

## BAB II

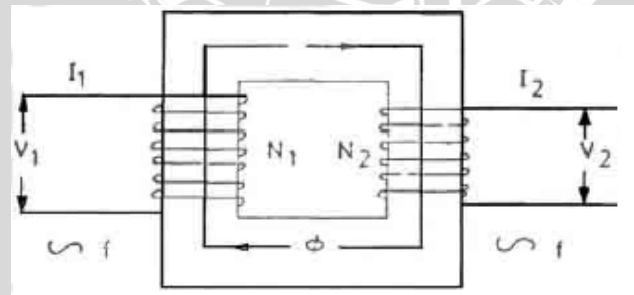
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator Daya

##### 2.1.1 Pengertian Transformator Daya

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk meneruskan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah ataupun sebaliknya. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak/berputar, tidak seperti motor ataupun generator. Perubahan tegangan dilakukan dengan memanfaatkan prinsip induktansi elektromagnetik pada lilitan. (Hardityo, 2008: 17)

Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder. (Hardityo, 2008: 17)



Gambar 2.1 Bagan Transformator

Sumber : Hardityo

Dengan adanya arus bolak – balik (AC) yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga didalam inti besi akan timbul flux magnet dan flux magnet ini akan dihantarkan inti besi ke belitan sekunder, sehingga pada ujung belitan sekunder akan timbul ggl induksi. (Iryanto, 2010: 2)

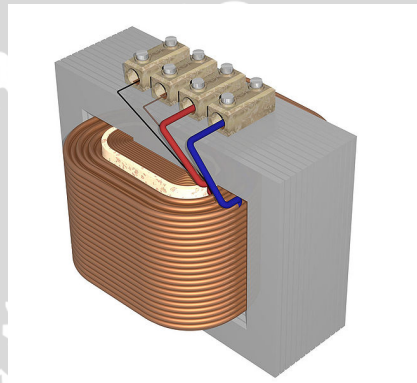
## 2.1.2 Bagian-Bagian Transformator

Transformator terdiri dari :

### 2.1.2.1 Bagian Utama

#### 1) Inti Besi :

Berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh *Eddy Current* dimana dapat dilihat pada Gambar 2.2. (Efendi, 2011: 15)

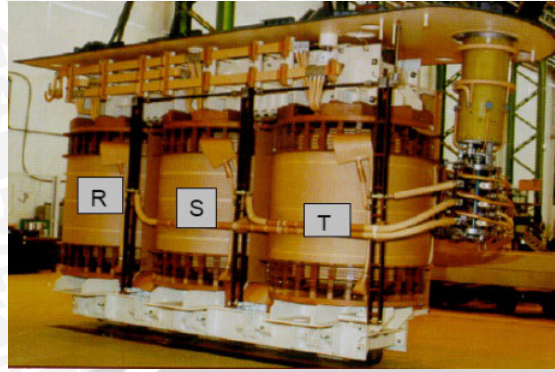


Gambar 2.2 Inti Besi Transformator

Sumber : Wikipedia

#### 2) Kumparan Transformator

Adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus yang dapat dilihat pada Gambar 2.3. (Efendi, 2011: 15)



Gambar 2.3 Kumbaran Transformator

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

3) Minyak Transformator :

Sebagian besar kumbaran-kumbaran dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi yang dapat dilihat pada Gambar 2.4. (Efendi, 2011: 15)



Gambar 2.4 Minyak Transformator

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

4) *Bushing* :

Hubungan antara kumbaran trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. (Efendi, 2011: 16)





Gambar 2.5 Bushing Transformator

Sumber: Dokumentasi GI Sengkaling

#### 5) Tangki-Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator yang dapat dilihat pada Gambar 2.6. (Efendi, 2011: 16)



Gambar 2.6 Tangki-Konservator Transformator

Sumber: Dokumentasi GI Sengkaling

#### 2.1.2.2 Peralatan Bantu

##### 1) 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 transformator). Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/ sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator

