



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pengertian Transformator

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 elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi (*input Impedance*) antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain; untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran: yang terdiri dari transformator arus dan transformator tegangan<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, (Bandung: Penerbit ITB, 1991), hal 15

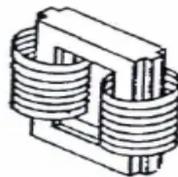


## 2.2 Bentuk dan Konstruksi Bagian – bagian Transformator Daya

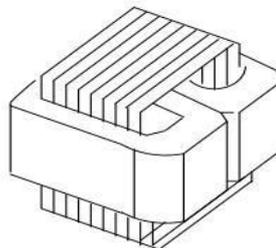
Pada prinsipnya konstruksi transformator dibedakan menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut :

1. Konstruksi jenis inti (*core*), lilitan primer membelit salah satu kaki transformator dan lilitan sekunder membelit kaki transformator yanglain.
2. Konstruksi jenis cangkang (*shell*), lilitan primer dan lilitan sekunder membelit kaki yang sama (kaki tengah) pada transformator

Pada gambar 2.1 dan 2.2 diperlihatkan konstruksi dari kedua inti, dimana kedua kumparan dililitkan saling tergabung secara magnetis, namun kumparan tersebut tidak tergabung secara elektrik. 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** Konstruksi Tansformator Tipe Inti



**Gambar 2.2** Kontruksi Transformator <sup>5</sup>Tipe Cangkang.

<sup>5</sup> Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, (Bandung: Penerbit ITB, 1991), hal 15



### 2.3 Prinsip Kerja Transformator<sup>7</sup>

Prinsip kerja dari trafo melibatkan bagian-bagian utama pada trafo, yaitu: kumparan primer, kumparan sekunder dan inti trafo. Kumparan tersebut mengelilingi inti besi dalam bentuk lilitan. Apabila kumparan pada sisi primer trafo dihubungkan dengan suatu 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 trafo yang menghubungkan kumparan pada sisi primer dan kumparan pada sisi sekunder, maka fluks magnetik akan mengalir bersama pada inti trafo dari kumparan primer menuju kumparan sekunder sehingga akan membangkitkan tegangan induksi pada sisi sekunder trafo.

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

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 trafo berbanding lurus dengan jumlah lilitan kumparan pada inti trafo. 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>7</sup> <https://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-transformator/> Diakses pada tanggal 2 Juni 2020 pukul 16:23 WIB

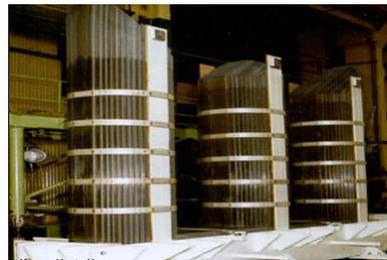


## 2.4 Komponen Utama Transformator Daya

Komponen utama transformator tenaga terdiri dari bagian-bagian diantaranya: inti besi, kumparan, bushing, minyak transformator, tangki konservator, peralatan bantu pendinginan transformator, tap changer, dan Indikator

### 2.4.1 Inti besi

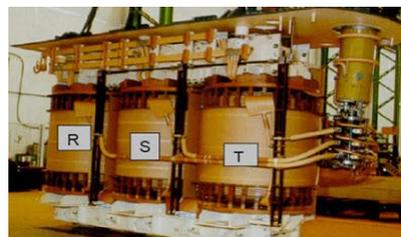
Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi eddy current yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi - rugi (losses).



**Gambar 2.3** Inti Besi dan Laminasi yang diikat *Fiber Glass*

### 2.4.2 Kumparan

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 flux magnetik.



**Gambar 2.4** Kumparan Phasa RST<sup>1</sup>

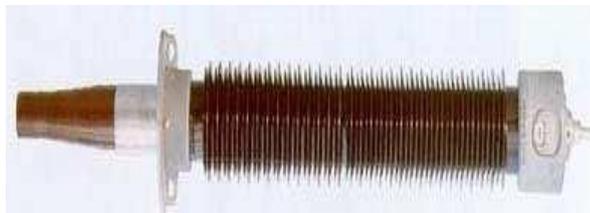
<sup>1</sup> Bambang Cahyono, dkk., Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga (Jakarta: PT. PLN (Persero), 2014), hlm. 2



### 2.4.3 Bushing

Hubungan antara kumparan 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. Pada *bushing* dilengkapi fasilitas untuk pengujian tentang kondisi bushing yang sering disebut *center tap*.

