



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pengertian Transformator**

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik kerangkaian listrik yang lain melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.<sup>[6]</sup>

Ditinjau dari jumlah fasanya, transformator dapat dibagi atas dua jenis :

1. Transformator satu fasa
2. Transformator tiga fasa

Transformator satu fasa mempunyai satu sisi masukan dan satu sisi keluaran. Sisi masukan disebut sisi Primer, dan sisi keluaran disebut sisi sekunder. Sedangkan transformator tiga fasa mempunyai tiga buah sisi masukan dan tiga buah sisi keluaran, Transformator tiga fasa dapat dibentuk dari tiga buah transformator satu fasa ataupun dari bentuk konstruksi transformator tiga fasa satu inti.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu sebagai berikut<sup>[6]</sup> :

1. Transformator daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran

Transformator daya digunakan untuk menaikkan tegangan listrik, transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ketegangan rendah, dan transformator pengukuran, dalam hal ini ada dua jenis transformator yaitu: transformator arus dan transformator tegangan.

Transformator dapat dibagi menurut fungsi / pemakaian seperti<sup>[4]</sup> :

- Transformator Transmisi



- Transformator Gardu Induk
- Transformator Distribusi

Transformator dapat juga dibagi menurut Kapasitas dan Tegangan seperti :

- Transformator besar
- Transformator sedang
- Transformator kecil

Konstruksi bagian-bagian Transformator terdiri dari :

a. Bagian Utama

1. Inti besi
2. Kumparan Transformator
3. Minyak Transformator
4. Bushing
5. Tangki Konservator

b. Peralatan Bantu

1. Pendingin
2. Tap Changer
3. Alat pernapasan ( Dehydrating Breather )
4. Indikator-indikator : Thermometer, permukaan minyak

c. Peralatan Proteksi

1. Rele Bucholz
2. Pengaman tekanan lebih (Explosive Membrane) / Bursting Plate
3. Rele tekanan lebih (Sudden Pressure Relay)
4. Rele pengaman tangki

d. Peralatan Tambahan untuk Pengaman Transformator

1. Pemadam kebakaran (transformator – transformator besar)
2. Relay diferensial (diferential relay)
3. Rele arus lebih (Over current Relay)
4. Rele hubung tanah (Ground Fault Relay)
5. Rele thermis (Thermal Relay)
6. Arrester

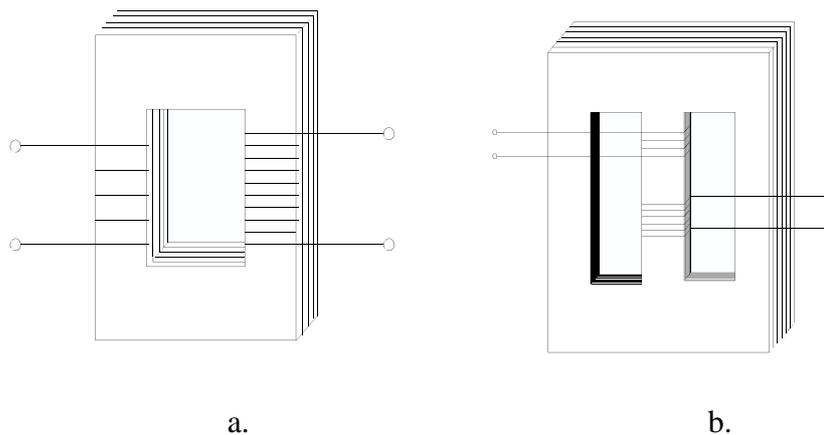


## 2.2 Bentuk dan Konstruksi Bagian Transformator<sup>[5]</sup>

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

1. Konstruksi jenis inti (core), dimana kumparan atau lilitan transformator mengelilingi inti.
2. Konstruksi jenis cangkang(shell), pada transformator ini, kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti.

Pada gambar 2.1 diperlihatkan konstruksi dari kedua inti, dimana kedua kumparan dililitkan saling terganggu secara magnetis, namun kumparan tersebut tidak terganggu secara elektrik.



