



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Transformator<sup>7</sup>**

Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap - tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

a. Transformator Daya

Transformator daya adalah jenis transformator yang digunakan untuk meningkatkan nilai tegangan listrik dari generator listrik. Penempatannya di gardu induk. Tegangan listrik yang diperbesar nilainya kemudian disalurkan ke saluran transmisi tenaga listrik.

b. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan peralatan tenaga listrik yang berperan dalam menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dari tegangan menengah ke tegangan rendah melalui saluran transmisi.

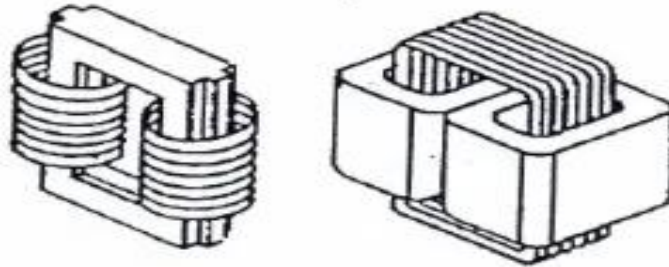
c. Transformator Pengukuran

Transformator pengukuran adalah transformator yang digunakan pada alat ukur, alat proteksi dan alat pengaman pada instalasi tegangan tinggi, menengah dan rendah. Transformator ini untuk pengukuran tegangan dan arus yang besar diperlukan transformator pengukuran. Tujuannya untuk menyesuaikan besaran pengukuran dengan kemampuan alat ukur, disamping untuk keamanan manusia.

---

<sup>[7]</sup> Yon Rijono. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: ANDI

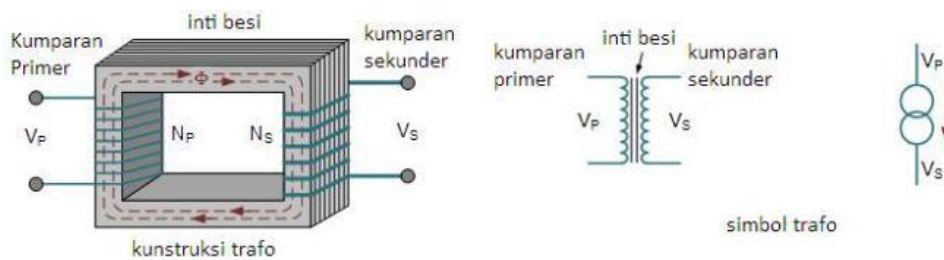
Kerja transformator yang berdasarkan induksi electromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan *fluks* bersama. Berdasarkan cara melilitnya kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu tipe inti dan tipe cangkang.



Gambar 2.1 Tipe Inti dan Tipe Cangkang

## 2.2 Konstruksi Transformator<sup>10</sup>

Transformator juga sering disebut memiliki konstruksi dan simbol seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2.2 Konstruksi dan Simbol Transformator

Dimana:

$N_p$  = Jumlah lilitan primer

$N_s$  = Jumlah lilitan sekunder

$V_p$  = Tegangan primer

$V_s$  = Tegangan sekunder

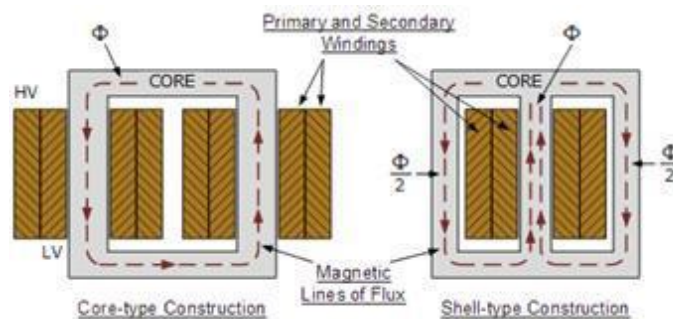
<sup>[10]</sup> Djukarna. 2013. *Transformator*

### 2.2.1. Inti besi<sup>5</sup>

Sebuah transformator terdiri dari kumparan dan inti besi. Biasanya terdapat dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan ini tidak berhubungan secara fisik tetapi dihubungkan oleh medan magnet. Untuk meningkatkan induksi magnetik antara dua kumparan maka ditambahkan inti besi seperti pada gambar 2.2. Inti besi pada transformator dibedakan menjadi dua macam yaitu:

1. Inti besi tipe *shell* (*Shell Core Transformer*)
2. Inti besi tipe tertutup (*Closed Core Transformer*)

Kedua jenis inti besi dapat dilihat seperti pada gambar dibawah ini:

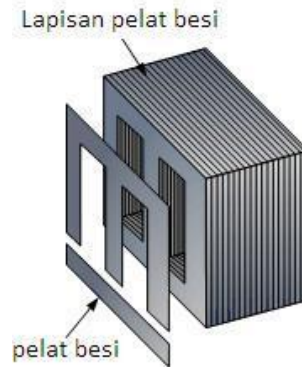


Gambar 2.3 Inti Transformator

Pada transformator dengan inti besi berbentuk *shell*, kumparan dikelilingi oleh inti besi. *Fluks* magnetik pada inti besi tipe *shell* akan terbelah dua. Sementara kumparan primer dan kumparan sekunder digulung bersamaan. Untuk transformator yang memiliki inti besi tipe tertutup. Tidak ada pembagian *fluks* magnetik. Kumparan primer dan kumparan sekunder terpisah dan dihubungkan dengan inti besi.

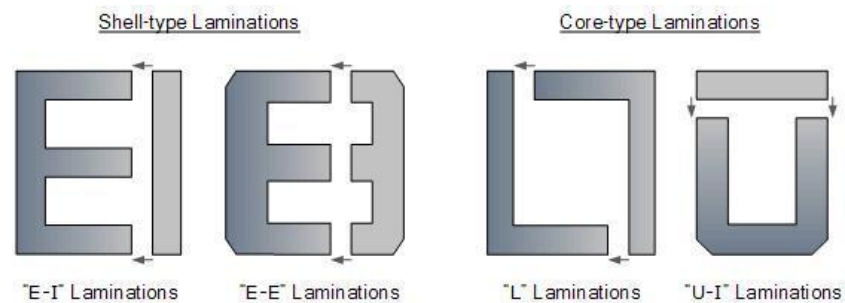
Inti besi transformator tidak dibuat berbentuk besi tunggal, tetapi dibuat dari pelat besi yang berlapis - lapis. Bentuk lapisan pelat besi pada inti transformator dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini.

<sup>[5]</sup> Haryoto Prasetyo. 2020. *Buku PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan*. Jakarta: PT. PLN (PERSERO)



Gambar 2.4 Inti Besi Berlapis Pada Transformator

Cara menghubungkan lapisan inti besi juga bermacam - macam. Beberapa cara yang umum digunakan dapat dilihat seperti pada gambar berikut ini:

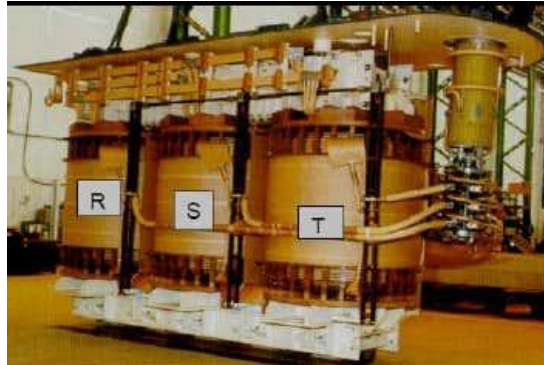


Gambar 2.5 Cara Menghubungkan Lapisan Inti Besi Pada Trafo

### 2.2.2 Winding<sup>1</sup>

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. Salah satu komponen vital dari sebuah transformator adalah gulungan (*winding*). Pada satu gulungan memiliki beberapa atau sekian ratus lilitan. Jenis - jenis konduktor yang digunakan untuk satu winding ditentukan oleh kalkulasi tegangan dan arus yang akan dioperasikan oleh suatu transformator.

<sup>[1]</sup> Bambang Cahyono, dkk. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga PT. PLN (Persero)*. Jakarta: PT. PLN (Persero)



Gambar 2.6 Belitan Transformator

### 2.2.3 Bushing<sup>6</sup>

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 *body main tank* transformator.



Gambar 2.7 Bushing

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu:

1. Isolasi

Berdasarkan media isolasi bushing terbagi menjadi dua (IEC 60137 tahun 2008) yaitu:

- a. Bushing kondensor, bushing kondensor umumnya digunakan pada tegangan rating bushing 72,5 KV keatas.
- b. Bushing non kondensor, bushing non kondensor umumnya digunakan pada tegangan rating 72,5 KV kebawah.

---

<sup>[6]</sup> Randi Wahyudi. 2016. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi di PT. PLN WS2JB Area Palembang Rayon Kayu Agung*. Laporan Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya.

