



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Transformator

##### 2.1.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet.<sup>13</sup>

Dalam bidang tenaga listrik, pemakaian transformator dikelompokkan sebagai berikut:

1. Transformator Daya
2. Transformator Pengukuran
3. Transformator Distribusi

Adapun berdasarkan frekuensinya, transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Frekuensi Daya, 50-60 c/s
2. Frekuensi Pendengaran 50 c/s – 20 kc/s
3. Frekuensi Radio, di atas 30 kc/s

Dalam bidang elektronika, transformator dimanfaatkan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban guna memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain serta untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.<sup>13</sup>

Dalam bentuk yang paling sederhana, transformator memiliki dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder serta satu induktansi mutual. Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya yang dinyatakan sebagai terminal masukan, sedangkan kumparan sekunder adalah

---

<sup>13</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik* (Bandung: Penerbit ITB, 1991)



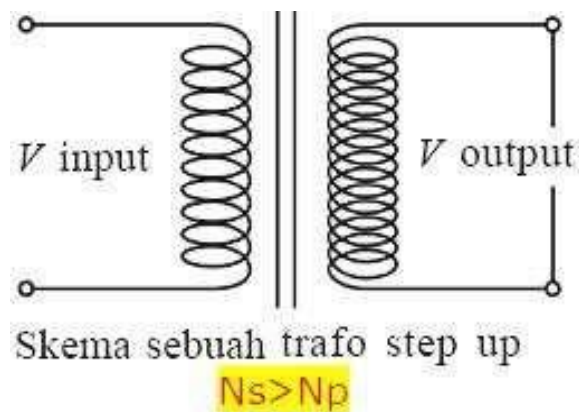
kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran. Kedua kumparan ini dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder, dan inti besi.

Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.<sup>9</sup>

### 2.1.2 Jenis - Jenis Transformator

#### 1. Transformator *Step Up*

Transformator *step up* adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh.<sup>5</sup>



Gambar 2.1 Transformator *Step Up*

(Sumber : [www.berpendidikan.com](http://www.berpendidikan.com), Februari, 2022)

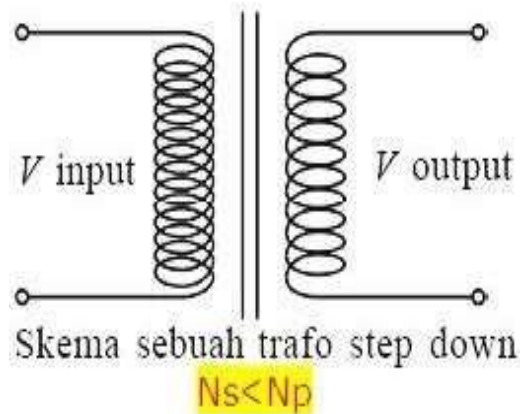
#### 2. Transformator *Step-Down*

<sup>5</sup> Gizha Ardizha Efendi Nasution, *Jenis-Jenis Dan Prinsip Kerja Transformator* (Jakarta: 2014)

<sup>9</sup> Parulian Lumban Tobing, *Relay Differensial Pada Transformator Daya* (Medan: 2019)



Transformator *step-down* memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.<sup>5</sup>

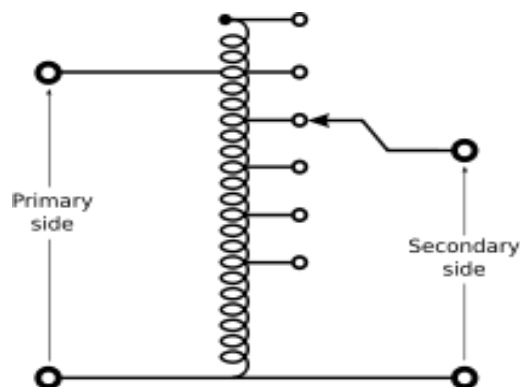


Gambar 2.2 Transformator *Step Down*

(Sumber : [www.berpendidikan.com](http://www.berpendidikan.com), Februari, 2022)

