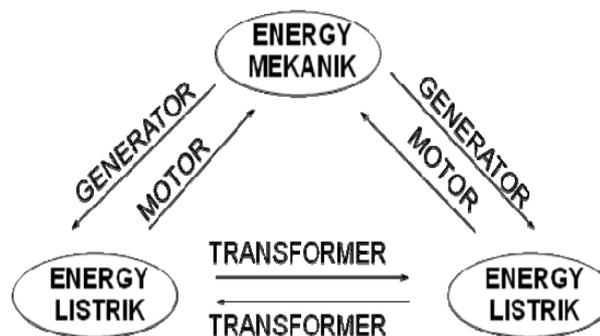


## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

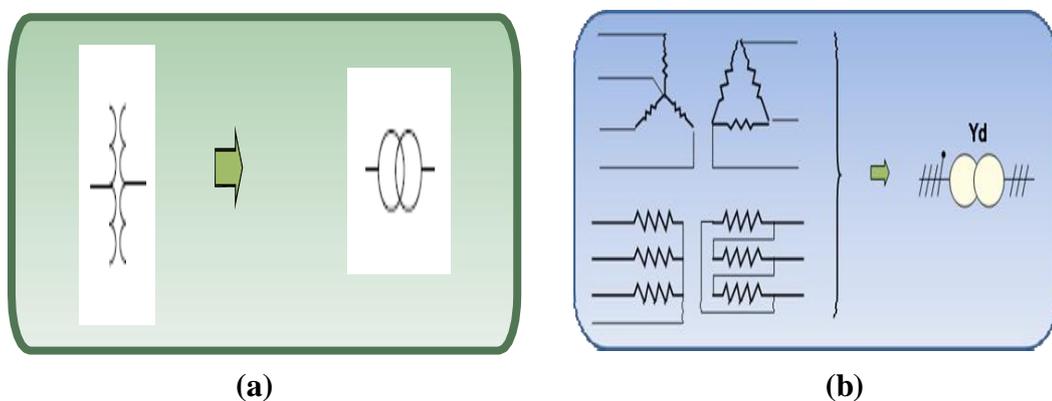
### 2.1 Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik bolak-balik dari satu level ke level tegangan yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.<sup>4</sup>



Gambar 2.1 Transformasi Energi

### 2.2 Simbol Transformator



Gambar 2.2 Simbol Transformator.<sup>4</sup>

(a) Transformator 1 Fasa

(b) Transformator 3 Fasa

### 2.3. Konstruksi Transformator

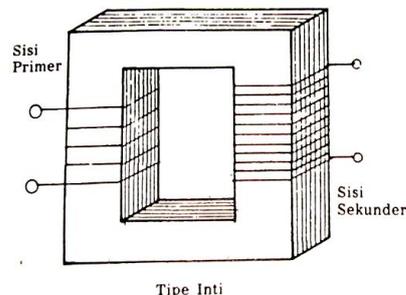
Pada umumnya konstruksi transformator terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut:

1. Inti (*core*) yang dilaminasi.
2. Dua buah kumparan, kumparan primer dan sekunder.
3. Tangki.
4. Sistem pendingin.
5. Terminal.
6. Bushing.

Secara umum transformator dapat dibedakan dua jenis menurut konstruksinya, yaitu:

#### 1. Tipe inti

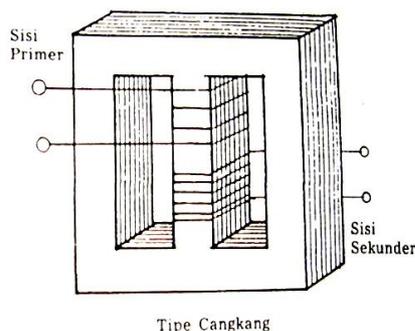
Pada transformator tipe inti, kumparan mengelilingi inti dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf L atau huruf U.



**Gambar 2.3.a.** Kontruksi Transformator Tipe Inti

#### 2. Tipe cangkang

Pada transformator tipe cangkang, kumparan atau belitan transformator dikelilingi oleh inti dan konstruksi intinya berbentuk huruf E, huruf I, dan huruf F.