2. Konduktor<sup>6</sup>

Terdapat jenis - jenis konduktor pada bushing yaitu *hollow conductor* dimana terdapat besi pengikat atau penegang di tengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan *flexible lead*.

3. Klem koneksi

Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara stud bushing dengan konduktor penghantar di luar bushing.

4. Asesoris

Asesoris bushing terdiri dari indikasi minyak, *seal* atau gasket dan *tap* pengujian. *Seal* atau gasket pada bushing terletak dibagian bawah *mounting flange*.



Gambar 2.8 Indikator Level Minyak Bushing



Gambar 2.9 Gasket/*seal* antara *Flangebushing* dengan *Body* Transformator

<sup>[6]</sup> Ibid



Gambar 2.10 Tap Pengujian

### 2.2.4 Pendingin<sup>3</sup>

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada transformator itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan. Transformator tipe kering menggunakan udara atau gas murni sebagai media pendingin.



Gambar 2.11 Radiator

---

<sup>[3]</sup> Eugene Lister C. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik Edisi Keenam (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga



### 2.2.5 Tangki Konservator<sup>8</sup>

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.



Gambar 2.12 Tangki Konservator

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa *rubber bag*), maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan di *filter* melalui *silica gel* sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.



Gambar 2.13 Silica Gel

<sup>[8]</sup> Sumanto. 1991. *Teori Transformator*. Yogyakarta: ANDI OFFSET



Untuk menghindari agar 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.

### 2.2.6 Minyak Isolasi Trafo<sup>9</sup>

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi transformator merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.



Gambar 2.14 Minyak Isolasi Transformator

### 2.2.7 Tap Changer

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 atau sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input atau primernya. Penyesuaian *ratio* belitan ini disebut *Tap changer*.

<sup>[9]</sup> Zuhail. 1991. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: ITB



Pada proses perubahan *ratio* belitan transformator bisa dilakukan pada berbagai kondisi baik pada saat transformator berbeban maupun tidak berbeban. *Tap charger* terdiri dari *selector switch* yang digunakan untuk menentukan posisi *tap charger*; *diverter switch* yang digunakan untuk melakukan dan melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi, dan tahanan transisi yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.

### 2.3 Prinsip Kerja Transformator<sup>11</sup>

Prinsip kerja dari transformator melibatkan bagian - bagian utama pada trafo, yaitu: kumparan primer, kumparan sekunder dan inti transformator. Kumparan tersebut mengelilingi inti besi dalam bentuk lilitan. Apabila kumparan pada sisi primer transformator dihubungkan dengan sumber tegangan bolak - balik sinusoidal ( $V_p$ ), maka akan mengalir arus bolak - balik yang juga sinusoidal ( $I_p$ ) pada kumparan tersebut. Arus bolak - balik ini akan menimbulkan *fluks* magnetik ( $\Phi$ ) yang sefasa dan juga sinusoidal di sekeliling kumparan. Akibat adanya inti transformator yang menghubungkan kumparan pada sisi primer dan kumparan pada sisi sekunder, maka *fluks* magnetik mengalir bersama pada inti transformator dari kumparan primer ke kumparan sekunder sehingga membangkitkan tegangan induksi pada sisi sekunder transformator.

$$V_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \text{ volt} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

$V_s$  = Tegangan induksi pada sisi sekunder

$N_s$  = Jumlah belitan pada sisi sekunder

$\frac{d\phi}{dt}$  = Perubahan *fluks* terhadap waktu

Dari persamaan tersebut diketahui bahwa tegangan induksi yang terbangkitkan pada kumparan transformator berbanding lurus dengan jumlah lilitan kumparan pada inti transformator. Selain itu, tegangan induksi juga dapat terbangkitkan apabila ada perubahan *fluks* terhadap waktu, jika *fluks* yang mengalir adalah konstan maka tegangan induksi tidak dapat terbangkitkan.

<sup>[11]</sup> Rizky Nafiar. 2015. *Prinsip Kerja Transformator*



Setiap transformator juga memiliki suatu besaran yang dinamakan perbandingan transformasi, untuk menunjukkan perbandingan lilitan atau perubahan level tegangan dan arus pada sisi primer dan sekunder yang ditransformasikan pada transformator tersebut.

## 2.4 Daya Listrik<sup>2</sup>

Karena beban ( $Z$ ) membentuk pergeseran sudut terhadap tegangan maka arus beban ( $I_b$ ) yang mengalir pun membentuk sudut yang sama searah dengan sudut dari  $Z$  sebesar  $\phi$ . Hal ini berakibat timbulnya tiga macam daya, yaitu daya aktif (watt), daya reaktif (VAR) dan daya semu (VA).