### 3. Autotransformator Variable

Autotransformator variable adalah autotransformator biasa yang sadapan tengahnya bias diubah-ubah, memberikan perbandingan lilitan primer sekunder yang berubah-ubah.<sup>5</sup>



Gambar 2.3 Autotransformator Variabel

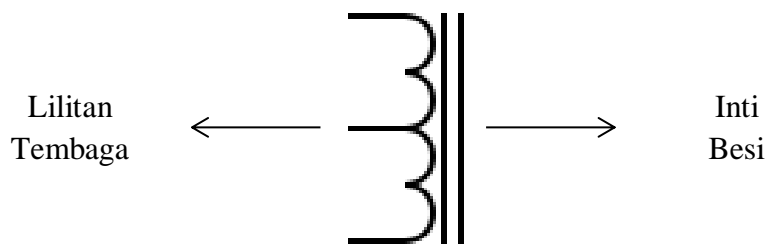
(Sumber : [www.zhagitoloh.blogspot.com](http://www.zhagitoloh.blogspot.com), Januari, 2010)

<sup>5</sup> Gizha Ardizha Efendi Nasution, *Jenis-Jenis Dan Prinsip Kerja Transformator* (Jakarta: 2014)



#### 4. Autotransformator

Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bias dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari autotransformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder. Selain itu, autotransformator tidak dapat digunakan sebagai penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat (biasanya tidak lebih dari 1,5 kali).<sup>5</sup>



Gambar 2.4 Autotransformator

(Sumber : [www.id.m.wikipedia.org](http://www.id.m.wikipedia.org), Januari 2022)

#### 5. Transformator Tiga Fasa

Transformator tiga fasa sebenarnya adalah tiga transformator yang dihubungkan secara khusus satu sama lain. Lilitan primer biasanya dihubungkan secara bintang (Y) dan lilitan sekunder dihubungkan secara delta ( $\Delta$ ).<sup>3</sup>

A. Berdasarkan fungsinya, transformator tenaga dapat dibedakan menjadi :

- 1) Trafo pembangkit
- 2) Trafo gardu induk/ penyaluran
- 3) Trafo distribusi

B. Transformator tenaga untuk fungsi penyaluran dapat dibedakan menjadi:

- 1) Trafo besar

<sup>5</sup> Gizha Ardizha Efendi Nasution, *Jenis-Jenis Dan Prinsip Kerja Transformator* (Jakarta: 2014)



- 2) Trafo sedang
  - 3) Trafo kecil
6. Transformator Isolasi

Transformator isolasi memiliki lilitan sekunder yang berjumlah sama dengan lilitan primer, sehingga tegangan sekunder sama dengan tegangan primer. Tetapi pada beberapa desain, gulungan sekunder dibuat sedikit lebih banyak untuk mengkompensasi kerugian. Transformator seperti ini berfungsi sebagai isolasi antara dua kalang. Untuk penerapan audio, transformator jenis ini telah banyak digantikan oleh kopling kapasitor.<sup>5</sup>



Gambar 2.5 Transformator Isolasi

(Sumber : [www.rumusbilangan.com](http://www.rumusbilangan.com), Februari 2022)

#### 7. Transformator Pulsa

Transformator pulsa adalah transformator yang didesain khusus untuk memberikan keluaran gelombang pulsa. Transformator jenis ini menggunakan material inti yang cepat jenuh sehingga setelah arus primer mencapai titik tertentu, fluks magnet berhenti berubah. Karena GGL induksi pada lilitan sekunder hanya terbentuk jika terjadi perubahan fluks magnet, transformator hanya memberikan keluaran saat inti tidak jenuh, yaitu saat arus pada lilitan primer berbalik arah.<sup>5</sup>

### 2.1.3 Bagian-Bagian Transformator

Bagian-bagian pada transformator terdiri atas:

1. Inti Besi

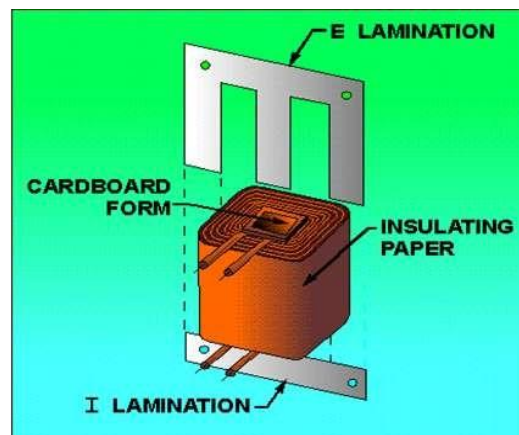
<sup>5</sup> Gizha Ardizha Efendi Nasution, *Jenis-Jenis Dan Prinsip Kerja Transformator* (Jakarta: 2014)



Inti besi berfungsi untuk mengalirkan fluks yang timbul akibat adanya induksi arus bolak-balik pada kumparan yang mengelilingi inti sehingga kumparan yang lainnya akan terinduksi, untuk mengurangi *losses* pada inti transformator maka inti transformator dibuat dari lempengan besi tipis yang berisolasi.<sup>3</sup>

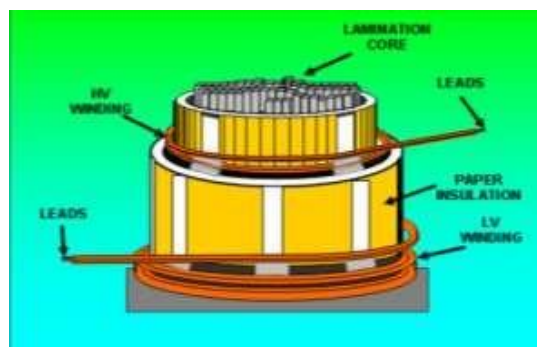
## 2. Kumparan

Kawat yang berisolasi terbentuk kumparan serta terisolasi baik antar kumparan maupun antara kumparan dan inti besi. Terdapat dua kumparan pada inti tersebut yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder, bila salah satu kumparan tersebut diberikan tegangan maka pada kumparan akan membangkitkan fluks pada inti serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan.<sup>6</sup>



Gambar 2.6 Konstruksi Belitan Transformator

(Sumber : [www.123.dok.com](http://www.123.dok.com), Mei 2019)



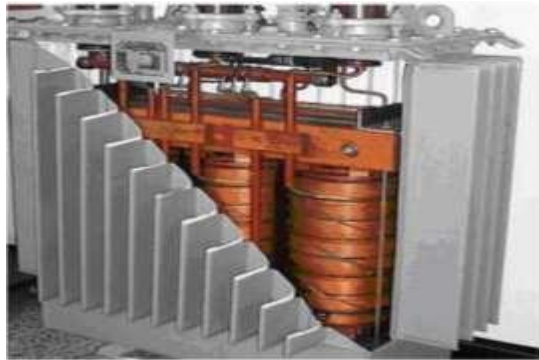
<sup>3</sup> Bambang Cahyono dkk, *Buku Pedomanan Pemeliharaan Transformator Tenaga* (Jakarta: 2014)

<sup>6</sup> Idham A.Djufri, *Transformator* (Desember: Penerbit Deepublish, 2016)



Gambar 2.7 Fisik Belitan Transformator Tenaga

(Sumber : [www.lib.ui.ac.id](http://www.lib.ui.ac.id), Maret 2019)



Gambar 2.8 Komponen-komponen Internal Transformator

(Sumber : [www.id.m.wikipedia.org](http://www.id.m.wikipedia.org), Januari 2022)

### 3. Minyak Transformator

Belitan primer dan sekunder pada inti besi pada trafo terendam minyak trafo, hal ini dimaksudkan agar panas yang terjadi pada kedua kumparan dan inti trafo oleh minyak trafo dan selain itu minyak tersebut juga sebagai isolasi pada kumparan dan inti besi.<sup>10</sup>

