

BAB II

TRANSFORMATOR

2.1. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik. 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.(Zuhal, 2000)

Dalam bidang elektromagnetik, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan inpendasi antara sumber dan beban, untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain, dan harus menghambat arus searah sambil tetap melakukan atau mengalirkan arus bolak-balik antar rangkaian. Berdasarkan frekuensi, transformator dapat di kelompokkan sebagai berikut:

1. Frekuensi daya 50-60 c/s.
2. Frekuensi pendengaran 50 c/s – 20 c/s.
3. Frekuensi radio, diatas 30 kc/s.

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.(Zuhal, 2000)

2.2. Prinsip kerja Transformator

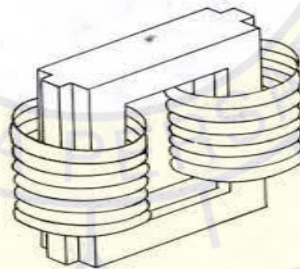
Prinsip kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnetik. Menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan skunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluss bersama.(Zuhal 1991)

2.3. Konstruksi Transformator

Pada dasarnya transformator terdiri dari kumparan primer dan sekunder yang dibelitkan pada inti ferromagnetik. Berdasarkan letak kumparan terhadap inti, transformator terdiri dari dua macam konstruksi, yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Kedua tipe ini menggunakan inti berlaminasi yang terisolasi satu sama lainnya, dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi *eddy current*.(Abdul Kadir 1989)

2.4. Tipe Inti (Core Form)

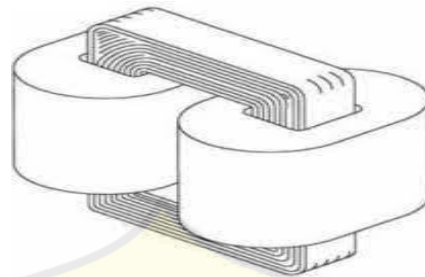
Tipe inti ini dibentuk dari lapisan besi berisolasi berbentuk persegi dan kumparan transformatornya dibelitkan pada dua sisi persegi. Pada konstruksi tipe inti, lilitan mengelilingi inti besi yang disebut dengan kumparan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.(Pelawi, 2018)



Gambar 2.1. Konstruksi Transformator Tipe Inti (Rekayasa listrik in Trafo.2013)

2.5. Tipe Cangkang (Shell Form)

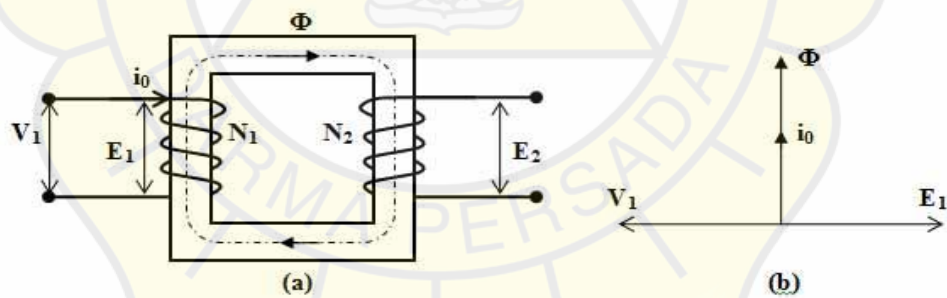
Jenis konstruksi transformator yang kedua yaitu tipe cangkang yang dibentuk dari lapisan inti berisolasi, dan kumparan dibelitkan di pusat inti, dapat dilihat pada Gambar 2.2.(Abdul Kadir 1989)



Gambar 2.2. Konstruksi Transformator Tipe Cangkang (Rekayasa listrik in Trafo.2013)