Pada cara alamiah (natural), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antara

media (minyak-udara/gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (Radiator). Dapat dilihat pada Gambar 2.7. (Efendi, 2011: 16)



Gambar 2.7 Radiator Sebagai Pendingin

Sumber: Dokumentasi GI Sengkaling

Jenis Pendinginan ada 3 macam yaitu:

1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*)
2. ONAF (*Oil Natural Air Force*)
3. OFAF (*Oil Force Air Force*)

Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara dan air. Cara ini disebut pendingin paksa (*Forced*). Dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Kipas Pendingin Transformator

Sumber: Dokumentasi GI Sengkaling

## 2) *Tap Changer* (Perubahan Tap)

*Tap changer* adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (dinginkan) dari



tegangan jaringan / primer yang berubah-ubah. Tap changer yang hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban disebut “*Off Load Tap Changer*” dan hanya dapat dioperasikan manual. (Efendi, 2011: 17)

### 3) Indikator

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

- Indikator suhu minyak
- Indikator permukaan minyak.
- Indikator sistem pendingin.
- Indikator kedudukan tap.

Dapat dilihat pada Gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Indikator Pada Transformator

Sumber: Dokumentasi GI Sengkaling

## 2.2 Minyak Transformator

Minyak transformator adalah merupakan bahan isolasi cair (isolator) yang dipergunakan sebagai bahan isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagai bahan isolasi minyak transformator harus memiliki kemampuan diantaranya adalah sebagai berikut (PT.PLN (Persero) P3B, 2003):

- a. Menahan terhadap tegangan tembus (semakin tinggi nilai tegangan tembusnya maka kualitas isolasinya akan semakin baik).
- b. Sebagai bahan pendingin yang harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebih perlu dilengkapi dengan system pendinginan untuk menyalurkan panas dari transformator.

- c. Sebagai media untuk memadamkan busur api karena pada saat beroperasi transformator dapat menghasilkan senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan adanya dampak gangguan, kenaikan suhu yang berlebih akan memungkinkan terjadinya loncatan bunga api didalam belitan transformator tersebut.
- d. Melindungi belitan dan body transformator dari terjadinya oksidasi dan korosi. Minyak transformator adalah minyak mineral yang diperoleh dengan pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak juga berasal dari bahan organic seperti piranol dan silicon.

Adapun ketahanan listrik minyak transformator secara kimia dapat menurun akibat adanya pengaruh asam dan pengaruh tercampurnya minyak dengan air. Untuk menetralsir keasaman tersebut dapat digunakan potas hidroksida (KOH). Untuk menghilangkan kandungan yang terdapat dalam minyak dengan memberikan suatu bahan higroskopis yaitu silicagel. (SPLN 49-1, 1982)

Ada beberapa alasan penggunaan isolasi cair ini adalah:

- a. Isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri jika terjadi pelepasan muatan.
- b. Isolasi cair (sebagai minyak transformator) mempunyaii kerapatan 1000 kali lebih baik dibandingkan dengan udara.
- c. Isolasi cair dapat mengisi celah atau ruang yang akan diisolasi dan sekaligus menyerap dan menghilangkan panas yang timbul akibat rugi-rugi energy melalui proses konveksi.

Ada beberapa bahan isolator cair, diantaranya:

- a. Minyak Organik

Kelompok minyak organic meliputi minyak sayur, minyak dammar dan ester.

- b. Minyak Mineral

Minyak mineral diketahui berisi berbagai jenis molekul dan secara luas dapat digolongkan ke dalam jenis yang mengandung malam (parafin).

c. Minyak Sintetis

Merupakan hasil pengembangan bidang industry kimia. Contoh minyak jenis sintetis adalah *askarel* dan minyak silikon. (Nugraha, 2010: 2)

Minyak isolator harus memiliki beberapa standard karakteristik minyak yang dijelaskan dalam SPLN 49-1, 1982. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut:

1. Kejernihan penampilan

Warna minyak yang baik adalah warna yang jernih dan bersih, selama dioperasikan minyak isolator akan melarutkan endapan. Semakin banyak endapan yang terlarut, maka warna minyak akan semakin gelap

2. Viskositas kinematik

Merupakan tahanan dari cairan untuk mengalir kontinu dan merata tanpa adanya gesekan dan gaya-gaya lain. Semakin rendah viskositas, semakin bagus pula konduktivitas termalnya sehingga semakin bagus kualitas dari minyak trafo tersebut.