### 4. Bushing Transformator

Bushing transformator merupakan sebuah konduktor yang berfungsi untuk menghubungkan kumparan transformator dengan rangkaian luar yang diberi selubung isolator. Isolator juga berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki transformator.<sup>10</sup>



<sup>10</sup> Prih Sumardjati, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik* (Jakarta: 2008) Hal 370-371



Gambar 2.9 Bushing Transformator

(Sumber : Doc Pribadi, Maret 2022)

## 5. Tangki dan Konservator

Tangki transformator berfungsi untuk menyimpan minyak transformator dan sebagai pelindung bagian-bagian transformator yang direndam dalam minyak, sedangkan untuk pemuaian minyak tangki dilengkapi dengan konservator yang berfungsi untuk menampung pemuaian minyak akibat perubahan temperatur.<sup>10</sup>



Gambar 2.10 Tangki Konvensator

(Sumber : Doc Pribadi, Maret 2022)

## 6. Pernapasan Transformator

Karena naik turunnya beban trafo maupun suhu udara luar, maka suhu minyaknya akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya bila suhu turun, minyak akan menyusut maka udara luar akan masuk kedalam tangki. Kedua proses tersebut diatas disebut pernapasan trafo, akibatnya permukaan minyak akan bersinggungan dengan udara luar, udara luar tersebut lembab. Oleh sebab itu pada ujung pernapasan diberikan alat dengan bahan yang mampu menyerap kelembaban udara luar yang disebut kristal zat Hygrokopsis (*Cilicagel*).<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Prih Sumardjati, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik* (Jakarta: 2008) Hal 370-371





### 7. Tap *Changer* Transformator (Perubahan Tap)

Tap changer adalah alat yang berfungsi untuk mengubah perbandingan lilitan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi pada sisi sekunder sesuai yang dibutuhkan oleh tegangan operasi pada sisi sekunder sesuai yang dibutuhkan oleh tegangan jaringan (beban) atau karena tegangan sisi primer yang berubah-ubah. Tap *Changer* (perubahan tap) dapat dilakukan dalam keadaan berbeban (*on load*) atau keadaan tidak berbeban (*off load*).<sup>10</sup>

### 8. Pendingin Transformator

Perubahan temperatur akibat perubahan beban maka seluruh komponen trafo akan menjadi panas, guna mengurangi panas pada trafo dilakukan pendingin pada trafo. Sedangkan cara pendinginan trafo terdapat dua macam yaitu: alamiah/natural (*Onan*) dan paksa/tekanan (*Onaf*). Pada pendinginan alamiah (*Natural*) melalui sirip-sirip radiator yang bersirkulasi dengan udara luar dan untuk trafo yang besar minyak pada trafo disirkulasikan dengan pompa. Sedangkan pada pendinginan paksa pada sirip-sirip trafo terdapat fan yang bekerjanya sesuai setting temperaturnya.<sup>11</sup>



Gambar 2.11 Pendingin Transformator

(Sumber : Doc Pribadi, Maret 2022)

---

<sup>10</sup> Parih Sumardjati, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik* (Jakarta: 2008) Hal 370-371

<sup>11</sup> Putra Dwi Kurniawan, *Transformator Dan Proses Penggantiannya* (2015)



## 9. Katub Pembuangan dan Pengisian

Katub pembuangan pada trafo berfungsi untuk menguras pada penggantian minyak trafo, hal ini terdapat pada trafo diatas 100 kVA, sedangkan katup pengisian berfungsi untuk menambahkan atau mengambil sample minyak pada trafo.<sup>7</sup>

## 10. Oil Level

Fungsi dari oil level tersebut adalah untuk mengetahui minyak pada tangki trafo, oil level ini pun hanya terdapat pada trafo diatas 100 kVA.<sup>11</sup>

### 2.1.4 Prinsip Kerja Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Sebuah transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat terisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan transformator, kumparan kawat terisolasi ini dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan inti besi. Ketika kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetic disekitarnya.<sup>5</sup>

Kekuatan medan magnet tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Fluktasi medan magnet yang terjadi disekitar kumparan primer akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan sekunder. Dengan demikian, terjadilah perubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun tegangan tinggi menjadi tegangan yang rendah.

