



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 tegangan¹

1. Transformator daya

Transformator yang biasa digunakan di Gardu Induk baik itu GI Pembangkit dan GI Distribusi dimana trafo tersebut memiliki kapasitas daya yang besar. Di GI Pembangkit, trafo digunakan untuk menaikkan tegangan ke tegangan transmisi/tinggi (150/500). Sedangkan di GI

¹ Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, (Bandung: Penerbit ITB, 1991), hal 43



Distribusi, trafo digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi ke tegangan primer/menengah (11,6/20kV).

2. Transformator Distribusi yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) menjadi tegangan rendah (220/380). Trafo ini sebesar luas di lingkungan masyarakat dan mudah mengenalinya karena biasa dicantol di tiang.
3. Transformator pengukuran terdiri dari dua yaitu : trafo tegangan dan arus.
 - Trafo tegangan adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran tegangan dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya.
 - Trafo arus adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran arus dengan cara perbandingan belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban arus yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya.

2.2. Bentuk dan Konstruksi Bagian – bagian Transformator Daya

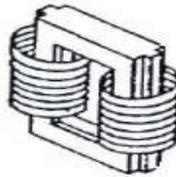
Pada prinsipnya konstruksi transformator dibedakan menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut :

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

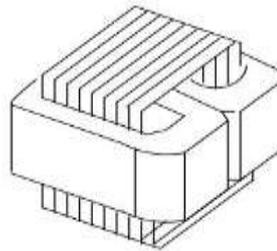
Pada gambar 2.1 dan 2.2 diperlihatkan konstruksi dari kedua inti, dimana kedua kumparan dililitkan saling tergabung secara magnetis, namun kumparan tersebut tidak tergabung secara elektrik. Kerja transformator yang



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 Transformator Tipe Inti



Gambar 2.2 Kontruksi Transformator Tipe Cangkang.

2.3. Prinsip Kerja Transformator²

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 (Φ) 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

² <https://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-transformator/> Diakses pada tanggal 2 Juni 2023 pukul 11.03 WIB



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.

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.

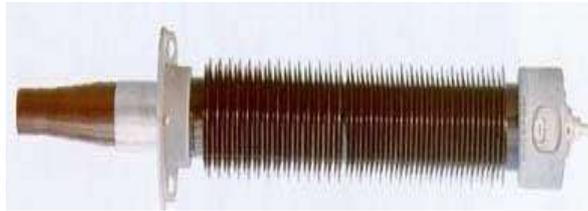


Gambar 2 4 Kumparan Phasa RST1

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.

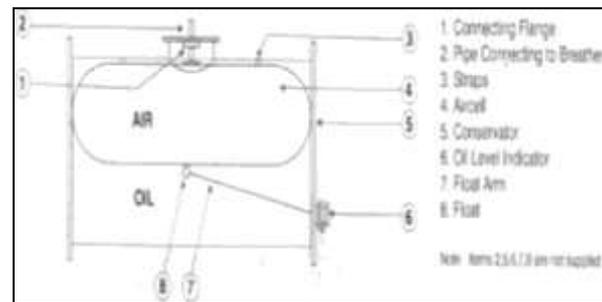


Gambar 2.7 Tangki Konservator



Gambar 2.8 Silicagel¹

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. 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.³

³ 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

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				



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.

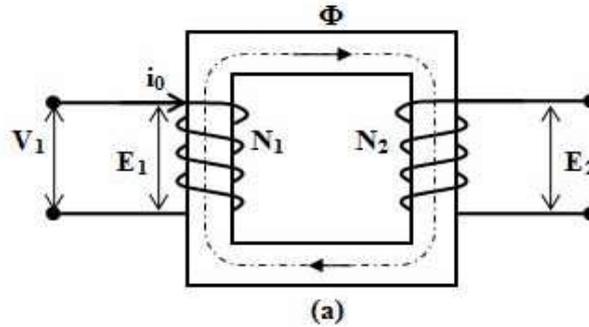
2.5.2 Alat Pernapasan

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 diusahkan 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.⁴

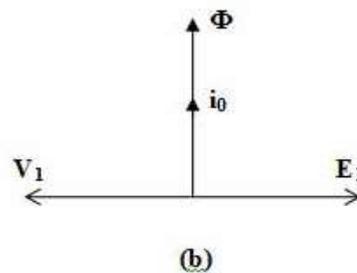
⁴ Ibid, hal 6



2.6. Transformator Tanpa Beban⁵



Gambar 2.11 Trafo tanpa beban



Gambar 2.12 Hubungan antara i_0 , Φ , E_1 , dan V_1

Keterangan gambar 2.11 dan 2.12 :

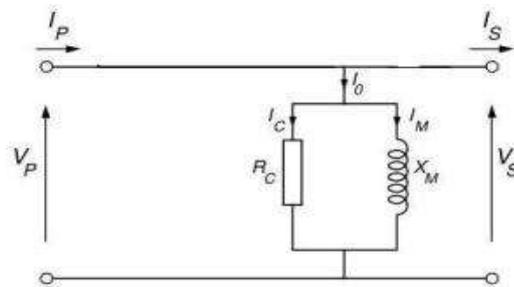
E_1 : Tegangan belitan primer E_2 : Tegangan belitan sekunder

N_1 : Belitan primer N_2 : Belitan sekunder

i_0 : Arus primer V_1 : Tegangan primer

Φ : fluks Magnet

⁵ Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, (Bandung: Penerbit ITB, 1991), hal 44



Gambar 2.13 Rangkaian Ekuivalen Transformator Tanpa Beban

Keterangan gambar 2.13 :

- | | |
|------------------------------|---------------------------|
| V_p : Tegangan Primer | V_s : Tegangan sekunder |
| I_p : Arus Primer | I_s : Arus sekunder |
| I_M : Arus Pemagnetan | R_c : Hambatan inti |
| 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° dari V_1 (gambar 2.13). Arus primer I_o menimbulkan *fluks* (Φ) yang sefasa juga berbentuk sinusoidal.

