alami dan paksaan. Sistem pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara :

1. Alamiah (*natural*)
2. tekanan/paksaan (*forced*)

2.7. Minyak Transformator Sebagai Bahan Isolasi

Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa kekentalan, hal ini sebagaimana dijelaskan dalam SPLN (49-1:1980). Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut:

1. Kejernihan

Kejernihan minyak isolasi tidak boleh mengandung 12 uspanse atau endapan (sedimen).

2. Massa Jenis

Massa jenis dibatasi agar air tidak dapat berpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang.

3. Viskositas Kinematika

Viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, yakni untuk menentukan kelas minyak.

4. Titik Nyala

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gabar yang mudah terbakar.

5. Titik Tuang

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.

6. Angka Kenetralan

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusutan minyak dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan percobaan kimia atau indikasi percobaan kimia dalam

bahan tambangan.

7. Korosi Belerang

Korosi belerang kemungkinan dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi.

8. Tegangan Tembus

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran, atau partikel konduktif dalam minyak.

9. Kandungan Air

Adanya air dalam isolasi menyebabkan menurunnya tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi akan mempercepat kerusakan serta pengisolasi.

2.8. Sifat Listrik Minyak Transformator

Sifat listrik adalah sifat benda yang muncul karena adanya muatan listrik.

Yang termasuk dalam sifat listrik adalah :

1. Tegangan Tembus

Tegangan tembus yang tinggi sangat diperhatikan pada suatu minyak transformator. Sifat ini dihubungkan dengan kemampuan minyak transformator untuk dapat menahan elektrik stress tanpa kerusakan. Di dalam transformator akan terdapat medan listrik yang sangat besar sehingga dibutuhkan semacam penahan diantara keduanya agar tidak terjadi lompatan listrik yang dapat menimbulkan kegagalan.

2. Kebocoran Dielektrik

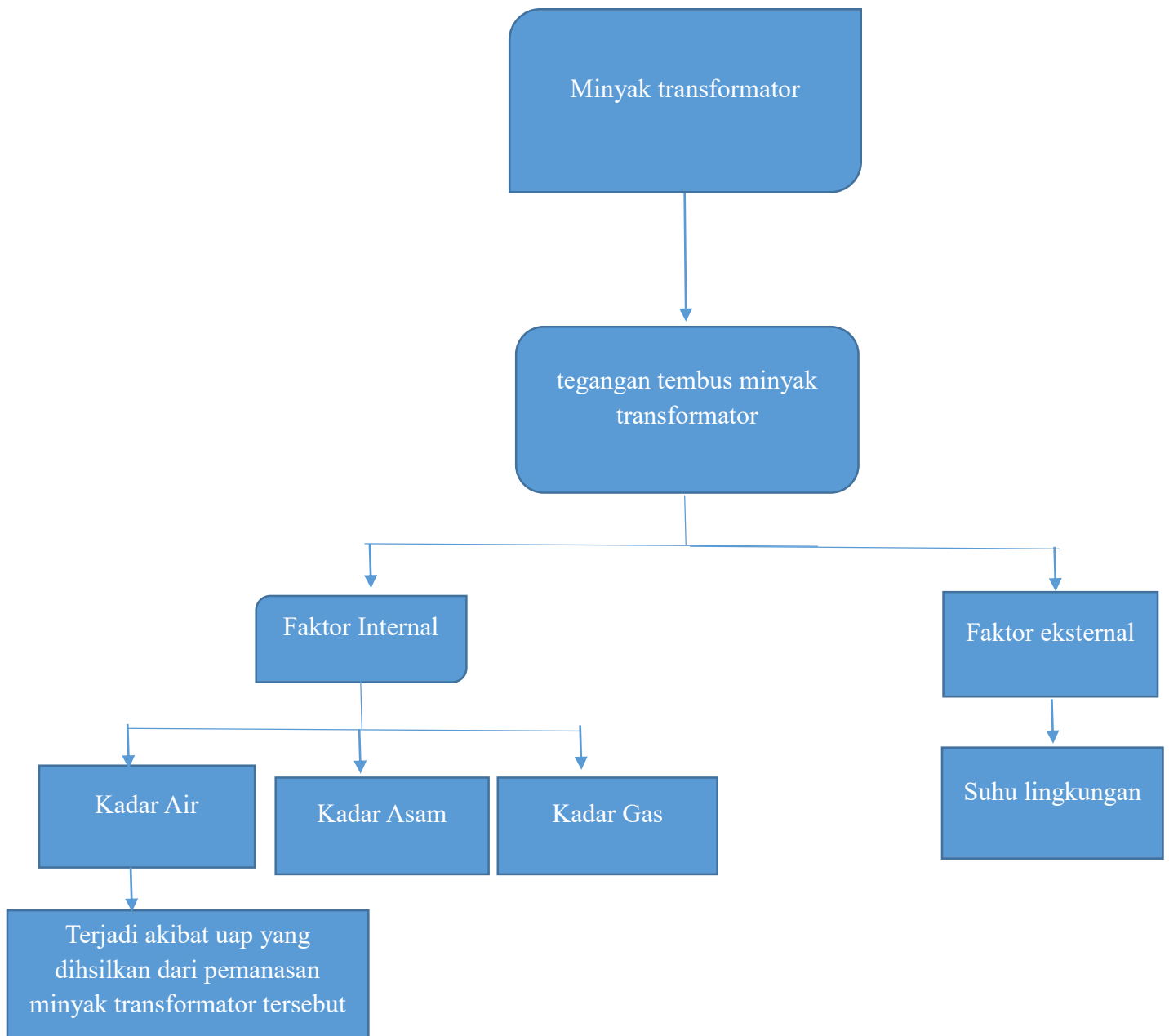
Daya yang hilang dalam operasi suatu transformator disebabkan kehilangan energi menjadi panas, akibat pemecahan molekul-molekul. Hingga harga faktor kehilangan dielektrik yang tinggi menunjukkan adanya kontaminasi atau terjadinya oksidasi yang mengakibatkan minyak menjadi kotor. Oleh karena itu, kebocoran dielektrik yang rendah menjadi faktor yang perlu diperhatikan pada minyak transformator.

3. Resisstivitas

Resistivitas erat hubungannya dengan partikel zat yang bersifat penghantar. Resistivitas yang rendah menunjukkan bahwa minyak tersebut terkontaminasi oleh bahan zat yang bersifat konduktif seperti air, asam, partikel muatan dan lainnya. Suatu cairan dapat digolongkan sebagai isolasi cair bila resistivitasnya lebih besar dari 10^9W-m . Pada system tegangan tinggi resistivitas yang diperlukan untuk material isolasi adalah 10^{16}W-m .

Dikarenakan faktor usia, minyak transformator menjadi semakin hitam dengan adanya campuran minyak kotor dan asam atau kotoran dari cairan itu. Sebagian dari asam tersebut bersifat korosif terhadap tembaga dan didalam rongga-rongga transformator dapat mengurangi sirkulasi dari minyak dan juga menghambat penghantaran panas. Agar minyak transformator berfungsi dengan baik, kualitas minyak harus sesuai dengan standar kebutuhan.

2.9 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.6. Kerangka Pemikiran