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari dua jenis yaitu *oil impregnated paper* dan *resin impregnated paper*. Pada tipe *oil impregnated paper isolasi* yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.



**Gambar 2.5** Bushing

### 2.4.4 Minyak Isolasi Transformator

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo 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 2.6** Minyak Isolasi Trafo Tenaga

**2.4.5 Tangki Konservator** 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 2.7 digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu.



**Gambar 2.7** Tangki Konservator



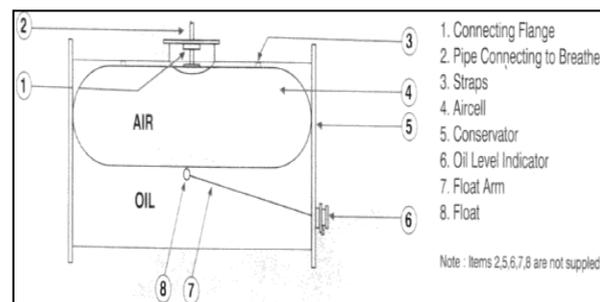
**Gambar 2.8** Silicagel<sup>1</sup>

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara didalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel 2.8.

<sup>1</sup> *Ibid*, hal 8-9



Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan *brether bag/rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang didalam tangki konservator.



**Gambar 2.9** Konstruksi Konservator dengan *Rubber Bag*

## 2.5 Peralatan Bantu Pendinginan Transformator

Peralatan bantu pendinginan transformator berfungsi untuk menjaga agar transformator bekerja pada suhu rendah. Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Maka panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, ini akan merusak isolasi maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan alat atau system pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.

Secara alamiah media pendingin (minyak isolasi) mengalir karena perbedaan suhu tangki minyak dan sirip-sirip transformator (Radiator). Untuk mempercepat pendinginan transformator dilengkapi dengan kipas yang dipasang di radiator transformator dan pompa minyak agar sirkulasi minyak lebih cepat dan pendinginan lebih optimal.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> M.Solikhudin, Tesis gangguan interbus transformer IBT 1, (Jakarta: Universitas Indonesia 2010), hal 4-6



**Gambar 2.10** Pendingin Transformator

Tabel 2.1 Klasifikasi Pendinginan Transformator<sup>8</sup>

No	Macam sistem pendingin	Media				Singkatan
		Didalam transformator		Diluar Transformator		
		Sirkulasi alami	Sirkulasi paksa	Sirkulasi alami	Sirkulasi paksa	
1	<i>AN</i>	-	-	Udara	-	<i>Air Natural</i>
2	<i>AF</i>	-	-	-	Udara	<i>Air Forced</i>
3	<i>ONAN</i>	Minyak	-	Udara	-	<i>Oil Natural</i> <i>Air Natural</i>
4	<i>ONAF</i>	Minyak	-	-	Udara	<i>Oil Natural</i> <i>Air Forced</i>
5	<i>OFAN</i>	-	Minyak	Udara	-	<i>Oil Forced</i> <i>Air Forced</i>
6	<i>OFAF</i>	-	Minyak	-	Udara	<i>Oil Forced</i> <i>Air Forced</i>
7	<i>OFWF</i>	-	Minyak	-	Air	<i>Oil Forced</i> <i>Water Forced</i>
8	<i>ONAN/ONAF</i>	Kombinasi 3 dan 4				
9	<i>ONAN/OFAN</i>	Kombinasi 3 dan 5				
10	<i>ONAN/OFAF</i>	Kombinasi 3 dan 6				
11	<i>ONAN/OFWF</i>	Kombinasi 3 dan 7				

<sup>8</sup> [https://www.academia.edu/9900561/BAB\\_I\\_TRANSFORMATOR\\_DAYA](https://www.academia.edu/9900561/BAB_I_TRANSFORMATOR_DAYA), diakses pada 2 juni 2020



### **2.5.1 Tap Changer**

Tap changer berfungsi untuk menjaga tegangan keluaran yang diinginkan dengan input tegangan yang berubah-ubah. Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangan nominalnya sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi dapat saja terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun, untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selalu pada kondisi terbaik, konstan dan berkelanjutan.

Ditinjau dari cara pengoperasiannya, tap changer terdiri dari dua tipe yaitu on-load yang bekerja secara otomatis jika merasakan tegangan kurang/lebih dan off-load yang dapat dipindah tap hanya jika trafo tidak berbeban/bertegangan.