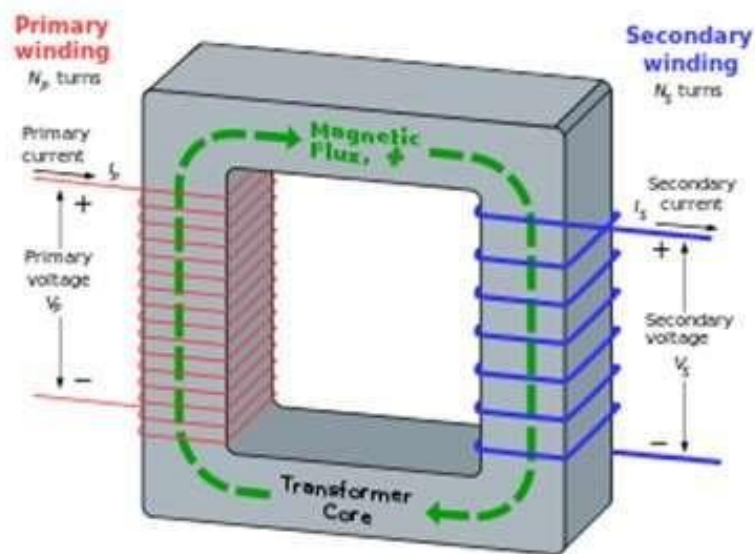
Berdasarkan hukum Faraday yang menyatakan magnitudo dari *electromotive force (emf)* proporsional terhadap perubahan fluks terhubung dan hukum Lenz yang menyatakan arah dari emf berlawanan dengan arah fluks sebagai reaksi perlawanan dari perubahan fluks tersebut.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Aditya Prayoga dkk, *Transformer* (Depok: 2010)

<sup>5</sup> Gizha Ardizha Efendi Nasution, *Jenis-Jenis Dan Prinsip Kerja Transformator* (Jakarta: 2014)

<sup>11</sup> Putra Dwi Kurniawan, *Transformator Dan Proses Penggantiannya* (2015)



Gambar 2.12 Prinsip Kerja Transformator

(Sumber : [www.skemaku.com](http://www.skemaku.com), Agustus 2015)

Dikarenakan pada transformator ideal seluruh mutual flux yang dihasilkan salah satu kumparan akan diterima seutuhnya oleh kumparan yang lainnya tanpa adanya leakage flux maupun loss lain misalnya berubah menjadi panas.

### 2.1.5 Rasio

Tegangan yang dihasilkan pada sekunder bergantung pada besaran tegangan dan arus primer dan tentunya jumlah lilitan pada primer dan sekunder,

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (2.1)^2$$

$$V_1 = V_2 \times a \dots\dots\dots (2.2)^2$$

$$I_1 = \frac{I_2}{\alpha} \dots\dots\dots (2.3)^2$$

$V_1$  = Tegangan Primer

$N_1$  = Jumlah Lilitan Primer

$V_2$  = Tegangan Sekunder

$N_2$  = Jumlah Lilitan Sekunder

$I_1$  = Arus Primer

$\alpha$  = Rasio

$I_2$  = Arus Sekunder

<sup>2</sup> B. L. Theraja, *A Textbook Electrical Technology Volume II*: Hal 1123



### 2.1.6 Daya Aktif

Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan  $VI \cos \theta$  dengan simbol P dalam satuan watt (W), kilo watt (KW), mega watt (MW). Jadi,

$$P = S \times \cos \theta = V \times I \times \cos \theta \dots \dots \dots (2.4)^4$$

Keterangan:

P = Daya Aktif

S = Daya Semu

$\cos \theta$  = Faktor Daya

### 2.1.7 Daya Semu

Perkalian tegangan V dengan arus I dalam kedua besaran inidalam bentuk kompleks adalah VI yang dinamakan daya semu dengan simbol S dalam satuan volt ampere (VA), kilo volt ampere (KVA), mega volt ampere (MVA). Arus I adalah arus konjugate dari I. Jadi,

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots \dots \dots (2.5)^4$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (2.6)^4$$

Keterangan:

S = Daya Semu (VA)

P = Daya Aktif (W)

Q = Daya Reaktif (MVAR)

V = Tegangan

I = Arus

### 2.1.8 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet atau daya yang ditimbulkan oleh beban yang bersifat induktif dengan simbol Q. Satuan daya reaktif adalah volt amper reaktif (VAR), kilo volt amper reaktif (KVAR), dan mega volt amper reaktif (MVAR). Jadi,

$$Q = V \times I \times \sin \theta \dots \dots \dots (2.7)^4$$

Keterangan:

Q = Daya Reaktif                      V = Tegangan

I = Arus                                       $\sin \theta$  = Faktor Reaktif

<sup>4</sup> Eugene C. Lister, *Mesin dan Rangkaian Listrik* (Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993)



### 2.1.9 Faktor Daya

Faktor daya listrik adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya semu, atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

Keterangan:

$$\cos \theta = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.8)^4$$

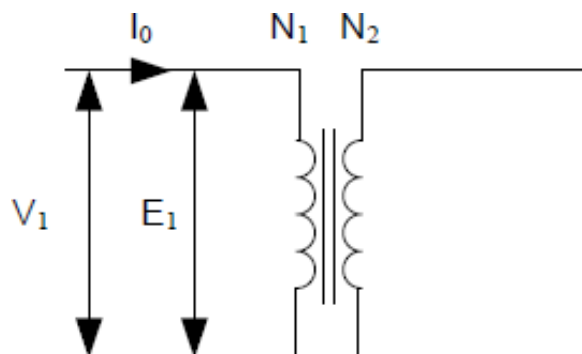
P = Daya Aktif

S = Daya Semu

$\cos \theta$  = Faktor Daya

### 2.1.10 Transformator Tanpa Beban

Transformator disebut tanpa beban jika kumparan sekunder dalam keadaan terbuka (open circuit)



Gambar 2.13 Transformator Tanpa Beban

(Sumber : [www.tamboenman.xyz](http://www.tamboenman.xyz), Maret 2022)

Dalam keadaan ini, arus  $I_0$  yang mengalir pada kumparan primer adalah sangat kecil. Arus ini disebut arus primer tanpa beban atau arus penguat.

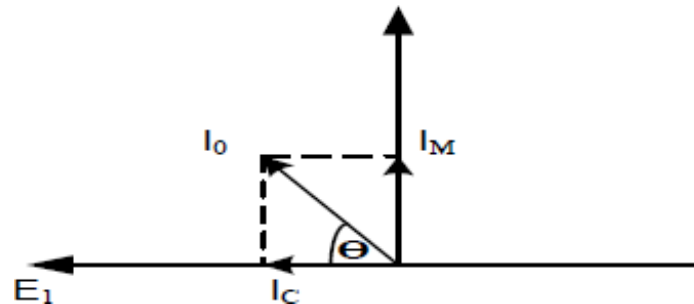
Arus  $I_0$  adalah terdiri dari arus pemagnet ( $I_M$ ) arus tembaga ( $I_C$ ). Arus  $I_M$  inilah yang menimbulkan fluks magnet bersama yang dapat mengakibatkan timbulnya rugi histerisis dan rugi eddy current (arus pusar).<sup>12</sup>

<sup>4</sup> Eugene C. Lister, *Mesin dan Rangkaian Listrik* (Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993)

<sup>12</sup> Yon Rijono, *Dasar Teknik Listrik* (Yogyakarta: Penerbit Andi, 1997)