3. Massa jenis

Merupakan perbandingan massa suatu volume cairan pada temperatur  $15.56^{\circ}\text{C}$  dengan massa air pada volume dan temperatur yang sama. Massa jenis trafo harus lebih rendah daripada air.

4. Titik nyala

Menunjukkan bahwa minyak transformator dapat dipanaskan sampai temperatur tertentu sebelum uap yang timbul menjadi api yang berbahaya. Semakin tinggi titik nyala maka akan semakin baik.

5. Titik tuang

Merupakan temperature terendah saat minyak masih akan terus mengalir saat didinginkan pada temperatur dibawah temperatur normal. Minyak isolator diharapkan memiliki titik tuang yang serendah mungkin.



6. Angka kenetralan

Merupakan angka yang menunjukkan penyusutan asam minyak isolator dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia, cacar atau indikasi perubahan kimia bahan tambahan.

7. Kemantapan oksidasi

Proses oksidasi menyebabkan bertambahnya kecenderungan minyak untuk membentuk asam dan kotoran zat padat yang nantinya akan membentuk endapan. Asam menyebabkan korosi pada logam dalam peralatan transformator sedangkan kotoran zat padat menyebabkan transfer panas menjadi terganggu.

8. Kandungan air

Adanya air dalam minyak transformator akan menurunkan tegangan tembus dan tahanan jenis minyak, serta memacu munculnya *hot spot* sehingga nantinya akan mempercepat kerusakan isolator kertas. Maka dari itu minyak transformator diharapkan memiliki kandungan air serendah mungkin.

9. Tegangan tembus

Tegangan tembus merupakan kemampuan untuk menahan tegangan elektrik. Kandungan air bebas dan partikel-partikel konduktif dapat menaikkan tingkat tegangan elektrik dan menurunkan nilai tegangan tembus. Minyak isolator diharapkan memiliki tegangan tembus yang tinggi.

10. Faktor kebocoran dielektrik

Merupakan ukuran dari *dielectric losses* minyak. Tingginya nilai faktor kebocoran dielektrik menunjukkan adanya kontaminasi atau hasil kerusakan misalnya air, hasil oksidasi, logam alkali, koloid bermuatan, dan sebagainya. Pemanasan atau kenaikan temperature minyak isolasi, terjadi bila panas yang timbul lebih besar dari panas yang didisipasinya, maka temperature minyak isolasi akan naik. Apabila hal ini terjadi terus menerus, maka dapat mengakibatkan struktur minyak kimia minyak isolasi tersebut berubah. Dengan berubahnya struktur kimia minyak isolasi tersebut, kekuatan dielektrik minyak isolasi juga akan berubah.

11. Tahanan jenis

Tahanan jenis yang rendah menunjukkan adanya pengotor yang bersifat konduktif.

**2.3 Gas Terlarut Pada Minyak Transformator**

Minyak transformator merupakan sebuah campuran kompleks dari molekul-molekul hidrokarbon, dalam bentuk linier atau siklus, yang mengandung kelompok molekul CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, dan CH yang terikat. Pemecahan beberapa ikatan antara unsur C-H dan C-C sebagai hasil dari kegagalan termal ataupun elektrik akan menghasilkan fragmen-fragmen ion seperti H, CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, CH, dan C yang nantinya akan berkombinasi dan menghasilkan molekul-molekul gas seperti hydrogen (H-H), metana (CH<sub>3</sub>-H), etana (CH<sub>3</sub>-CH<sub>3</sub>), etilen (CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>) ataupun asetilen (CH=CH). Gas-gas ini dikenal dengan istilah *fault gas*. (Hardityo, 2008: 26)