2.6. Keadaan transformator tanpa bebann

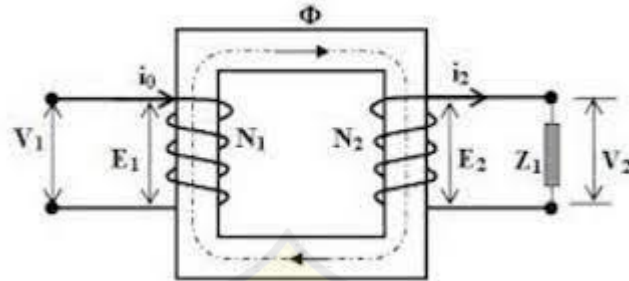
Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid, akan mengalir arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan berbentuk sinusoid.(Zuhal, 2000)



Gambar 2.3. Transformator tanpa beban (Zuhal, 2000)

2.7. Keadaan transformator berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder, di mana $I_2 = V_2/Z_L$ dengan $O_2 =$ faktor kerja beban.

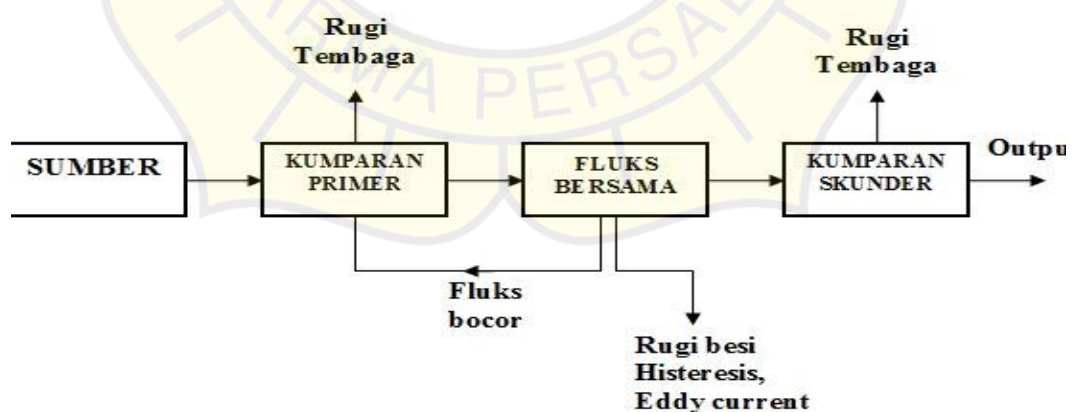


Gambar 2.4. Transformator Berbeban (Zuhal, 2000)

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 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. (Zuhal, 2000)

2.8. Rugi dan Efisiensi

Pada gambar 2.5. adalah suatu proses terjadinya rugi-rugi tembaga pada transformator dan efisiensi yang terjadi pada transformator. Yang dimana gambar dibawah ini menunjukkan dari sumber sampai output.



Gambar 2.5. Rugi dan Efisiensi (Zuhal, 2000)

2.9. Rugi Tembaga (Pcu)

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

$$P_{cu} = IR^2R \dots \dots \dots (2.1)$$

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak konstan bergantung pada beban. (Zuhal, 2000)

2.10. Rugi Besi (Pi)

Rugi besi terdiri atas:

1. Rugi histeresis, yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak balik pada inti besi, yang dinyatakan sebagai:

$$P_h = K_h f B_{maks}^{1-6} \text{ watt} \dots \dots \dots (2.2)$$

K_h = konstanta

B_{maks} = fluks maksimum (weber)

Menurut SPLN 50:1997 bahwa rugi besi pada transformator 3 fasa dengan kapasitas 2500 kW adalah 4000W, dibawah ini adalah tabel transformator 3 fasa SPLN 50:1997.

2. Rugi arus eddy yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi dirumuskan sebagai:

$$P_e = K_e f^2 B_{maks}^2 \dots \dots \dots (2.3)$$

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah:

$$P_i = P_h + P_e \dots \dots \dots (2.4)$$

(Zuhal, 2000)

2.11. Efisiensi

Efisiensi dinyatakan sebagai:

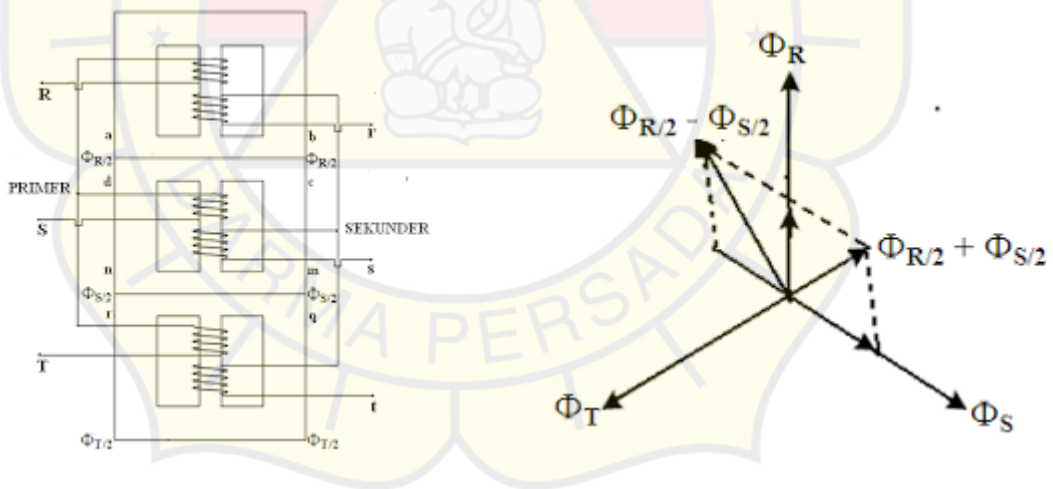
$$\eta = \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya masuk}} = \frac{\text{daya keluar}}{\text{daya keluar} + \sum \text{rugi}} = 1 - \frac{\sum \text{rugi}}{\text{daya masuk}}$$

dimana $\sum \text{rugi} = P_{Cu} + P_i + P_N$(2.5)

Artinya: untuk beban tertentu. Efisiensi maksimum terjadi ketika rugi tembaga = rugi besi.(Zuhal, 2000)

2.12. Transformator 3 fasa

Transformator 3 fasa digunakan karena pertimbangan ekonomi. Dari pembahasan berikut ini akan terlihat bahwa pemakaian inti besi pada transformator tiga fasa akan jauh lebih sedikit dibandingkan dengan pemakaian tiga buah transformator fasa tunggal. Gambar menunjukkan tiga buah transformator fasa tunggal tipe cangkang yang disusun keata. Sedangkan gambar menunjukkan hubungan vektornya.(Rijono yon 2022)



Gambar 2.6a. fasa tunggal tipe cangkang Gambar 2.6b. hubungan vektor

(Zuhal, 2000)

2.13. Hubungan Delta

Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara delta, yaitu V_{AB} , V_{BC} dan V_{CA} , masing-masing beda fasa 120° . (Zuhal, 2000)