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

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

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

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

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

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

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



Pada rangkaian sekunder, *fluks* (Φ) bersama tadi menimbulkan :

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

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

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

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

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya *fluks* bocor,

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

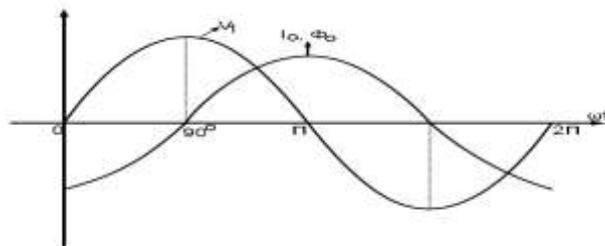
a = perbandingan transformasi

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*)

ω : kecepatan sudut putar (rad/sec) Φ : *fluks* magnet (*weber*)



Gambar 2.14 Gelombang I_o Tertinggal 90° Dari V

Keterangan gambar 2.14 :

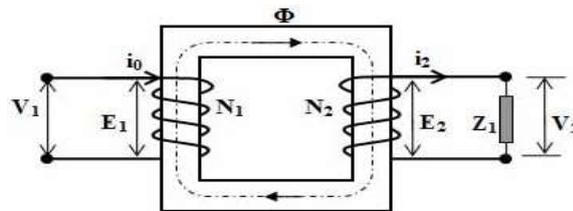
I_o : Arus Tembaga

ωt : Frekuensi sudut (rad/sec)



2.7. Transformator Keadaan Berbeban⁶

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 2.15 Transformator dalam Keadaan Berbeban⁶

Keterangan Gambar 2.15 :

Z_L : Impedansi (ohm)

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang *fluks* (Φ) 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 :

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

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

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

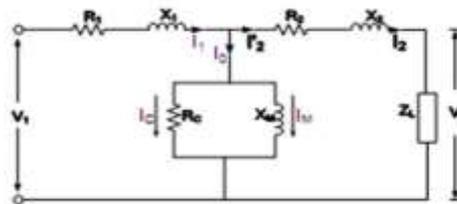
Karena nilai I_M dianggap kecil maka :

⁶ *ibid*, hal 46



$$I_1 = I_2' \dots\dots\dots (2.19)$$

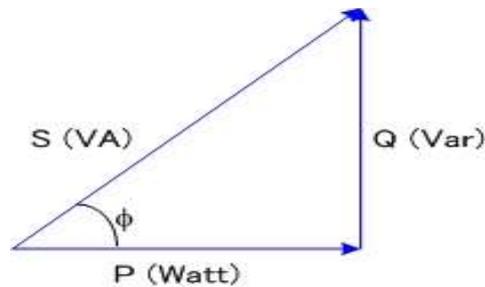
$$\text{Jadi} \rightarrow \frac{N_1}{I_1} \cdot \frac{N_2}{I_2} = \text{atau} \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots (2.20)$$



Gambar 2.16 Rangkaian Ekivalen Transformator Berbeban⁶

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 17 Segitiga Daya

Daya Listrik dibagi menjadi 3 bagian yaitu sebagai berikut :

2.8.1 Daya Aktif⁷

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

⁷ 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



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

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

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,

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

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

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

$$\begin{aligned}
P_{cu} &= I_1^2 R_1 + (a I_1)^2 R_2 \\
&= I_1^2 (R_1 + a^2 R_2) \\
&= I_1^2 R_{ek1} \text{ atau dapat ditulis}
\end{aligned}$$

$$P_{cu} = I_2^2 R_{ek2} \dots \dots \dots (2.28)$$

Jumlah total rugi-rugi pada transformator adalah :

$$P_{rugi \text{ total}} = P_{rugi \text{ Cu}} + P_{rugi \text{ inti}} \dots \dots \dots (2.29)$$

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 pengenalan

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

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

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

2.9.2 Rugi Besi

Rugi besi terdiri dari rugi histeris dan rugi *eddy current*. Rugi histeris



adalah rugi yang disebabkan ofluks bolak balik pada inti besi yang dinyatakan sebagai :

$$P_h = K_h f B_{maks}$$

Keterangan

K_h : Konstanta

B_{maks} : Fluks Maksimum (Weber)

Sedangkan rugi *eddy current* adalah rugi yang disebabkan arus pusat pada inti besi. Dirumuskan sebagai :

$$P_a = K_a f B_{maks}$$

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah :

$$P_i = P_h + P_a$$

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

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

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

Dimana:

η = 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.

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.

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

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