### **2.5.2 Alat Pernapasan**

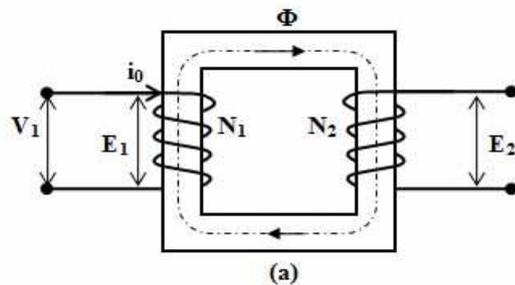
Alat pernapasan (Dehydrating Breather). Sebagai tempat penampungan pemuaiian minyak isolasi akibat panas yang timbul, maka minyak ditampung pada tangki yang sering disebut sebagai konservator. Pada konservator ini permukaan minyak diusahakan tidak boleh bersinggungan dengan udara, karena kelembaban udara yang mengandung uap air akan mengkontaminasi minyak walaupun proses pengkontaminasinya berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut, udara yang masuk kedalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin memerlukan suatu media penghisap kelembaban, yang digunakan biasanya adalah silica gel. Kebalikan jika trafo panas maka pada saat menyusut maka akan menghisap udara dari luar masuk kedalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembaban udara maka diperlukan suatu media penghisap kelembaban yang digunakan biasanya adalah silica gell, yang secara khusus dirancang untuk maksud tersebut diatas<sup>5</sup>

---

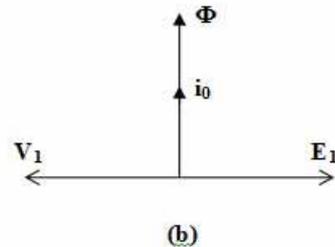
<sup>5</sup> *ibid*, hal7



**2.6 Transformator Tanpa Beban<sup>3</sup>**



**Gambar 2.13** Trafo tanpa beban



**Gambar 2.14** Hubungan antara

$i_0$ ,  $\Phi$ ,  $E_1$ , dan  $V_1$

Keterangan gambar 2.13 dan 2.14:

$E_1$  : Tegangan belitan primer

$E_2$  : Tegangan belitan sekunder

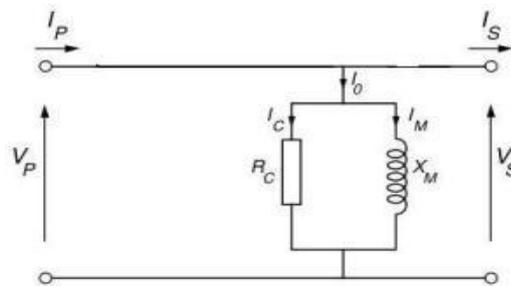
$N_1$  : Belitan primer

$N_2$  : Belitan sekunder

$i_0$  : Arus primer

$V_1$  : Tegangan primer

$\phi$ : fluks Magnet



**Gambar 2.15** Ragkaian Ekivalen Transformator Tanpa Beban

Keterangan gambar 2.15 :

$V_p$  : Tegangan Primer

$V_s$  : Tegangan sekunder

$I_p$  : Arus Primer

$I_s$  : Arus sekunder

$I_M$  : Arus Pemagnetan

$R_c$  : Hambatan inti

<sup>3</sup> Haryoto Prasetyo, *Buku PLN Pusat Pendidikan dan Pelatihan*. (Jakarta: PT. PLN (PERSERO)2020) hlm 20



$X_M$  : Reaktansi pemagnitan

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoidal, akan mengalirkan arus primer  $I_o$  yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni,  $I_o$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$  (gambar 2.14). Arus primer  $I_o$  menimbulkan *fluks* ( $\Phi$ ) yang sefasa juga berbentuk sinusoidal.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \sin \omega t \dots\dots\dots (2.3)$$

*Fluks* yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi  $e_1$  (*Hukum Farada*)

$$e_1 = - N_1 \cdot \left( \frac{d\Phi}{dt} \right) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$e_1 = - N_1 \cdot \left( \frac{d(\Phi_{\text{maks}} \sin \omega t)}{dt} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$e_1 = -N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t \text{ (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{harga efektifnya adalah } E_1 = \left( \frac{N_1 \cdot 2 \pi f \Phi_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} \right) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$E_1 = 4.44 n_1 \cdot f \Phi_{\text{maks}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Pada rangkaian sekunder, *fluks* ( $\Phi$ ) bersama tadi menimbulkan :

$$e_1 = - N_2 \cdot \left( \frac{d\Phi}{dt} \right) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$e_1 = - N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t \dots\dots\dots (2.10)$$

$$E_2 = 4.44 N_2 \cdot f \Phi_{\text{maks}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\text{sehingga } \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya *fluks* bocor,