**Gambar 2.3.b.** Kontruksi Transformator Tipe Cangkang.



## 2.4 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektris 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 di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer terjadi induksi (self induction ) dan terjadi pula induksi di kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual Induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi).<sup>10</sup>

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana : e = gaya gerak listrik ( ggl ) [ volt ]

N = jumlah lilitan

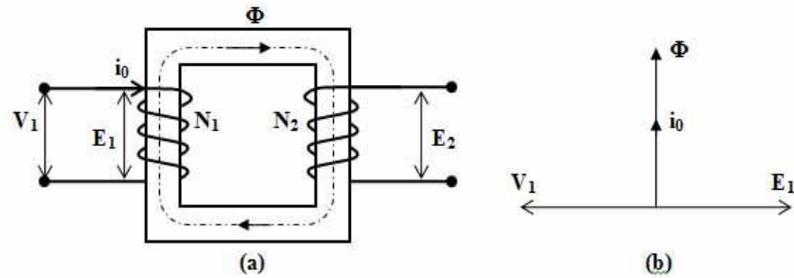
$\frac{d\phi}{dt}$  = perubahan fluks magnet

Perlu diingat bahwa hanya tegangan listrik arus bolak-balik yang dapat ditransformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronika, transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

## 2.5 Pembebanan Transformator

### 2.5.1 Keadaan Transformator Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  sinusoidal, akan mengalirkan arus primer  $I_0$  yang juga sinusoidal dan dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$ . Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoid.



**Gambar 2.4** Keadaan Transformator

- (a). Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban
- (b). Vektor Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban

Dimana :  $N_1$  = Jumlah lilitan sisi primer

$N_2$  = Jumlah lilitan sisi skunder

$V_1$  = Tegangan input

$I_0$  = Arus sisi primer

$E_1$  = Gaya gerak listrik sisi primer (efektif )

$E_2$  = Gaya gerak listrik sisi skunder

$\Phi$  = Fluks magnet

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t \text{ (weber) } \dots \dots \dots (2.2)$$

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi  $e_1$  (faraday Hukum):

$$e_1 = - N_1 \frac{d\phi}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\Phi_{\max} \sin \omega t)}{dt}$$

$$e_1 = -N_1 \omega \Phi_{\max} \cos \omega t \text{ (volt) (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi) \dots \dots \dots (2.3)^9$$

Dimana :  $e_1$  = gaya gerak listrik (volt)

$N_1$  = jumlah belitan di sisi primer (turn)

$\omega$  = kecepatan sudut putar (rad/sec)

$\Phi$  = fluks magnetik (weber)

Harga efektif :

$$E_1 = \frac{N_1 \omega \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi 3,14 f \Phi_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$E_1 = 4,44 N_1 f \Phi_{max} \text{ (volt)} \dots \dots \dots (2.4)$$

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

$$e_2 = - N_2 \frac{d\Phi}{dt} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$e_2 = N_2 \omega \Phi_{max} \cos \omega t \text{ (volt)} \dots \dots \dots (2.6)$$

Harga efektifnya :

$$E_2 = 4,44 N_2 f \Phi_{max} \text{ (volt)} \dots \dots \dots (2.7)$$

Bila rugi tahanan dan adanya fluksi bocor diabaikan, maka akan terdapat hubungan.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha \dots \dots \dots (2.8)^4$$

Dimana :  $E_1$  = ggl induksi disisi primer (Volt)

$E_2$  = ggl induksi disisi sekunder (Volt)

$V_1$  = tegangan terminal disisi primer (Volt)

$V_2$  = tegangan terminal disisi sekunder (Volt)

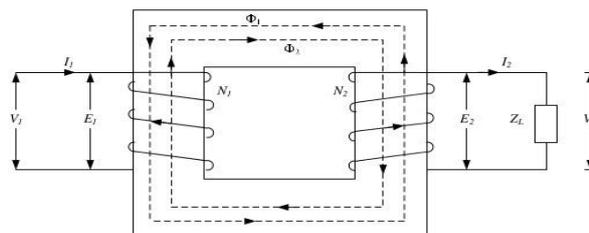
$N_1$  = Jumlah lilitan disisi primer (turn)

$N_2$  = Jumlah lilitan disisi sekunder (turn)

$\alpha$  = Faktor transformasi

### 2.5.2. Keadaan Transformator Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban  $Z_L$ , akan mengalir arus  $I_2$  pada kumparan sekunder, dimana  $I_2 = V_2/Z_L$  dengan  $\theta_2$  = faktor kerja beban.