Gambar 2.1 konstruksi transformator<sup>[6]</sup>

- a. Tipe Inti (*core type*)
- b. Tipe Cangkang (*shelltype*)

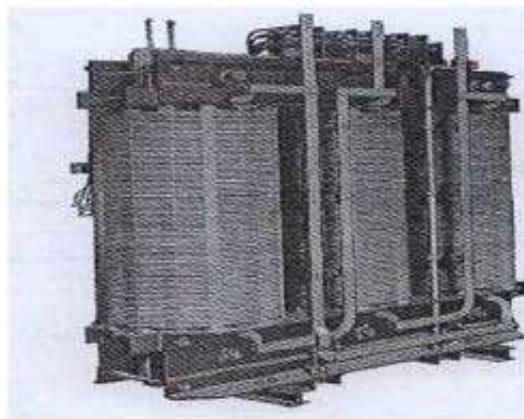
### a. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh eddy current.<sup>[4]</sup>



#### b. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan. Komponen tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang berisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain, kumparan tersebut sebagai alat transformasi kumparan dan arus.<sup>[4]</sup>



Gambar 2.2 Kumparan Phase RST.

#### c. Minyak Transformator

Sebagian besar kumparan-kumparan dan inti transformator tenaga direndam dalam minyak transformator, terutama transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah sehingga minyak transformator tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

#### d. Bushing

Hubungan antara transformator ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.

#### e. Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari transformator yang terendam minyak



transformator ditempatkan dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak transformator, tangki dilengkapi dengan konservator.<sup>[4]</sup>

#### f. Pendingin

Pendingin biasanya terdapat pada transformator berkapasitas besar. Pada inti besi dan kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi. Untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan transformator dilengkapi dengan alat/sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator. Sistem pendinginan pada transformator merupakan sesuatu yang sangat penting, yang berfungsi untuk menjaga agar kondisi transformator tidak terlalu panas ketika memikul beban. Jika sistem pendinginannya cukup baik maka usia transformator (life time) transformator dapat diusahakan semaksimal mungkin. Namun jika sistem mengalami gangguan, maka belitan/kumparan transformator menjadi panas, selanjutnya isolasi transformator dapat rusak dan menyebabkan transformator terbakar (short circuit).

#### Klasifikasi Pendinginan Transformator

Adapun sistem pendinginan dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi pendinginan transformator<sup>[5]</sup>

Tabel	Jenis	Singkatan
Pendinginan Alam	Air Natural Colling (Pendinginan dengan udara biasa)	AN
	Oil-immersed Natural Colling (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak)	ON
	Oil natural Air natural (pendinginan dengan udara dan minyak)	ONAN
	Oil-immersed forced-oil circulation (pendinginan dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan)	OFN
Pendinginan Buatan(Udara)	Oil-immersed Forced-Oil Corculation with Air-blast colling (Pendinginan dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan dengan semburan udara)	OFB
	Oil-immersed Air-blast Colling/Oil natural AirForce (pendinginan dengan direndam kedalam minyak dan dihembuskan udara)	OB/ONAF
	Air-blast Colling. (Pendinginan dengan Udar	AB
Pendinginan buatan (air)	Oil-immersed Water Colling (Pendingin Dengan direndam minyak dan juga dibantu dengan air)	OW
	Oil-immersed forced –oil circulation water cooling (pendinginan dengan direndam kedalam minyak yang dialirkan dan juga di bantu dengan pendinginan air)	OFW

Selain berbagai jenis pendingin diatas juga dikembangkan berbagai jenis



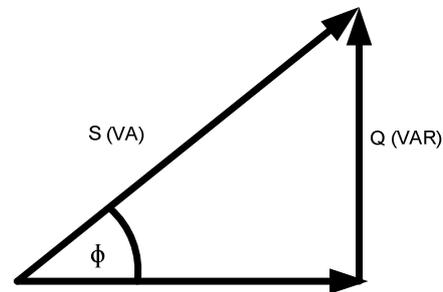
pendingin yang dianggap lebih baik, dapat juga dibuat jenis pendinginan yang merupakan gabungan jenis sistem pendingin yang ada. Pada transformator kadang kala ditemukan yang menggunakan dua sistem pendinginan sekaligus, contoh transformator merk hyundai type YL-128, system pendinginannya ONAN/ONAF. Hal ini bermanfaat, jika kipas (fan) atau perlengkapan ONAF rusak, maka transformator masih dapat difungsikan dengan system pendingin ONAN, namun transformator tersebut beroperasi dengan daya yang lebih rendah.