Tabel 2.1 Struktur Kimia Minyak Isolator dan Gas-gas Terlarut pada Minyak Isolator

Mineral Oil	$\left\{ \begin{array}{cccccccc} \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \\   &   &   &   &   &   &   &   \\ -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   &   &   &   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} \right.$	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	Ethylene	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{C} & = & \text{C} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
Hydrogen	H-H	H <sub>2</sub>	Acetylene	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{C} & = & \text{C} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
Methane	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$	CH <sub>4</sub>	Carbon Dioxide	O=C=O	CO <sub>2</sub>
			Carbon Monoxide	C≡O	CO
Ethane	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\   &   \\ \text{H}-\text{C} & -\text{C}-\text{H} \\   &   \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	Oxygen	O=O	O <sub>2</sub>
			Nitrogen	N≡N	N <sub>2</sub>

Sumber : Hardityo, 2008: 13

Penyebab utama terbentuknya gas-gas dalam kondisi operasi transformator adalah adanya gangguan-gangguan seperti : (Efendi, 2011: 28)

- *Thermal degradation* (indikasi gas : C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>)
- *Arching* (indikasi gas : H<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)
- Tegangan Tembus (indikasi gas : H<sub>2</sub>)

Semakin banyak jumlah ikatan karbon (ikatan tunggal, ganda, rangkap tiga) maka semakin banyak pula energy yang dibutuhkan untuk menghasilkannya. Hidrogen (H<sub>2</sub>),

metana ( $\text{CH}_4$ ) dan etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) terbentuk oleh fenomena kegagalan dengan tingkat energi yang rendah. Etilen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) terbentuk oleh pemanasan minyak pada temperatur menengah, dan asetilen ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) terbentuk pada temperatur yang sangat tinggi. (Hardityo, 2008, 26)

Gas etana dan etilen sering disebut sebagai “gas logam panas”. Biasanya saat diidentifikasi adanya gas etana dan etilen maka permasalahan yang timbul di dalam transformator umumnya melibatkan logam panas. Hal ini mungkin saja terjadi akibat adanya kontak yang buruk pada *tap-changer* atau sambungan yang jelek pada suatu titik pada rangkaian dalam transformator. Penyebab lainnya adalah kerusakan pada pentanahan rangkaian sehingga muncul arus lebih yang bersirkulasi karena tidak bisa dibuang ke tanah. (Hardityo, 2008: 27)

Gas-gas lain seperti nitrogen dan oksigen juga dapat muncul pada minyak. Nitrogen muncul akibat sisa  $\text{N}_2$  pada saat pengiriman transformator ataupun oleh selimut nitrogen. Munculnya oksigen pada transformator umumnya diakibatkan oleh kebocoran tangki transformator. Penurunan jumlah oksigen pada minyak umumnya menunjukkan kenaikan temperatur yang berlebih pada transformator. Air embun dan gas-gas atmosfer dapat merembes masuk ke dalam saat transformator dimatikan dan temperature ambient menurun drastis. Dengan adanya gas terlarut dalam minyak transformator dapat digunakan untuk mendeteksi atau memperkirakan kondisi transformator yang sedang beroperasi. Caranya dengan menganalisis jenis dan jumlah masing-masing gas terlarut. Data hasil analisis gas terlarut dalam minyak transformator, dapat diperoleh melalui sampling dan analisis di lapangan serta laboratorium. (Hardityo, 2008: 28)

#### **2.4 Pemurnian Minyak Transformator**

Minyak transformator dapat terkontaminasi oleh berbagai macam pengotor seperti kelembaban, serat, resin dan sebagainya. Ketidakmurnian dapat tinggal di dalam minyak karena pemurnian yang tidak sempurna. Pengotoran dapat terjadi saat pengangkutan dan penyimpanan, ketika pemakaian, dan minyak itu sendiri pun dapat membuat pengotoran pada dirinya sendiri

