



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan primer dan kumparan sekunder.

Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

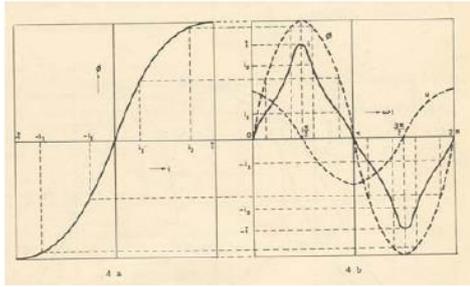
Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum ampere dan hukum faraday, yaitu : arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Jika pada salah satu kumparan pada transformator diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan. (Zuhal, 1991).

2.2 Transformator daya

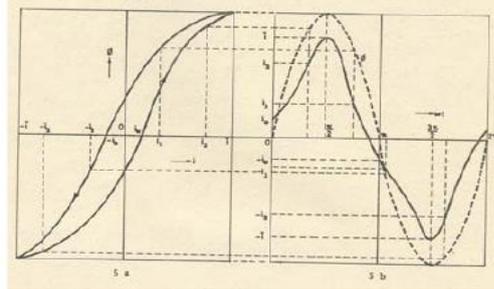
2.2.1 Prinsip induksi

Hukum utama Dalam transformator adalah Hukum Induksi Faraday.

Menurut hukum ini “suatu gaya listrik melalui garis lengkung yang tertutup, adalah berbanding lurus dengan perubahan persatuan waktu dari pada arus induksi atau flux yang dilingkari oleh garis lengkung itu”. (lihat gambar 2.1 dan 2.2).

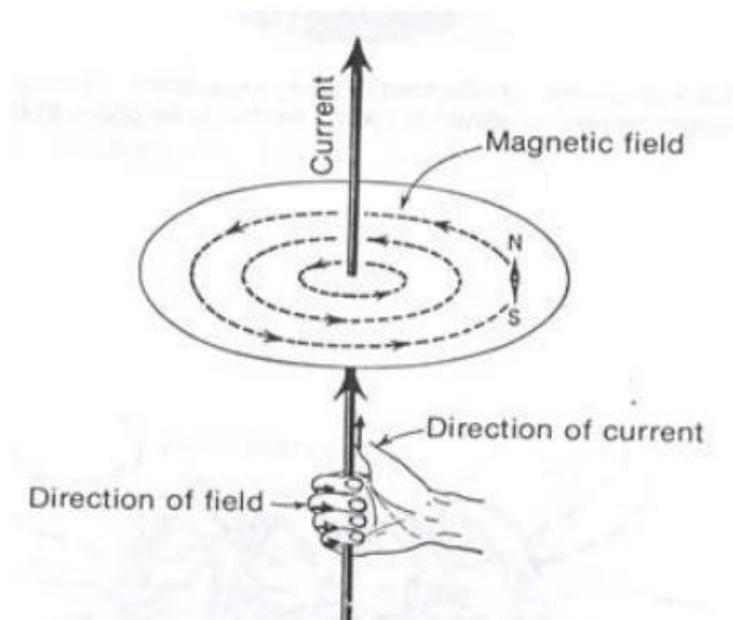
**Gambar 2.1**

**Arus magnetisasi secara grafis
tanpa memperhitungkan
rugi-rugibesi.**

**Gambar 2.2**

**Arus magnetisasi secara
grafis dengan memperhitungkan
rugi besi**

Selain hukum Faraday, transformator menggunakan **Hukum Lorenz** seperti terlihat pada gambar 2.3.berikut ini :

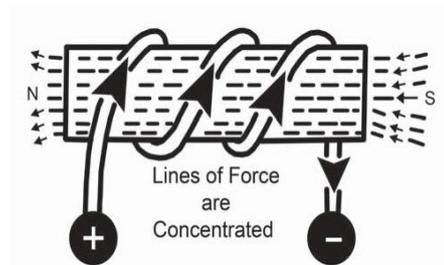


Type equation here.

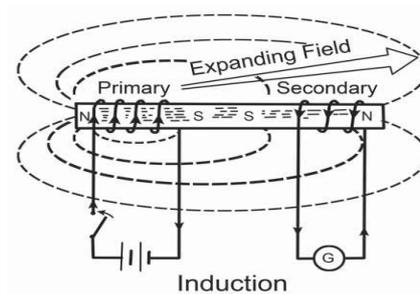
Gambar 2.3. Hukum Lorenz

Dasar teori transformator adalah sebagai berikut :

“ arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet (seperti gambar 2.4.) dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan”.