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \dots\dots\dots (2.13)$$

$a$  = perbandingan transformasi

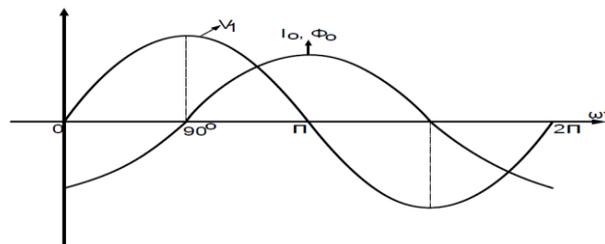


Dalam hal ini tegangan induksi  $E_1$  mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber  $V_1$ .

Dimana :

$e_1$  : gaya gerak listrik (Volt)     $N_1$  : jumlah belitan di sisi primer (*turn*)

$\omega$  : kecepatan sudut putar (rad/sec)     $\Phi$  : fluks magnet (*weber*)



**Gambar 2.16** Gelombang  $I_0$  Tertinggal  $90^\circ$  Dari  $V$

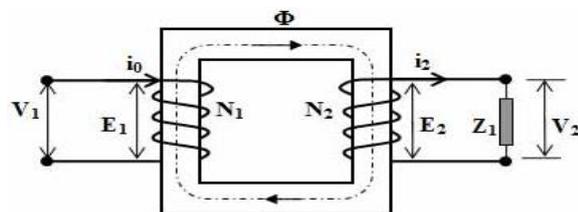
Keterangan gambar 2.16 :

$I_0$  : Arus Tembaga

$\omega t$  : Frekuensi sudut (rad/sec)

## 2.7 Transformator Keadaan Berbeban<sup>6</sup>

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ ,  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder dimana  $I_2 = V_2/Z_L$  dengan  $q_2 =$  faktor kerja beban.



**Gambar 2.17** Transformator dalam Keadaan Berbeban

<sup>6</sup> *ibid*, hal 21



Keterangan Gambar 2.17 :

$Z_I$  : Impedansi (ohm)

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 arus  $I'_2$ , yang menentang *fluks* yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi

$$I_1 = I_0 + I'_2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Bila rugi besi diabaikan ( $I_c$  diabaikan) maka  $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I'_2 \dots\dots\dots (2.15)$$

Untuk menjaga agar *fluks* tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_M$  saja, berlaku hubungan :

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.16)$$

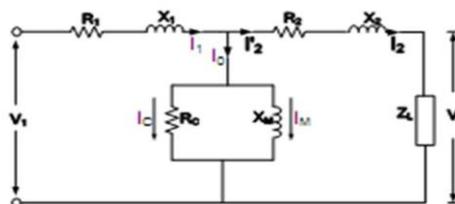
$$N_1 I_M = N_1 ( I_1 - I'_2 ) - N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\text{Hingga } N_1 I'_2 = N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.18)$$

Karena nilai  $I_M$  dianggap kecil maka :

$$I_1 = I'_2 \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\text{Jadi } \rightarrow \frac{N_1}{I_1} \cdot \frac{N_2}{I_2} = \text{atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots(2.20)$$



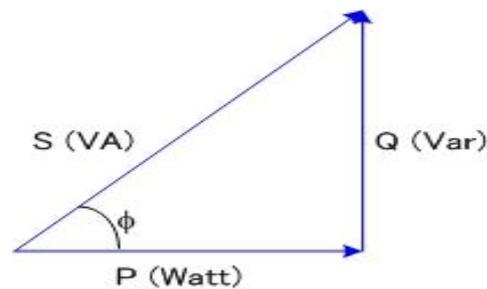
**Gambar 2.18** Rangkaian Ekuivalen Transformator Berbeban<sup>6</sup>

<sup>6</sup> *ibid*, hal 22



## 2.8 Segitiga Daya

Segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada gambar bentuk segitiga berikut ini :



**Gambar 2.19** Segitiga Daya

Daya Listrik dibagi menjadi 3 bagian yaitu sebagai berikut :