Beberapa metode pemurnian minyak transformator dijelaskan dalam bagian berikut ini :  
(Efendi, 2011: 40)



#### 2.4.1 Mendidihkan (*Boiling*)

Minyak dipanaskan hingga titik didih air dalam alat yang disebut boiler. Air yang ada dalam minyak akan menguap karena titik didih minyak lebih tinggi dari pada titik didih air. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana namun memiliki kekurangan. Pertama hanya air yang dipindahkan dari minyak, sedangkan serat, arang dan pengotor lainnya tetap tinggal. Kedua minyak dapat menua dengan cepat karena suhu tinggi dan adanya udara.

Kekurangan yang kedua dapat diatasi dengan sebuah boiler minyak hampa udara (*vacuum oil boiler*). Alat ini dipakai dengan minyak yang dipanaskan dalam bejana udara sempit (*air tight vessel*) dimana udara dipindahkan bersama dengan air yang menguap dari minyak. Air mendidih pada suhu rendah dalam ruang hampa oleh sebab itu menguap lebih cepat ketika minyak dididihkan dalam alat ini pada suhu yang relatif rendah. Alat ini tidak menghilangkan kotoran pada kendala pertama, sehingga pengotor tetap tinggal. (Efendi, 2011: 40-41)

#### 2.4.2 Alat Sentrifugal (*Centrifuge reclaiming*)

Air serat, karbon dan lumpur yang lebih berat dari minyak dapat dipindahkan minyak setelah mengendap. Untuk masalah ini memerlukan waktu lama, sehingga untuk mempercepatnya minyak dipanaskan hingga 45 - 55 °C dan diputar dengan cepat dalam alat sentrifugal. Pengotor akan tertekan ke sisi bejana oleh gaya sentrifugal, sedangkan minyak yang bersih akan tetap berada ditengah bejana. Alat ini mempunyai efisiensi yang tinggi. Alat sentrifugal hampa merupakan pengembangannya

Bagian utama dari drum adalah drum dengan sejumlah besar piring / pelat (hingga 50) yang dipasang pada poros vertikal dan berputar bersama-sama. Karena piring mempunyai spasi sepersepuluh millimeter, piring piring ini membawa minyak karena gesekan dan pengotor berat ditekan keluar. (Efendi, 2011: 41)

#### 2.4.3 Penyaringan (*Filtering*)

Penyaringan dapat melalui pori-pori penyaring yang kecil, sementara embun atau uap telah diserap oleh kertas yang mempunyai *hygroscopicity* yang tinggi. Jadi *filter press* ini sangat efisien memindahkan pengotor padat dan uap dari minyak yang

merupakan kelebihan dari pada alat sentrifugal. Walaupun cara ini sederhana dan lebih mudah untuk dilakukan, keluaran yang dihasilkan lebih sedikit jika dibandingkan dengan alat sentrifugal yang menggunakan kapasitas motor penggerak yang sama. *Filter press* ini cocok digunakan untuk memisahkan minyak dalam cir. *Filter press* ini cocok digunakan untuk memisahkan minyak dalam *circuit breaker* (CB), yang biasanya tercemari oleh partikel jelaga (arang) yang kecil dan sulit dipisahkan dengan menggunakan alat sentrifugal. (Efendi, 2011: 41)

#### 2.4.4 Regenerasi (*Regeneration*)

Produk-produk penuaan tidak dapat dipindahkan dari minyak dengan cara sebelumnya. Penyaringan hanya baik untuk memindahkan bagian endapan yang masih tersisa dalam minyak. Semua sifat sifat minyak yang tercemar dapat dipindahkan dengan pemurnian menyeluruh yang khusus yang disebut regenerasi.