### 2.3 Pengertian Daya<sup>[3]</sup>

Daya dalam tegangan AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga arus dan tegangan pada saat itu. Jika arus dan tegangan bolak-balik satu fasa, maka daya dalam satu periode sama dengan perkalian dari arus dan tegangan efektif. Tapi jika ada reaktansi dalam rangkaian arus dan tegangan tidak satu fasa sehingga selama siklusnya bisa terjadi arus negatif dan tegangan positif. Secara teoritis daya terdiri dari tiga yaitu daya efektif, daya reaktif dan daya semu yang pengertiannya adalah sebagai berikut :

1. Daya efektif (P) adalah Daya nyata merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya, satuannya adalah *Watt (W)*.
2. Daya reaktif (Q) 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. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya, satuannya adalah *Volt Ampere Reaktif (VAR)*.
3. Daya semu (S) merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar yang memiliki satuan *Volt Ampere (VA)*.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar sistem segitiga daya berikut ini:

Gambar 2.3 Segitiga Daya<sup>[1]</sup>

Untuk daya 3 fasa didapat :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.1)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.2)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (2.3)$$

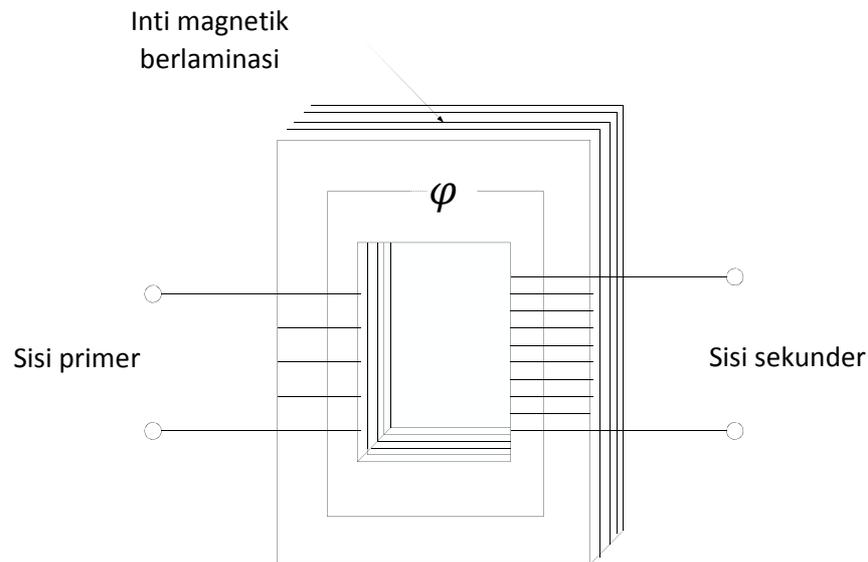
Dimana : S = daya semu (VA)

P = daya nyata (Watt)

Q = Daya reaktif (VAR)

#### 2.4 Prinsip Kerja Transformator<sup>[5]</sup>

Transformator terdiri dari dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif, yang terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (reluctance) rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak – balik, maka fluks bolak-balik akan muncul didalam inti (core) yang di laminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup, maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer, maka di kumparan primer terjadi induksi (self induction) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer (mutual induction) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet dikumparan sekunder, serta arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer secara keseluruhan.



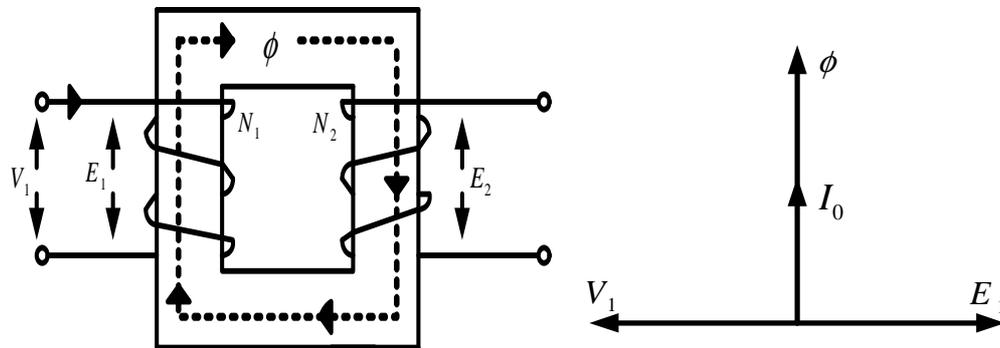
Gambar 2.4 skema prinsip transformator dengan kumparan-kumparan primer dan sekunder serta rangkaian magnetic

## 2.5 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoid, akan mengalirkan arus primer  $I_0$  yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni,  $I_0$  akan tinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$  (gambar 2.6b). Arus Primer  $I_0$  menimbulkan fluks yang sephasa dan juga berbentuk sinusoid.<sup>[6]</sup>