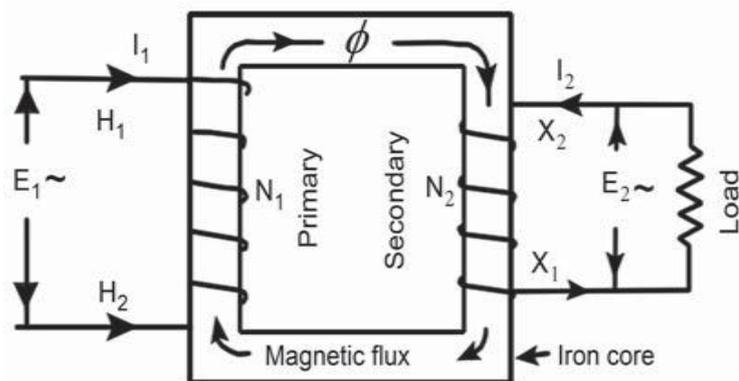


gambar 2.4. suatu arus listrik mengelilingi inti besi maka besi itu menjadi magnet



gambar 2.5. suatu lilitan mengelilingi magnet maka akan timbul gaya

Dari prinsip tersebut di atas dibuat suatu transformator seperti gambar 2.6.di bawah ini :



Gambar 2.6.prinsip dasar dari Transformator



Rumus tegangan adalah :

$$E = 4,44 \varphi N f \times 10^{-8} \text{ volt} \dots\dots\dots(1.1)$$

Maka untuk transformator rumus tersebut sebagai berikut :

$$E_1 : E_2 = 4,44 \varphi N_1 f_1 \times 10^{-8} : 4,44 \varphi N_2 f_2 \times 10^{-8} \text{ Volt} \dots\dots\dots(1.2)$$

Karena $f_1 = f_2$

Maka

$$\frac{E_1}{E_2} = 4,44 \varphi N_1 f_1 \times 10^{-8} : 4,44 \varphi N_2 f_2 \times 10^{-8} \dots\dots\dots(1.3)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{E_1}{N_2} = \frac{E_2}{N_1}$$

$$E_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right) \times E_2$$

Dimana :

E_1 = tegangan primer

E_2 = tegangan sekunder

N_1 = belitan primer

N_2 = belitan sekunder

V_A primer = V_A sekunder

$I_1 \times E_1 = I_2 \times E_2$

$E_1/E_2 = I_2/I_1$

$I_1 = I_2 (E_2/E_1)$



Dimana :

- I1 = Arus primer
- I2 = Arus sekunder
- E1 = tegangan primer
- E2 = tegangan sekunder

Rumus umum menjadi :

$$\boxed{\frac{E1}{E2} = \frac{N1}{N2} = \frac{I1}{I2}} \dots\dots\dots(1.4)$$

2.3 Konstruksi Bagian-bagian Transformator

Transformator terdiri dari :

2.3.1. Bagian utama.

- a. inti besi
- b. kumparan transformator
- c. bushing
- d. tangki konservator

2.3.2. Peralatan bantu

- a. pendingin
- b. tap changer
- c. alat pernapasan (silicagel)
- d. indicator
- e. minyak transformator

2.3.3. Peralatan proteksi.

- a. Rele bucholz
- b. pengaman tekanan lebih (explosive membrane) / bursting Plate
- c. Rele tekanan lebih (Sudden Pressure Relay)

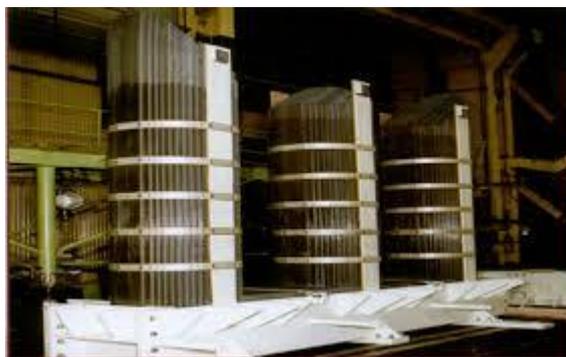
2.3.4. Peralatan Tambahan Untuk Pengaman Transformator

- a. Rele Differensial (Differensial Relay)
- b. Rele arus lebih (Over current Relay)
- c. Rele hubung tanah (Ground Fault Relay)
- d. Rele Thermis (Thermal Relay)
- e. Rele Tangki Tanah

2.4 Bagian Utama

2.4.1 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”.(Gambar 2.7).