**Gambar 2.5.** Transformator Dalam Keadaan Berbeban



Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2I_2$  yang cenderung menentang fluks ( $\Phi$ ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan. 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:

$$I_1 = I_0 + I_2' \text{ (ampere)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Bila komponen arus rugi tembaga ( $I_c$ ) diabaikan, maka  $I_0 = I_M$ , sehingga:

$$I_1 = I_M + I_2' \text{ (ampere)} \dots \dots \dots (2.10)$$

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

$$I_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots \dots \dots (2.11)$$

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

Hingga

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \dots \dots \dots (2.13)$$

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

Jadi  $N_1 I_1 = N_2 I_2$  atau  $I_1 / I_2 = N_2 / N_1 \dots \dots \dots (2.14)^{10}$

Dimana:  $I_1$  = arus pada sisi primer (ampere)

$I_2'$  = arus yang menghasilkan  $\Phi_2'$  (ampere)

$I_0$  = arus penguat (ampere)

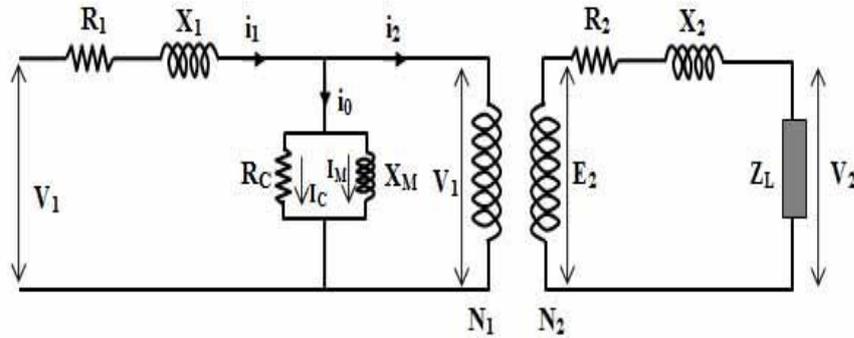
$I_M$  = arus pemagnetan (ampere)

$I_c$  = arus rugi-rugi tembaga (ampere)

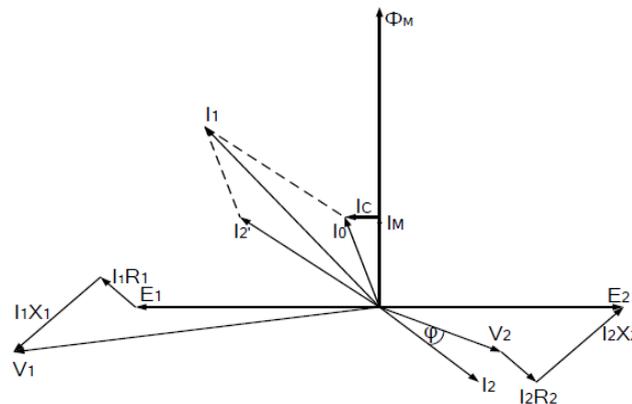
### 2.5.3 Rangkaian Ekuivalen Transformator

Tidak seluruh fluks ( $\Phi$ ) yang dihasilkan oleh arus pemagnetan  $I_M$  merupakan fluks bersama ( $\Phi_M$ ) (sebagian darinya hanya mencakup kumparan primer) ( $\Phi_1$ ) atau mencakup kumparan sekunder ( $\Phi_2$ ) saja. Dalam model rangkaian 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 ditulis seperti gambar 2.6.a. berikut ini.



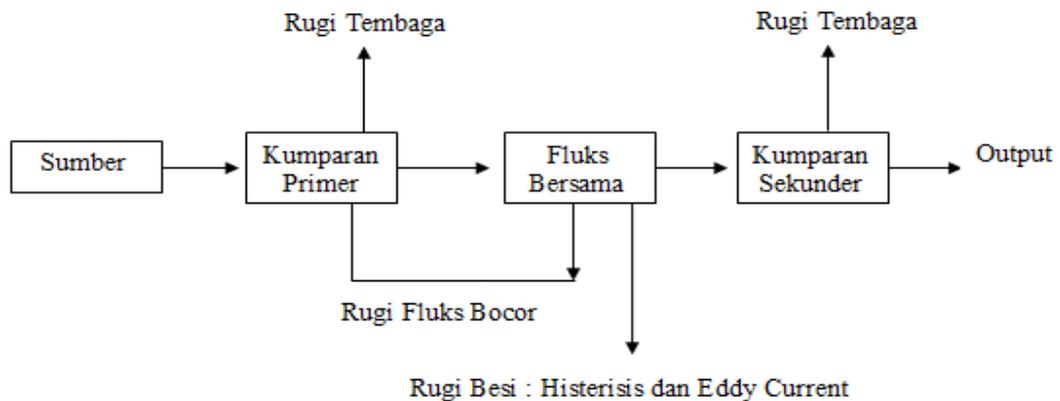
**Gambar 2.6.a.** Rangkaian Ekuivalen Transformator