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \sin \omega t \quad (2.4)$$

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi  $e_1$  (hukum Faraday)

Gambar 2.5 keadaan transformator tanpa beban<sup>[6]</sup>

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.5)$$

$$\begin{aligned} e_1 &= -N_1 \frac{d(\phi_{\text{maks}} \sin \omega t)}{dt} \\ &= -N_1 \omega \phi_{\text{maks}} \cos \omega t \end{aligned}$$

Harga efektifnya :

$$E_1 = \frac{N_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot \phi_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 \cdot f \cdot \phi_{\text{maks}} \quad (2.6)$$

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

$$\begin{aligned} E_2 &= -N_2 \frac{d\phi}{dt} \\ E_2 &= -N_2 \omega \phi_{\text{maks}} \cos \omega t \\ E_2 &= 4.44 N_2 f \phi_{\text{maks}} \end{aligned} \quad (2.7)$$

Sehingga

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.8)$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor

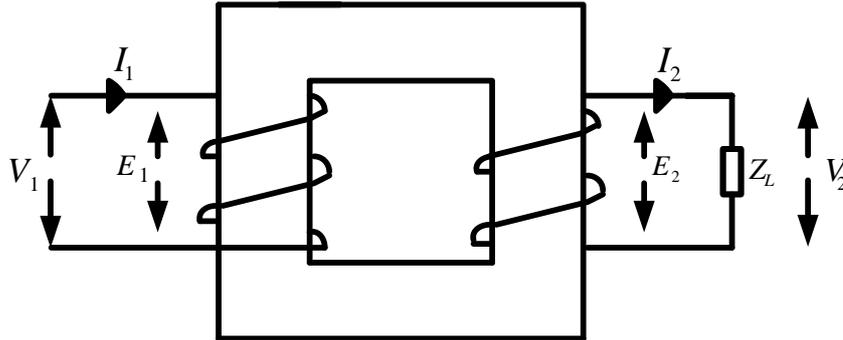
$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.9)$$

$a$  = perbandingan transformasi



## 2.6 Keadaan Transformator berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ ,  $I_2$  mengalir pada kumparan sekunder.  $I_2 \frac{V_2}{Z_L}$  dengan  $\theta_2 =$  faktor kerja beban.



Gambar 2.6 Keadaan transformator berbeban<sup>[6]</sup>

Arus beban  $I_2$  ini 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  $I_2$ , sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi: <sup>[6]</sup>

$$I_1 = I_0 + I'_2 \quad (2.10)$$

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

$$I_1 = I_M + I'_2 \quad (2.11)$$

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

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \quad (2.12)$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I'_2) - N_2 I_2$$



Hingga

$$N_1 I_2 = N_2 I_1 \quad (2.13)$$

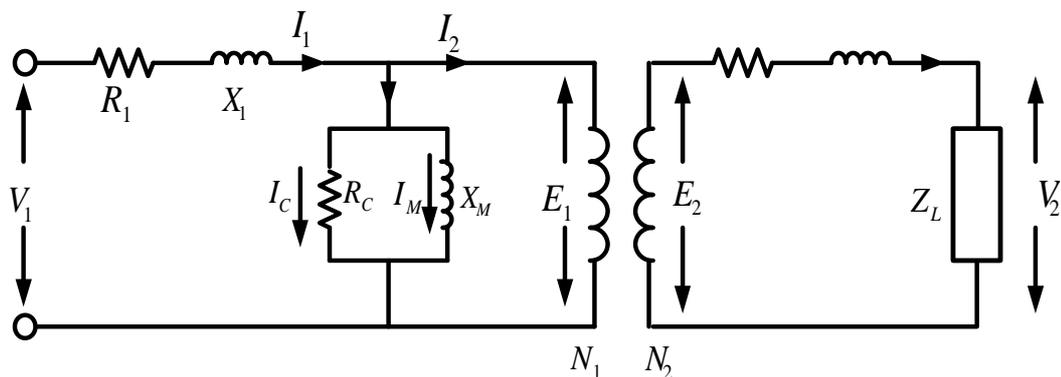
Karena nilai  $I_M$  dianggap kecil maka  $I_2 = I_1$

$$\text{Jadi, } N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad \text{atau} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.14)$$