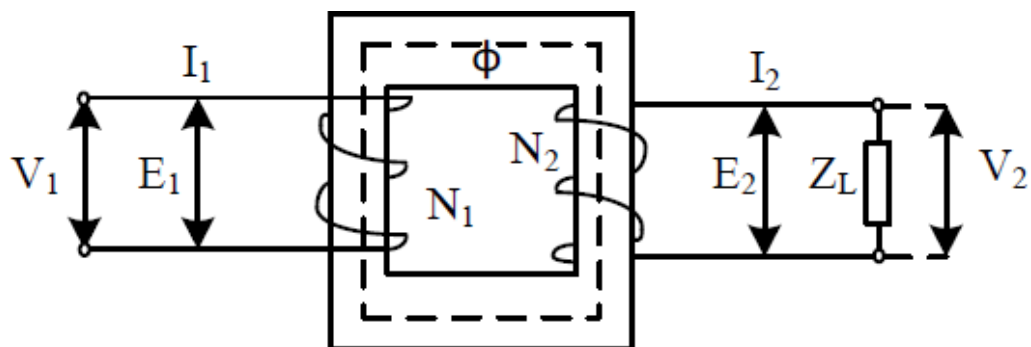


Rugi histerisis dan rugi eddy *curent* inilah yang menimbulkan rugi inti sedangkan adanya arus tembaga akan menimbulkan rugi tembaga. Secara vektoris hubungan antara arus penguat, fluks magnet bersama dan gaya gerak listrik primer.



Gambar 2.14 Hubungan Antara  $I_0$   $\phi$  dan  $E_1$

### 2.1.11 Transformator Berbeban



Gambar 2.15 Transformator Berbeban

(Sumber : [www.teknik-ketenagalistrikan.blogspot.com](http://www.teknik-ketenagalistrikan.blogspot.com))

Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan Gaya Gerak Magnet (GGM)  $N_2 I_2$  yang cenderung menentang fluks ( $\phi$ ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_M$ . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir  $I_2$ , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer.<sup>13</sup>

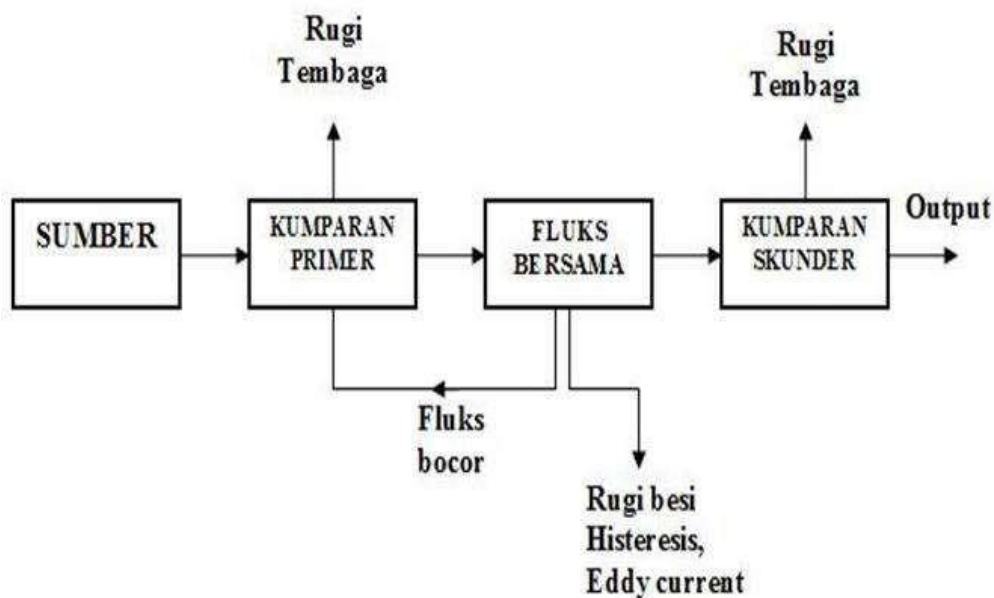
<sup>13</sup> Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik* (Bandung: Penerbit ITB, 1991) Hal 17