### 2.8.1 Daya Aktif<sup>2</sup>

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

$$P = \sqrt{3} \cdot VI \cos \theta \dots\dots\dots(2.21)$$

$$P_1 = P_2 \rightarrow V_1 \times I_1 = V_2 \times I_2 \dots\dots\dots(2.22)$$

### 2.8.2 Daya Semu

Perkalian tegangan  $V$  dengan arus  $I$  dalam kedua besaran ini dalam bentuk bilangan 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,

$$S = \sqrt{3} \cdot VI \dots\dots\dots(2.23)$$

<sup>2</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, Hlm. 22



### 2.8.3 Daya Reaktif

Daya reaktif atau daya khayal dirumuskan dengan  $S \sin \theta$  atau  $VI \sin \theta$  dengan simbol  $Q$ , dalam satuan volt ampere reaktif (VAR), kilo volt ampere reaktif (KVAR), mega volt ampere reaktif (MVAR). Jadi,

$$Q = \sqrt{3} \cdot S \sin \theta = \sqrt{3} \cdot VI \sin \theta \dots \dots \dots (2.24)$$

## 2.9 Rugi-rugi Transformator

Rugi – rugi transformator terbagi menjadi dua antara lain sebagai berikut:

### 2.9.1 Rugi Variabel<sup>2</sup>

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga  $P_{CU} = I^2R$ . Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 \dots \dots \dots (2.25)$$

$$P_{cu} = I_2^2 R_2 \dots \dots \dots (2.26)$$

Dengan demikian rugi tembaga total :

$$P_{cu} = P_{cu1} + P_{cu2}$$

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \dots \dots \dots (2.27)$$

Karena  $I_2 = a I_1$ , maka persamaan dapat juga ditulis dengan

$$P_{cu} = I_1^2 R_1 + (a I_1)^2 R_2$$

$$= I_1^2 (R_1 + a^2 R_2)$$

$$= I_1^2 \text{Rek}_1 \text{ atau dapat ditulis}$$

$$P_{cu} = I_2^2 \text{Rek}_2 \dots \dots \dots (2.28)$$

<sup>2</sup> *ibid*, hal 22



Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah :

$$\text{Prugi total} = \text{Rugi-rugi Cu} + \text{Rugi inti} \dots \dots \dots (2.29)$$

Besarnya rugi-rugi tembaga pada setiap perubahan beban dapat ditentukan dengan persamaan :

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1} \dots \dots \dots (2.30)$$

Keterangan :

$P_{t2}$  = Rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan tertentu.

$P_{t1}$  = Rugi-rugi tembaga beban penuh.

$S_2$  = Beban yang dioperasikan

$S_1$  = Nilai pengenal

$$\eta_{listrik} = \frac{C}{B} \times 100\% \dots \dots \dots (2.31)$$

$$\eta_{mekanik} = \frac{B}{A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.32)$$

$$\eta_{Trafo} = \eta_{listrik} \times \eta_{mekanik} = \frac{C}{B} \times \frac{B}{A} = \frac{C}{A} = \frac{P_o}{P_{in}} \dots \dots \dots (2.33)$$

## 2.10 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara keluaran daya yang berguna dan masuk daya total. Karena masukan ke transformator sama dengan keluaran daya yang berguna ditambah kerugiannya, maka persamaan efisiensi dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut :

$$\text{Daya keluaran} = \text{daya input} - \text{kerugian} \dots \dots \dots (2.34)$$

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.35)$$



Atau

$$\eta = \frac{\text{daya keluaran}}{\text{daya keluaran} + \Sigma_{rugi}} \dots \dots \dots (2.36)^4$$

$$\eta = \frac{\Sigma_{rugi}}{\text{daya masukan}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi Transformator

$P_{out}$  = Daya keluaran (kumparan sekunder)

$P_{in}$  = Daya masukan (kumparan primer)

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

### 2.10.1 Perubahan Efisiensi Terhadap Beban

$$\eta = \frac{V_2 \cos \varphi}{V_2 \cos \varphi + I_2 R_{2ek} + \frac{P_i}{I_2}} \dots \dots \dots (2.38)$$

Agar efisiensi maksimum

$$\frac{d}{dI_2} \left( I_2 R_{2ek} + \frac{P_i}{I_2} \right) = 0 \dots \dots \dots (2.39)$$

$$\text{Jadi, } R_{2ek} = \frac{P_i}{I_2}$$

$$P_i = I_2^2 R_{2ek} = P_{cu}$$

Artinya, untuk beban tertentu efisiensi maksimum terjadi ketika rugi tembaga = rugi inti.

<sup>4</sup> Rijono, Yon. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Penerbit ANDI, hal 52



Untuk menentukan besarnya beban yang dioperasikan pada saat efisiensi maksimum, berlaku :

$$W_{\text{ef maks}} = \sqrt{\frac{\text{Rugi-rugi besi}}{\text{Rugi-rugi tembaga beban penuh}}} \times \text{Beban penuh} \dots\dots\dots(2.40)$$