## 2.7 Rangkaian Ekuivalen Transformator

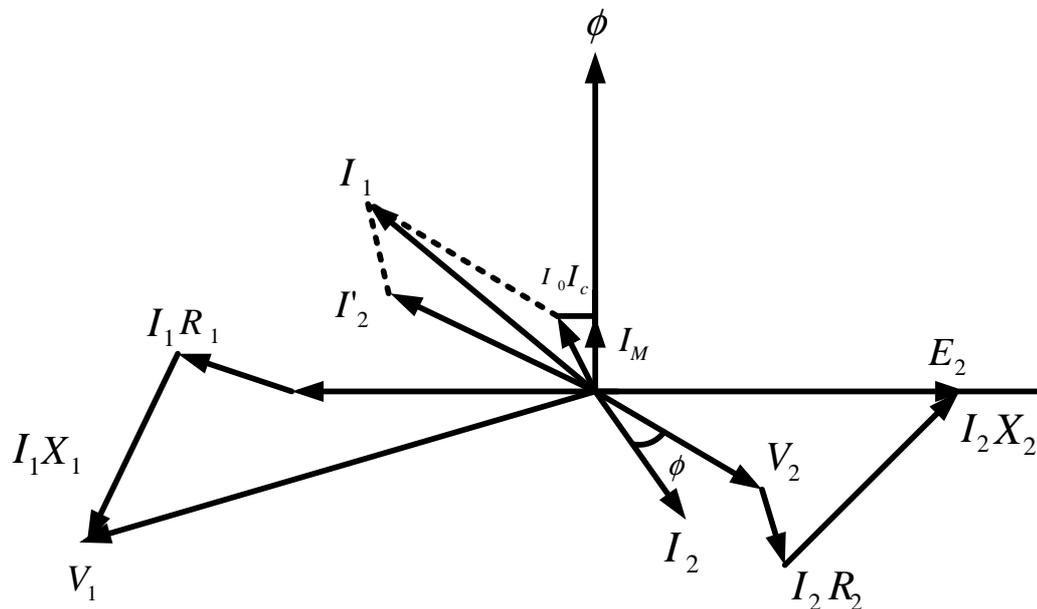
Untuk memudahkan perhitungan dari suatu transformator salah satu bagian disesuaikan dengan bagian lainnya. Bagian primer disesuaikan dengan bagian sekunder atau sebaliknya bagian sekunder disesuaikan dengan bagian primer, dengan demikian rangkaian primer dan rangkaian sekunder dapat digambarkan menjadi suatu rangkaian yang dinamakan ekuivalen.

Tidak seluruh fluks ( $\Phi$ ) yang dihasilkan oleh arus pemagnetan ( $I_M$ ) merupakan fluks bersamaan ( $\Phi_M$ ), sebagian daripadanya hanya mencakup kumparan primer ( $\Phi_1$ ) atau kumparan sekunder saja ( $\Phi_2$ ). Dalam model rangkaian (rangkai ekuivalen) yang dipakai untuk menganalisa kerja suatu transformator, adanya fluks bocor  $\Phi_1$  dan  $\Phi_2$  ditunjukkan sebagai reaktansi  $X_1$  dan  $X_2$ . Sedangkan rugi tahanan ditunjukkan dengan  $R_1$  dan  $R_2$ . Dengan demikian 'model' rangkaian dapat dilihat pada gambar berikut.<sup>[6]</sup>



Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Transformator

Dari rangkaian di atas dapat dibuat vektor diagramnya sebagai berikut :

Gambar 2.8 diagram vektor<sup>[6]</sup>

Dari model rangkaian diatas dapat juga diketahui hubungan penjumlahan Vektor:<sup>[6]</sup>

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 \overline{X_1} \quad (2.15)$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + I_2 X_2 \quad (2.16)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \text{ atau } E_1 = aE_2$$

Hingga :

$$E_1 = a ( I_2 Z_L + I_2 R_2 + I_2 X_2 )$$

Karena

$$\frac{I'_2}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \text{ atau } I_2 = a I'_2$$

Maka :