**Gambar 2.6.b.** Diagram Vektor Transformator.

$$\begin{aligned}
 V_1 &= I_1 R_1 + I_1 X_1 + E_1 \\
 E_2 &= I_2 R_2 + I_2 X_2 + V_2 \\
 E_1 / E_2 &= N_1 / N_2 = a \text{ atau } E_1 = aE_2 \\
 V_1 &= I_1 R_1 + I_1 X_1 + a (I_2 R_2 + I_2 X_2 + V_2) \\
 V_1 &= I_1 R_1 + I_1 X_1 + aI_2 R_2 + aI_2 X_2 + aV_2 \\
 V_1 &= I_1 R_1 + I_1 X_1 + a(aI'_2 R_2) + a(aI'_2 X_2) + aV_2 \\
 V_1 &= I_1 R_1 + I_1 X_1 + a^2 I'_2 R_2 + a^2 I'_2 X_2 + aV_2 \\
 V_1 &= I_1 R_1 + I_1 X_1 + I'_2 (a^2 R_2) + a^2 X_2 + aV_2 \dots \dots \dots (2.15)^{10}
 \end{aligned}$$

## 2.6. Rugi-Rugi Transformator



**Gambar 2.7** Blok Diagram Rugi-Rugi Pada Transformator

### 2.6.1 Rugi Tembaga ( $P_{cu}$ )

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

$$P_{cu} = I^2 \cdot R_{ekiv} \dots \dots \dots (2.16)^9$$

Dimana:  $R_{ekiv}$  = Tahanan pengganti (Ohm)

$I^2$  = Arus yang mengalir disisi sekunder (Ampere)

$P_{cu}$  = Rugi tembaga(Watt)

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap tergantung pada beban.<sup>9</sup>

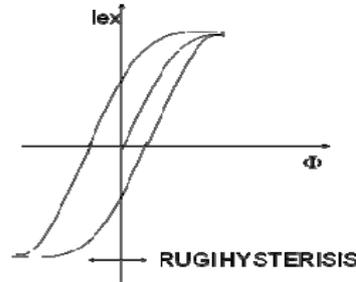
### 2.6.2 Rugi besi ( $P_i$ )

Rugi besi terdiri atas :

- a. Rugi histeresis, yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi.

Rugi hysteresis terjadi karena respon yang lambat dari material inti. Hal ini terjadi karena masih adanya medan magnetik residu yang bekerja pada material, jadi saat arus eksitasi bernilai 0, fluks tidak serta merta berubah menjadi 0 namun perlahan-lahan menuju 0. Sebelum fluks mencapai nilai 0 arus sudah mulai mengalir kembali atau dengan kata lain arus sudah bernilai tidak sama dengan 0

sehingga akan membangkitkan fluks kembali. Grafik hysteresis dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 2.7.a.** Grafik hysteresis  $I_{ex}$  terhadap  $\Phi$

Rugi hysteresis ini memperbesar arus eksitasi karena medan magnetik residu mempunyai arah yang berlawanan dengan medan magnet yang dihasilkan oleh arus eksitasi. Untuk mengurangi rugi ini, material inti dibuat dari besi lunak yang umum digunakan adalah besi silikon. Besarnya rugi hysteresis dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut.

$$p_{\eta} = k_{\eta} \times f^2 \times t^2 \times B_{n \max} \dots \dots \dots (2.17)^9$$

$$p_{\eta} = h_{\eta} \times f \times B_{m n}$$

Dimana:  $p_e$  = Rugi arus pusar[w/kg]

$k_e$  = Konstanta material inti

$f$  = frekuensi [Hz]

$t$  = ketebalan material [m]