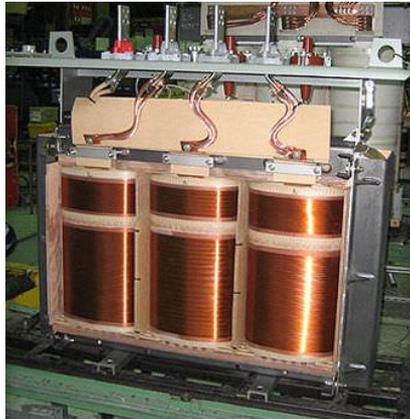


Gambar 2.7. Inti besi dan laminsi yang diikat Fiber Glass

2.4.2 kumparan trafo

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Umumnya pada trafo terdapat kumparan primer dan sekunder. Bila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluksi yang menginduksikan tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya

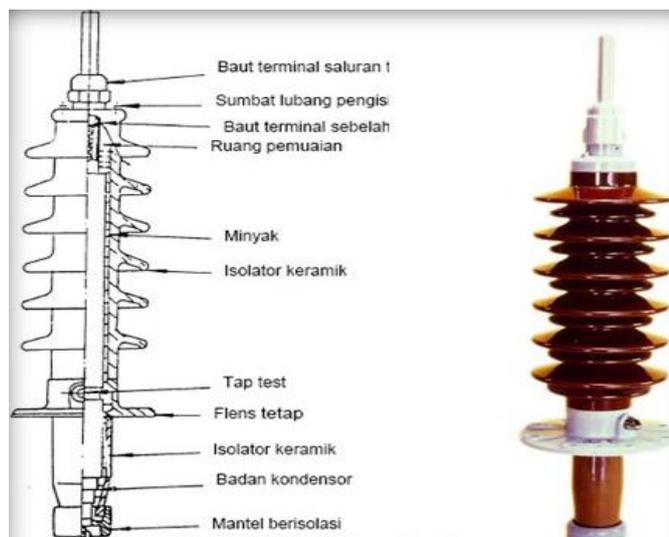
beban) maka akan mengalir arus pada kumparan ini. Jadi kumparan sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 2.8. Kumparan Transformator

2.4.3 Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah busing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.



Gambar 2.9. Contoh Bushing Transformator

2.4.4 tangki dan konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.



Gambar 2.10. Tangki Konservator

2.5 Peralatan Bantu

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

Media yang dipakai pada system pendingin dapat berupa :

- Udara / gas
- Minyak
- Air
- Dan lain sebagainya.

Sedangkan pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara :

- Alamiah (natural)
- Tekanan/paksaan.



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).

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).

Tabel macam-macam system pendingin transformator berdasarkan media dan car pengalirannya dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

No	Macam system pendingin	Media			
		Dalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi alamiah	Sirkulasi paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	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			

Menurut IEC tahun 1976

Tabel 2.1



2.5.2 tap changer

Tap Changer adalah perubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder sesuai yang diinginkan dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. Tap changer dapat dilakukan baik dalam keadaan berbeban (on-load) atau dalam keadaan tak berbeban (off load), tergantung jenisnya.

Untuk memenuhi kualitas tegangan pelayanan sesuai kebutuhan, tegangan keluaran (sekunder) transformator harus dapat dirubah sesuai keinginan. Untuk memenuhi hal tersebut, maka pada salah satu atau pada kedua sisi belitan transformator dibuat tap (penyadap) untuk merubah perbandingan transformasi (rasio) trafo.

Ada dua cara kerja tap changer :

1. Mengubah tap dalam keadaan trafo tanpa beban.
2. Mengubah tap dalam keadaan trafo berbeban.

Transformator yang terpasang di gardu induk pada umumnya menggunakan tap changer yang dapat di operasikan dalam keadaan trafo berbeban dan dipasang di sisi primer. Sedangkan transformator penaik tegangan di pembangkit atau pada trafo kapasitas kecil, umumnya menggunakan tap changer yang dioperasikan hanya pada saat trafo tenaga tanpa beban.