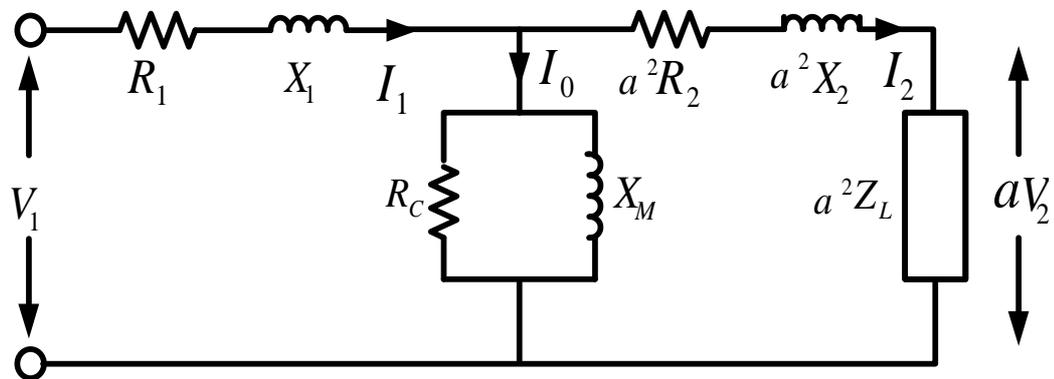
$$E_1 = a^2 I'_2 Z_L + a^2 I'_2 R_2 + a^2 I'_2 X_2$$

Dan



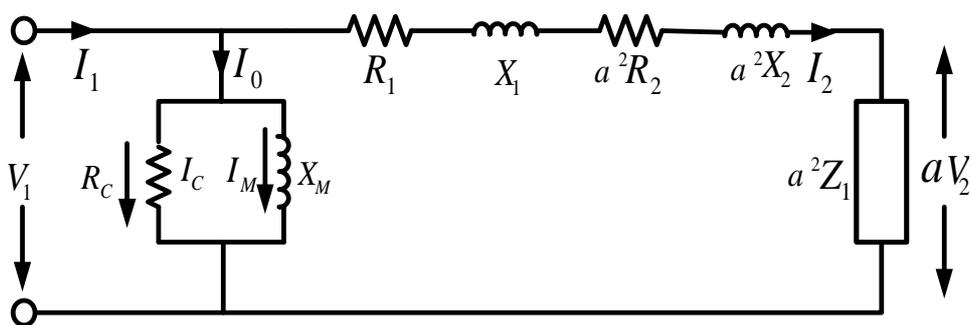
$$V_1 = a^2 I_2' Z_L + a^2 I_2' R_2 + a^2 I_2' X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1 \quad (2.17)$$

Persamaan (2.15) mengandung pengertian, apabila parameter rangkaian sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer harganya perlu dikalikan dengan factor  $a^2$ . Sekarang model rangkaian menjadi sebagai terlihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 rangkaian ekuivalen transformator <sup>[6]</sup>

Untuk memudahkan analisis (perhitungan), model rangkaian tersebut dapat diubah menjadi rangkaian seperti berikut :



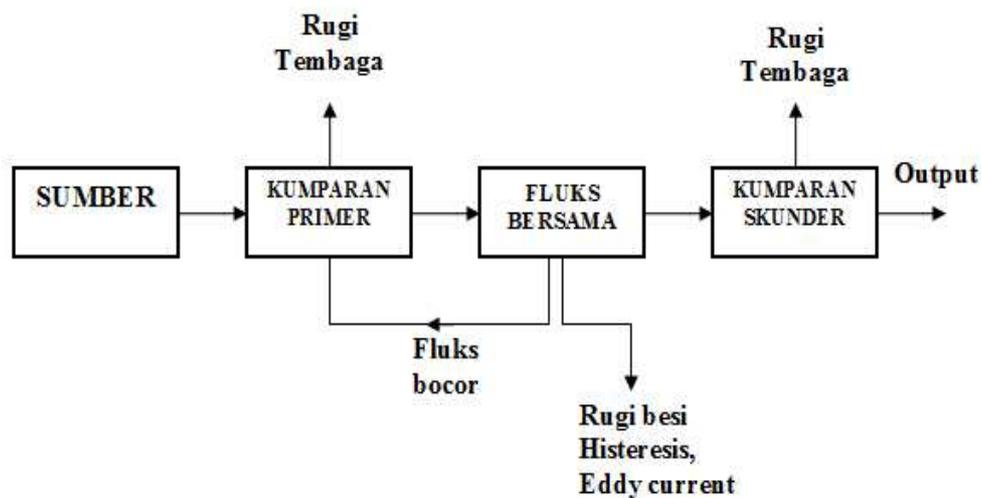
Gambar 2.10 rangkaian ekuivalen transformator



## 2.8 Rugi – Rugi Transformator

Rugi-rugi daya transformator berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun kumparan sekunder. Untuk mengurangi rugi-rugi besi aruslah diambil inti besi yang penampangnya cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir didalamnya. Untuk memperkecil rugi-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 dapat menghasilkan panas. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan-perubahan fluks magnet. [6]