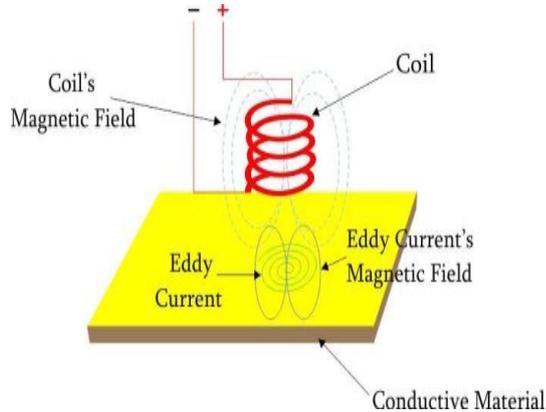
$B_{max}$  = Nilai puncak medan magnet [T]

$n$  = Nilai eksponensial, tergantung material dan  $B_{max}$

Rugi hysteresis maupun rugi arus pusar bernilai tetap, tidak bergantung pada besarnya beban.

b. Rugi arus eddy, yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

Arus pusar adalah arus yang mengalir pada material inti karena tegangan yang diinduksi oleh fluks. Arah pergerakan arus pusar adalah  $90^{\circ}$  terhadap arah fluks seperti terlihat pada gambar berikut.



**Gambar 2.7.b.** Arus pusar yang berputar pada material inti

Dengan adanya resistansi dari material inti maka arus pusar dapat menimbulkan panas sehingga mempengaruhi sifat fisik material inti tersebut bahkan hingga membuat transformator terbakar. Untuk mengurangi efek arus pusar maka material inti harus dibuat tipis dan dilaminasi sehingga dapat disusun hingga sesuai tebal yang diperlukan.

Rugi arus pusar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$p_e = k_e \times f^2 \times t^2 \times B_{max}^2 \dots \dots \dots (2.18)^4$$

$$p_e = k_e \times f^2 \times B_m^2$$

Dimana:  $p_e$  = Rugi arus pusar[w/kg]

$k_e$  = Konstanta material inti

$f$  = frekuensi [Hz]

$t$  = ketebalan material [m]

$B_{max}$  = Nilai puncak medan magnet [T]

**2.7. Efisiensi Transformator**

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output yang dihasilkan dibanding dengan daya input masukannya.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.19)$$

Atau

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in} + \Sigma \text{ rugi-rugi}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.20)^4$$

Dimana :  $P_{in}$  = Daya masukan transformator (watt)

$P_{out}$  = Daya keluaran transformator (watt)

$\Sigma \text{ rugi} = P_{cu} + P_i = \text{Rugi tembaga (watt)}$

$P_{in}$  = Rugi inti (watt)

## 2.8 Transformator Tiga Fasa



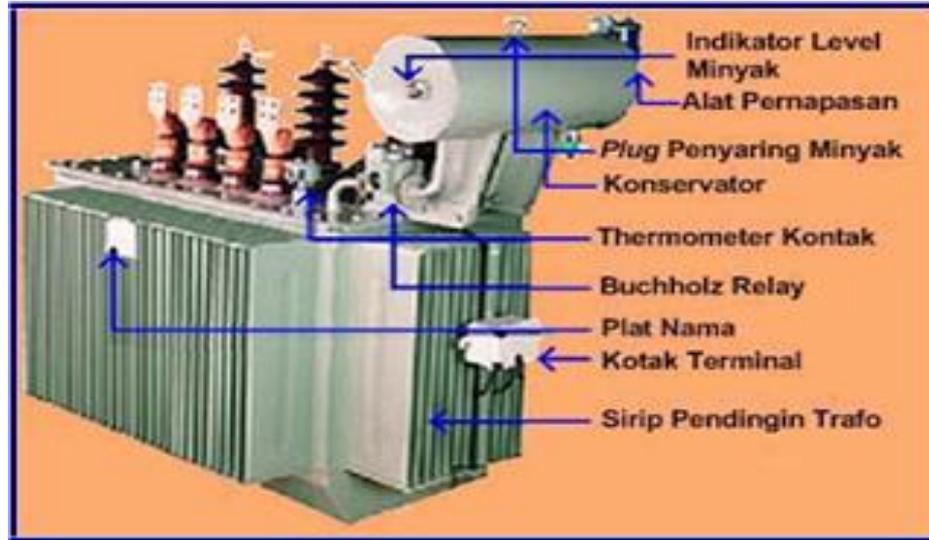
**Gambar 2.8.a.** Transformator Tiga Fasa Tipe Inti

Transformator tiga fasa secara prinsip sama dengan sebuah transformator satu fasa, perbedaan yang paling mendasar adalah pada sistem kelistrikannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa.