2.5.3 alat pernapasan

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.



Gambar 2.11.Alat pernapasan, berupa tabung berisi Kristal Zat Hygroskopis

2.5.4 Indikator

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

1. indikator suhu minyak
2. indikator permukaan minyak
3. indikator sistem pendingin
4. indikator kedudukan tap

2.5.5 Minyak Trafo

Sebagian besar trafo tenaga kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak-trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (disirkulasi) dan bersifat pula sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.



Gambar 2.12. Minyak Transformator

2.6 Peralatan Proteksi

2.6.1 Rele Bucholz

Rele Bucholz adalah rele alat/rele untuk mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo yang menimbulkan gas.

Gas yang timbul diakibatkan oleh:

- a. Hubung singkat antar lilitan pada/dalam phasa
- b. Hubung singkat antar phasa
- c. Hubung singkat antar phasa ke tanah
- d. Busur api listrik antar laminasi
- e. Busur api listrik karena kontak yang kurang baik.

Fungsi bucholz pada transformator adalah sebagai berikut :

1. Memproteksi kandungan gas didalam minyak transformator
2. Memproteksi ledakan dalam transformator



Gambar 2.13. Relay Bucholz

2.6.2 pengaman tekanan lebih

Alat ini berupa membran yang dibuat dari kaca, plastik, tembaga atau katup berpegas, berfungsi sebagai pengaman tangki trafo terhadap kenaikan tekan gas yang timbul di dalam tangki yang akan pecah pada tekanan tertentu dan kekuatannya lebih rendah dari kakuatan tangki trafo.

2.6.3 rele tekanan lebih

Rele ini berfungsi hampir sama seperti rele Bucholz, yakni mengamankan terhadap gangguan di dalam trafo. Bedanya rele ini hanya bekerja oleh kenaikan tekanan gas yang tiba-tiba dan langsung mentripkan P.M.T.

2.7 Peralatan tambahan pengaman pada transformator

2.7.1 Rele diferensial

Berfungsi mengamankan trafo dari gangguan di dalam trafo antara lain flash over antara kumparan dengan kumparan atau kumparan dengan tangki atau belitan dengan belitan di dalam kumparan ataupun beda kumparan.

2.7.2 Relai arus lebih

bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman yang telah ditentukan dan dalam jangka waktu yang telah ditetapkan. Relai arus lebih akan pick up jika besar arus melebihi nilai setting. Pada proteksi transformator daya, relai arus lebih digunakan sebagai tambahan bagi relai differensial untuk memberikan tanggapan terhadap gangguan luar. Relai ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih.



Gambar 2.14. Relai Arus Lebih

2.7.3 rele termis

Berfungsi untuk mencegah/mengamankan trafo dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkan oleh arus lebih. Besaran yang diukur di dalam rele ini adalah kenaikan temperatur.

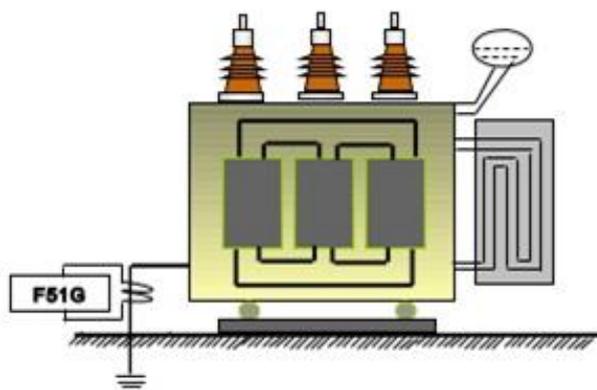


Gambar 2.15. Rele Thermis

2.7.4 Relai Tangki Tanah

Berfungsi untuk mengamankan trafo terhadap hubung singkat antara fasa dengan tangki trafo dan titik netral trafo yang ditanahkan.

Selain itu berfungsi juga untuk mendeteksi adanya gangguan arus dari tangki trafo ke tanah, dan jika terjadi kebocoran isolasi dari belitan trafo ke tangki.



Gamabr 2.16. Skema Relai Tangki Tanah