Dalam dengan menggunakan adsorben untuk regenerasi minyak transformator sering dipakai di gardu induk dan pembangkit. Adsorben adalah substansi yang partikel partikelnya dapat menyerap produk produk penuaan dan kelembapan pada permukaannya. Hal ini ama dilakukan adsorben dalam ruang penyaring tabung gas yang menyerap gas beracun dan membiarkan udara bersih mengalir. Regenerasi dengan adsorben dilakukan lebih menyeluruhbila minyak dicampur asam sulfur. (Efendi, 2011: 41-42)

#### 2.5 Perhitungan Arus Line Primer dan Sekunder Transformator

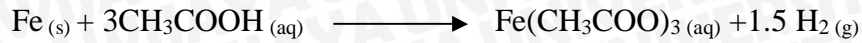
Pada peralatan yang menggunakan sistem isolasi minyak, panas dialirkan secara konveksi. Kenaikan temperatur akan memicu terjadinya oksidasi di dalam minyak transformator. Dengan semakin tingginya pembebanan transformator maka reaksi kimia yang terjadi didalam minyak transformator akan semakin cepat sehingga kandungan asam akan semakin tinggi. Dengan meningkatnya kandungan asam dalam minyak, maka kualitas minyak menjadi menurun.

Reaksi oksidasi di dalam minyak transformator yang menghasilkan asam dan air adalah sebagai berikut :





Dari reaksi diatas terlihat bahwa dihasilkan asam dan air. Asam merupakan zat yang bersifat korosif terhadap logam. Logam akan bereaksi dengan asam dan membentuk gas hydrogen serta garam asetat dengan persamaan reaksi sebagai berikut :



Kandungan asam yang tinggi akan mengakibatkan terbentuknya endapan partikel pengotor didalam minyak transformator. Pada saat terjadi medan listrik, partikel-partikel ini akan terpolarisasi dan membentuk jembatan. Arus akan mengalir melalui jembatan dan menghasilkan pemanasan local serta menyebabkan terjadinya kegagalan.

Untuk mengetahui nilai temperatur minyak transformator, menurut IEEE Std. C57. 104-1991 digunakan persamaan.

$$T (^{\circ}\text{C}) = (100 \cdot C_2\text{H}_4/C_2\text{H}_6) + 150 \dots \dots \dots (2.1)$$

Kenaikan temperatur yang terjadi pada transformator dapat dipengaruhi oleh arus yang mengalir pada transformator, dimana kinerja transformator dapat dipengaruhi oleh temperatur. Kenaikan temperatur yang berpengaruh oleh arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan. (Sawhne, 1990)

$$\theta = \frac{I_s^2 \cdot \rho \cdot t}{\alpha_s^2 \cdot g \cdot h} \text{ } ^{\circ}\text{C} \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

- $\theta$  : kenaikan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $I_s$  : arus yang mengalir (A)
- $\rho$  : resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )
- $\alpha_s$  : luas penampang konduktor ( $\text{mm}^2$ )
- $t$  : waktu (s)
- $g$  : rapat material konduktor ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $h$  : panas material konduktor ( $\text{J}/\text{kg}\text{-}^{\circ}\text{C}$ )

Besarnya arus yang mengalir melalui kumparan disisi sekunder pada transformator dapat dihitung. (Mismail, 1995: 218)

$$I_{Ls} = \frac{P_{out \text{ trafo}}}{\sqrt{3} \cdot V_{Ls} \cdot \text{Cos } \varphi} \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan :

- $I_{Ls}$  : Arus line sekunder (A)



$P_{out}$  : Daya keluaran transformator (W)

$V_{Ls}$  : Tegangan line sekunder (V)

$Cos \phi$  : Faktor daya

Pada kumparan transformator terdapat luas penampang yang dapat mempengaruhi nilai dari kerapatan arus. Dimana kerapatan arus dapat dihitung dengan menggunakan persamaan . (Sawhney, 1990)

$$\delta = \frac{I}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan :

$\delta$  : Rapat arus (A/mm<sup>2</sup>)

$I$  : Besarnya arus (A)

$A$  : Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