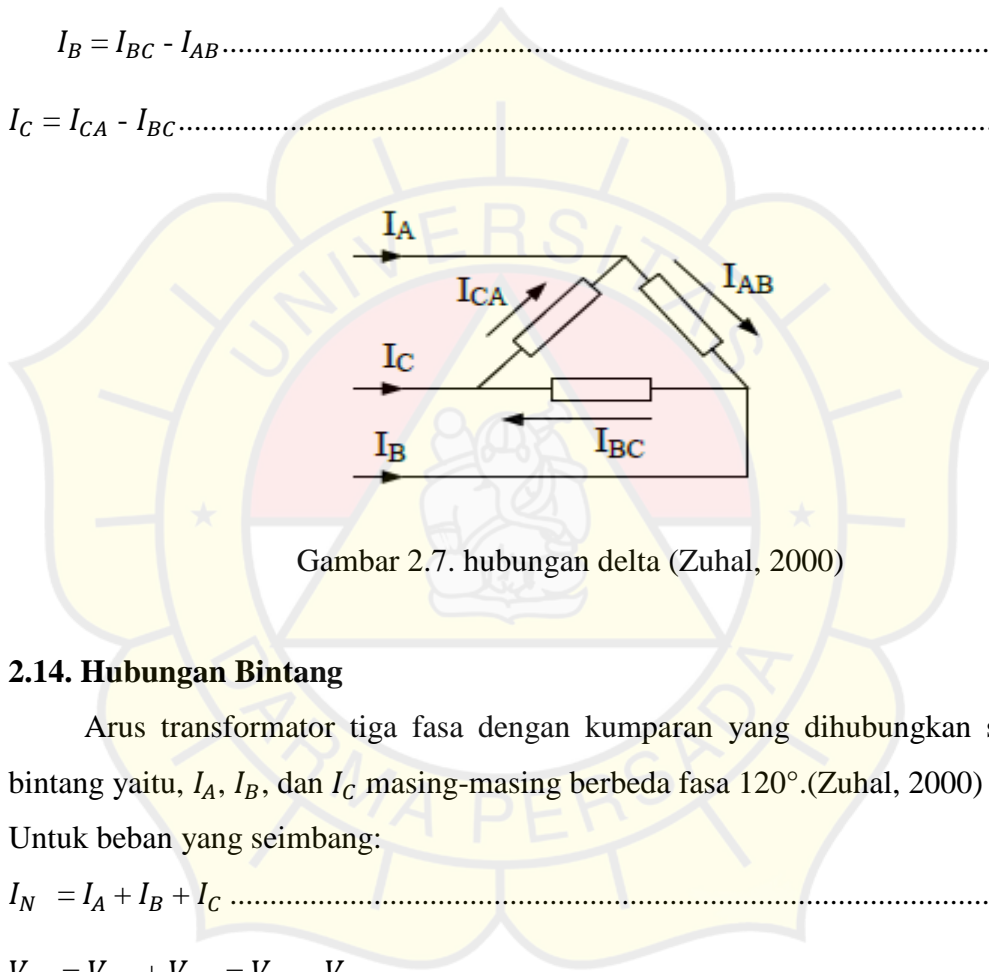
$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk beban yang seimbang:

$$I_A = I_{AB} - I_{CA} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC} \dots\dots\dots(2.9)$$



Gambar 2.7. hubungan delta (Zuhal, 2000)

2.14. Hubungan Bintang

Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara bintang yaitu, I_A , I_B , dan I_C masing-masing berbeda fasa 120° . (Zuhal, 2000)

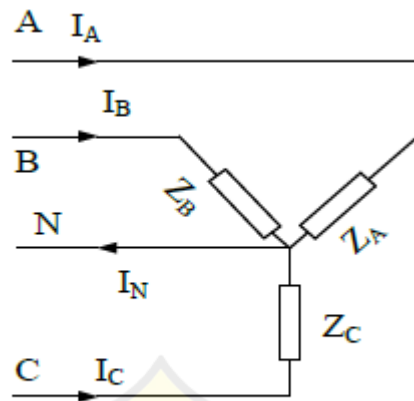
Untuk beban yang seimbang:

$$I_N = I_A + I_B + I_C \dots\dots\dots(2.10)$$

$$V_{AB} = V_{AN} + V_{BN} = V_{AN} - V_{BN} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN} \dots\dots\dots(2.12)$$

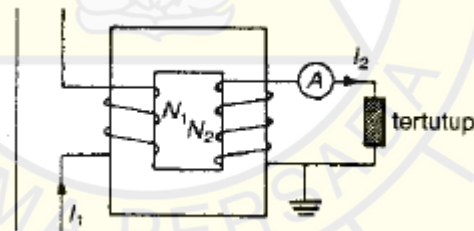
$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN} \dots\dots\dots(2.13)$$



Gambar 2.8. hubungan bintang (Zuhal, 2000)

2.15. Transformator Arus

Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Dengan menggunakan transformator arus maka arus beban yang besar dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur (ammeter) yang tidak terlalu besar.