### 2.1.12 Rugi-Rugi Transformator

Rugi-rugi daya transformator berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun sekunder. Untuk mengurangi rugi besi haruslah diambil inti besi yang penampangnya cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir di dalamnya. Untuk memperkecil rugi tembaga, harus diambil kawat tembaga yang penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus listrik yang diperlukan. Rugi inti terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histerisis. Rugi arus eddy timbul akibat adanya arus pusar pada inti yang menghasilkan panas. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan-perubahan fluks magnet.<sup>8</sup>

Rugi histerisis merupakan rugi tenaga yang disebabkan oleh fluks magnet bolak-balik pada inti.



Gambar 2.16 Diagram Rugi-rugi Transformator

(Sumber : [www.riza-electrical.blogspot.com](http://www.riza-electrical.blogspot.com))

<sup>8</sup> Nurul Ambiya, *Analisa Pemerataan Beban Untuk Meningkatkan Efisiensi Kerja Transformator Pada Gardu Distribusi U. 254* (2013)



### 1. Rugi Tembaga (PCu)

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga dapat ditulis sebagai berikut:

$$PCu = I^2 R \dots \dots \dots (2.9)^{12}$$

Keterangan:

$$PCu = \text{Rugi Inti} \qquad I = \text{Arus} \qquad R = \text{Tahanan}$$

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak konstan bergantung pada beban.

### 2. Rugi Besi (Pi)

Rugi terdiri atas:

a) Rugi Histeris, yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi yang dinyatakan sebagai berikut:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{\text{maks}} \text{ watt} \dots \dots \dots (2.10)^{12}$$

Keterangan:

$$P_h = \text{Rugi Histeris} \qquad B_{\text{maks}} = \text{Fluks Maksimum (Weber)}$$

$$f = \text{Frekuensi Jala-Jala} \qquad K_h = \text{Konstanta Histeris}$$

b) Rugi arus eddy, yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi. dirumuskan sebagai berikut:

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_{\text{maks}}^2$$

Keterangan:

$$P_e = \text{Rugi Arus Eddy} \qquad B_{\text{maks}} = \text{Fluks Maksimum (Weber)}$$

$$f = \text{Frekuensi Jala-Jala} \qquad K_e = \text{Konstanta Arus Eddy}$$

### 3. Rugi Total

Rugi yang disebabkan oleh rugi tembaga dan rugi besi maka didapatkan rugi total yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Rugi Total} = P_{\text{input}} - P_{\text{output}} \dots \dots \dots (2.11)^4$$

Keterangan:

$$P_{\text{input}} = \text{Daya Masuk (Watt)} \qquad P_{\text{output}} = \text{Daya Keluar (Watt)}$$

$$\text{Rugi Total} = \text{Rugi Variable} + \text{Rugi Tetap} \dots \dots \dots (2.12)^4$$

<sup>4</sup> Eugene C. Lister, *Mesin dan Rangkaian Listrik* (Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993)

<sup>12</sup> Yon Rijono, *Dasar Teknik Listrik* (Yogyakarta: Penerbit Andi, 1997)





### 2.1.13 Efisiensi Transformator

Efisiensi dinyatakan sebagai:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi}} = 1 - \frac{\sum}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)^4$$

Keterangan:

$P_{in}$  = Daya Masuk (Watt)

$P_{out}$  = Daya Keluar (Watt)

$\eta$  = Efisiensi (%)

## 2.2 Rugi Akibat Adanya Arus Pada Pengantar Netral Transformator

Sebagai akibat dari beban yang tidak seimbang tiap-tiap fasa pada sisi sekunder transformator (fasa R, S, dan T) mengalir arus di pengahantar netral transformator. Arus yang mengalir pada pengahantar netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi.<sup>7</sup>

<sup>4</sup> Eugene C. Lister, *Mesin dan Rangkaian Listrik* (Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993)

<sup>7</sup> Julius Sentosa Setiadji dkk, *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral* (Surabaya: 2006)