Gambar 2.11 Diagram Blok Rugi-Rugi Pada Transformator

### a. Rugi – Rugi Tanpa Beban

Rugi–Rugi tanpa beban menyangkut baik rugi-rugi histerisis dan rugi-rugi arus pusar. Karena fluks didalam inti praktis dan konstan untuk keadaan semua beban. Rugi– rugi ini dapat dikurangi dengan mempergunakan besi magnetic dengan kadar silicon yang tinggi dan memakai laminasi-laminasi yang tipis. [2]



- Rugi Histeris

Rugi histerisis terjadi apabila inti besi mendapat fluksi bolak- balik, Rugi histerisis persycle berbanding dengan luas histerisis loop. Rugi histerisis dinyatakan dalam

$$P_h = K_h \cdot f \cdot b_{\text{maks}} \quad (2.18)^{[6]}$$

Dimana:

$B_{\text{maks}}$  = rapat fluksi maksimum(tesla)

$K_h$  = konstanta histerisis

- Rugi arus pusar (eddy current )

Rugi arus pusar disebabkan adanya arus yang terinduksi di inti. Pada dasarnya induksi tegangan diinti besi ini sama seperti transformator (dapat dianggap bahwa setiap lempengan inti besi adalah sekunder yang terhubung singkat).

Impedansi yang dialiri arus listrik dapat dianggap konstan untuk laminasi yang tipis dan tak tergantung dari frekuensi, untuk frekuensi rendah atau power frekuensi, jadi rugi arus pusar dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_e = K^2 e \cdot f^2 \cdot B_{\text{maks}} \quad (2.19)$$

dimana :

$K_e$ = konstanta *eddy current*

b. Rugi – Rugi dalam keadaan berbeban

Rugi-rugi yang terjadi pada transformator berbeban dasarnya selalu berubah-ubah, hal ini tergantung pada arus beban yang mengalir pada tahanan transformator. Sehingga rugi transformator dalam keadaan berbeban yang dikenal sebagai rugi tembaga ( $P_{cu}$ ) adalah :



$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1} \quad (2.20)^{[6]}$$

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 transformator

## 2.9 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Secara sistematis dapat ditulis:

$$\Sigma \text{ rugi total} = P_i + P_{t2} \quad (2.21)$$

$$P_{inp} = P_{out} + \Sigma \text{ rugi total} \quad (2.22)$$

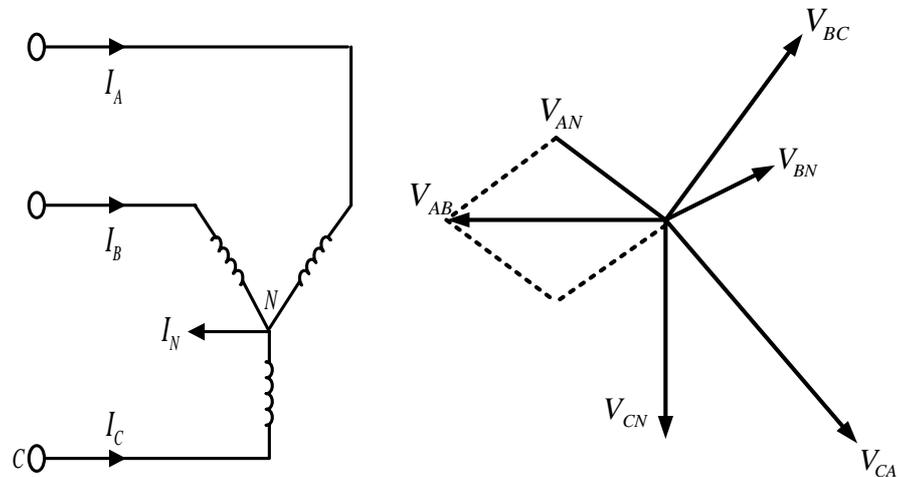
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \quad (2.23)$$

## 2.10 Transformator tiga fasa

Untuk melayani system 3 fasa dibuat transformator 3fasa. Transformator ini dapat dibuat dari 3 buah transformator fasa tunggal. Transformator 3 fasa ini dikembangkan karena alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator 3 fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator daya tiga fasa, lebih ringan dan lebih kecil sehingga mempermudah pengangkutan (menekan biaya pengiriman), serta untuk menangani operasinya hanya satu buah transformator yang perlu mendapat perhatian (meringankan perawatan/*maintenance*).