Gambar 2.9. transformator arus (Zuhal, 2000)

Dengan mengetahui perbandingan transformasi N_1 , N_2 dan pembacaan ammeter (I_2) arus beban I_1 dapat dihitung. Bila transformator dianggap ideal maka arus beban:

$$I_1 N_1 = I_2 N_2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Untuk menjaga agar fluks (Φ) tetap tidak berubah, maka perlu diperhatikan agar rangkaian sekunder selalu tertutup. Dalam keadaan rangkaian sekunder terbuka

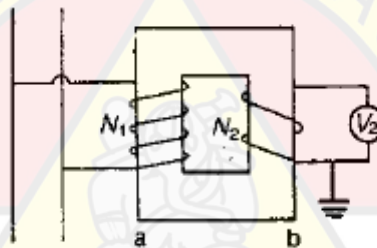
ggm $N_2 I_2$ akan sama dengan nol (karena $I_2 = 0$) sedangkan ggm $N_1 I_1$ tetap ada sehingga fluks normal (Φ) akan terganggu. (Zuhal, 2000)

2.16. Transformator Tegangan

Transformator tegangan digunakan untuk mengukur tegangan, dengan mengetahui N_1 dan N_2 , membaca tegangan V_2 , serta menganggap transformator ideal maka tegangan V_1 adalah:

$$V_1 = \frac{N_1}{N_2} V_2 \dots \dots \dots (2.15)$$

Pentanahan sekunder diperlukan untuk mencegah adanya beda potensial yang besar antara kumparan primer dan sekunder (antara titik a dan b) pada saat isolasi kumparan primer rusak. (Zuhal, 1991)



Gambar 2.10. transformator tegangan (Zuhal, 2000)

2.17. Rugi-Rugi Pada Penghantar Netral

Diakibatkan dari beban tidak seimbang pada fasa R, S & T, akan menimbulkan arus dipenghantar netral. Dimana arus dipenghantar netral ini akan menimbulkan panas yang akan menjadi rugi-rugi (losses). Rugi-rugi dipenghantar netral ini dapat dirumuskan dengan rumus sebagai berikut. (Zuhal 1991)

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana:

P_N = Daya yang hilang pada penghantar netral (Watt).

I_N = Arus yang mengalir pada penghantar netral (A).

R_N = Tahanan pada penghantar netral (ohm).

2.18. Rugi-Rugi Pada Transformator

Besarnya rugi-rugi pada transformator distribusi mencakup nilai rugi besi (rugi tanpa beban) & rugi tembaga (rugi berbeban). Nilai dari rugi besi (rugi tanpa beban) adalah bernilai tetap, dan nilai rugi tembaga (rugi berbeban) berubah-ubah mengikuti perubahan bebannya. Dapat dirumuskan sebagai berikut. (Sulasno 1991)

$$\text{Rugi-rugi trafo} = P_B + (b^2 \times P_{CU}) \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana:

P_B = rugi-rugi besi.

P_{CU} = rugi-rugi tembaga.

b = persentase pembebanan.

2.19. Efisiensi Transformator

Akibat dari timbulnya arus dipenghantar netral, maka akan menimbulkan rugi-rugi dipenghantar netral, yang dimana rugi-rugi tersebut akan menyebabkan turunnya efisiensi pada transformator tersebut. Daya yang keluar tidak sama dengan daya yang masuk. Bisa dirumuskan dengan persamaan rumus sebagai berikut: (Sudaryanto Sudirhan 1991)

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.18)$$

Dimana:

$\eta\%$ = Efisiensi transformator dalam persen (%).

P_{out} = Daya keluaran transformator (Watt).

P_{in} = Daya masukan transformator (Watt).

$$P_{in} = P_{out} + \Sigma \text{rugi-rugi}$$

Sehingga didapat rumus efisiensi transformator sebagai berikut:

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in} + \Sigma \text{rugi-rugi}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.19)$$

Dimana:

$\eta\%$ = Efisiensi transformator dalam persen (%)

P_{out} = Daya keluaran transformator (Watt)

P_{in} = Daya masukan transformator (Watt)

2.26. Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator tiga fasa bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) maupun tegangan rendah (sekunder) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \dots \dots \dots (2.20)$$

di mana :

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi primer transformator (kV)

I : arus jala-jala (A)

(Zuhal 1991)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots \dots \dots (2.21)$$

Di mana :

I_{FL} : arus beban penuh (A)

S : daya transformator (kVA)

V : tegangan sisi sekunder transformator (kV)