### 2.4.1 Daya Aktif

Daya aktif biasanya disebut juga daya nyata yaitu daya yang secara langsung digunakan oleh beban untuk diubah ke energi lain seperti energi panas, energi cahaya dan lainnya. Daya ini dapat diserap oleh beban yang berupa tahanan murni atau beban yang mengandung komponen tahanan seperti lampu pijar, elemen pemanas, motor listrik dan lainnya. Daya aktif diukur dalam satuan watt (W).

$$P = V \times I \cos \phi \text{ (1 fasa) } \dots\dots\dots(2.2)$$

$$P = \sqrt{3} V \times I \cos \phi \text{ (3 fasa) } \dots\dots\dots(2.3)$$

$$P_1 = P_2 = V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \dots\dots\dots(2.4)$$

### 2.4.2 Daya Semu (S)

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

$$S = \sqrt{3} V \times I \text{ (3 fasa) (VA)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

[2] Irene Kartika Febrianti. 2017. *Analisa Penurunan Faktor Kerja Transformator Daya 30*



### 2.4.3 Daya Reaktif (Q)<sup>4</sup>

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas.

$$Q = V \times I \sin \phi \text{ (1 fasa) .....(2.7)}$$

$$Q = \sqrt{3} V \times I \cos \phi \text{ (3 fasa) .....(2.8)}$$

## 2.5 Rugi-Rugi Pada Transformator

### 2.5.1 Rugi Beban Penuh

Kerugian daya pada transformator tenaga 3 fasa, dihitung didasarkan pada beban penuh, bila beban kurang dari kapasitas maka kerugian akan berkurang. Untuk menghindari kerugian yang besar dan pemanasan transformator distribusi, sebaiknya pembebanan transformator maksimum 80% - 90% dari kapasitas transformator (*continue*). Transformator pada gardu distribusi dibebani sebesar 50%. (SPLN D3.002-1:2007)

$$P_{\text{full load}} = P_{\text{beban } 75^\circ} \times 50\% \text{ .....(2.9)}$$

Keterangan:

$P_{\text{full load}}$  = Rugi beban penuh.

$P_{\text{beban } 75^\circ}$  = Rugi berbeban pada 75°C.

### 2.5.2 Rugi – Rugi Daya

Rugi – rugi daya adalah daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban.

$$P_{\text{trafo daya}} = (P_{\text{in}} - P_{\text{trafo ps}}) - \text{rugi inti} \text{ .....(2.10)}$$

Dimana :

$P_{\text{trafo daya}}$  = Rugi transformstor daya.

$P_{\text{in}}$  = Daya masukan

$P_{\text{trafp ps}}$  = Rugi Transfotmator Pemakaian Sendiri

<sup>[4]</sup>M. Ade Kurniawan. 2016. *Perhitungan Efisiensi Transformator 80 MVA di PLTU Unit 1 PT. PLN (PERSERO) Pembangkitan Sumbagsel Sektor Pembangkitan Bukit Asam*. Laporan Akhir. Politeknik Negeri Sriwijaya.



## 2.6 Efisiensi Transformator<sup>4</sup>

Sebuah transformator tidak membutuhkan bagian yang bergerak untuk memindahkan energi dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Ini berarti tidak ada kerugian karena gesekan atau hambatan udara seperti yang terdapat pada mesin – mesin listrik (contoh motor listrik dan generator). Namun di dalam transformator juga terdapat kerugian yang disebut rugi-rugi tembaga (*copper losses*) dan rugi - rugi besi (*iron losses*). Rugi - rugi tembaga terdapat pada kumparan primer dan kumparan sekunder, sedangkan rugi - rugi besi terdapat dalam inti besi. Rugi - rugi ini berupa panas yang dilepaskan akibat terjadinya *Eddy current*. Tetapi rugi - rugi ini sangat kecil. Efisiensi sebuah transformator dapat dihitung dengan membandingkan daya yang dikeluarkan di kumparan sekunder dengan daya yang diberikan pada kumparan primer. Efisiensi transformator dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\text{Daya keluaran} = \text{daya input} - \text{kerugian} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.12)$$

$$\text{Atau } \eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya keluaran} + \Sigma \text{rugi}} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.14)$$

Dari persamaan di atas, bahwa efisiensi transformator dapat ditentukan untuk setiap beban dengan pengukuran langsung daya masukannya dan daya keluarannya.

---

<sup>[4]</sup> Ibid