### a. Hubungan Bintang (Y)

Arus transformator 3 fasa dengan kumparan yang dihubungkan secara bintang yaitu IA, IB, IC masing-masing berbeda fasa  $120^\circ$ .<sup>[6]</sup>



Gambar 2.12 Hubungan Bintang (Y)

$$I_N = I_A + I_B + I_C = 0 \quad (2.24)$$

$$V_{BA} + V_{AN} + V_{BN} = V_{AN} - V_{BN}$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN}$$

$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN}$$

$$V_{AB} = \sqrt{3} V_{AN} \text{ Atau } V_L = \sqrt{3}$$

Maka besarnya daya hubungan bintang adalah

$$V_A = 3 I_p V_p$$

$$V_A = 3 I_p \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$\sqrt{3} = I_L V_L \quad (2.25)$$

#### b. Hubung Delta

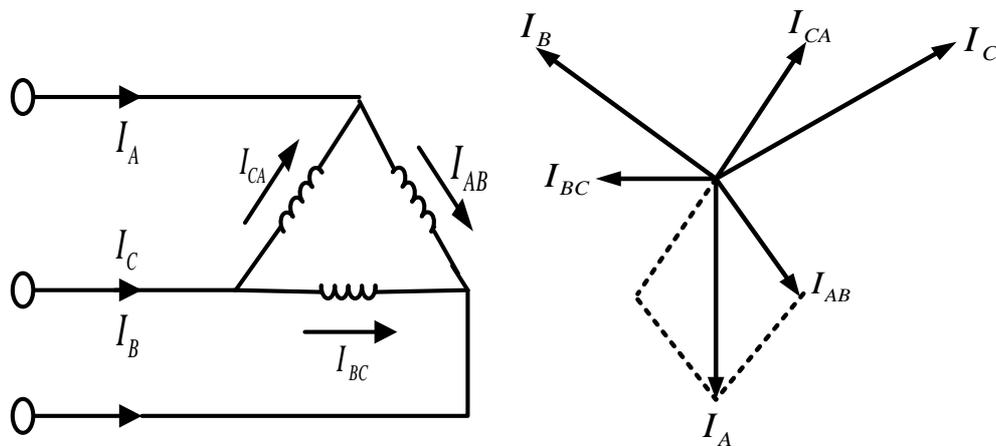
Hubungan delta adalah suatu hubungan transformator tiga fasa dimana cara penyambungannya adalah ujung akhir lilitan fasa pertama dihubungkan dengan ujung mula lilitan fasa kedua dan akhir dari lilitan fasa kedua dihubungkan dengan ujung mula lilitan fasa ketiga. Atau boleh juga awal lilitan dari fasa pertama dihubungkan dengan akhir fasa kedua, awal fasa kedua dihubungkan



dengan akhir fasa ketiga dan awal fasa ketiga dihubungkan dengan akhir fasa pertama.

Hubungan delta memiliki ciri-ciri antara lain:

- Tegangan tiga fasa masing-masing berbeda fasa  $120^\circ$
- Tegangan fasa sama dengan tegangan line atau  $V_P = V_L$



Gambar 2.13 Hubungan Delta

$$V_{AB} + V_{BC} + V_{CA} = 0 \quad (2.26)$$

Untuk beban yang seimbang

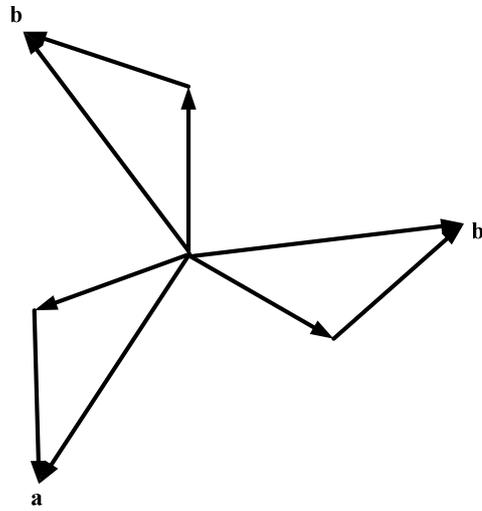
$$I_A = I_B - I_{CA}$$

$$I_B = I_{BC} - I_{AB}$$

$$I_C = I_{CA} - I_{BC}$$

### c. Hubungan Zig-zag

Masing-masing lilitan tiga fasa pada sisi tegangan rendah dibagi menjadi 2 bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan.



Gambar 2.14 Hubungan zig-zag<sup>[6]</sup>