Transformator tiga fasa banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena pertimbangan ekonomis. Transformator tiga fasa banyak sekali mengurangi berat dan lebar kerangka, sehingga harganya dapat dikurangi bila dibandingkan dengan penggabungan tiga buah transformator satu fasa dengan “rating” daya yang sama.

Tetapi transformator tiga fasa juga mempunyai kekurangan, diantaranya bila salah satu fasa mengalami kerusakan, maka seluruh transformator harus dipindahkan (diganti), tetapi bila transformator terdiri dari tiga buah transformator

satu fasa, bila salah satu fasa transformator mengalami kerusakan. Sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem “Open Delta”



**Gambar 2.8.b.** Konstruksi Bagian Luar Trafo

Pada dasarnya formulasi trafo tiga fasa dikembangkan atau merupakan jumlah vektor dari tiga buah trafo satu fasa. Jadi :

$$\begin{aligned}
 P_3 \text{ Fasa} &= P_1 + P_2 + P_3 \\
 &= I_1 \cdot V_1 + I_2 \cdot V_2 + I_3 \cdot V_3 \\
 &= \sqrt{3} \cdot I \cdot V \dots \dots \dots (2.21)^1
 \end{aligned}$$

Rumus disamping ini berlaku baik pada transformator terhubung bintang maupun segitiga, dengan catatan bahwa arus (i) dan tegangan (v) adalah arus dan tegangan transformator satu fasa (bukan arus dan tegangan line). Karena arus pada masing-masing penghantar transformator tiga fasa tidak sama besar maka rumus diatas dapat disederhanakan.

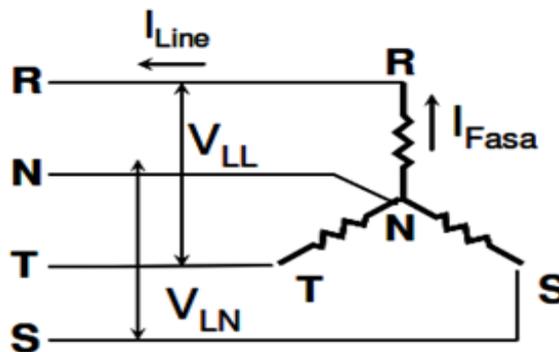
Menjadi

$$\begin{aligned}
 P_R &= V_1 \cdot I_R \\
 P_S &= V_1 \cdot I_S \\
 P_T &= V_1 \cdot I_T \\
 P_{3\theta} &= P_R + P_S + P_T \text{ (VA)} \dots \dots \dots (2.22)^1
 \end{aligned}$$

## 2.9. Hubungan Tiga Fasa Transformator

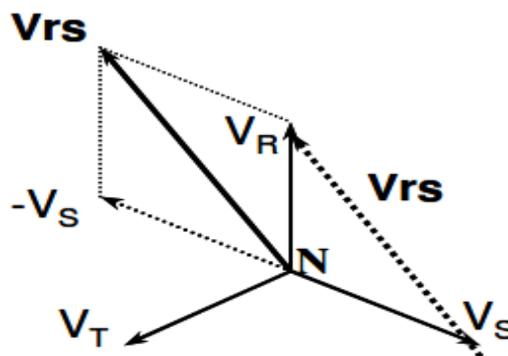
Secara umum hubungan tiga fasa pada transformator terbagi dua jenis yaitu hubungan bintang dan hubungan delta. Masing-masing hubungan ini memiliki karakteristik arus dan tegangan yang berbeda-beda. Hubungan bintang dan hubungan delta dapat dihubungkan disisi primer maupun disisi sekunder transformator.

### 2.9.1 Bila Rangkaian Primer Atau Sekunder Transformator Terhubung Bintang



Gambar 2.9.a. Rangkaian Terhubung Bintang

$$\begin{aligned}
 I_{LINE} &= I_{FASA} \\
 \vec{V}_{RS} &= \vec{V}_R - \vec{V}_S \\
 &= \vec{V}_R \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.23)^4
 \end{aligned}$$



Gambar 2.9.b. Arah Vektor Tegangan Terhubung Bintang.

$V_{RS} = V_{LL} =$  Voltage line to line

$V_R = V_S = V_T = V_{LN} =$  Voltage line to netral

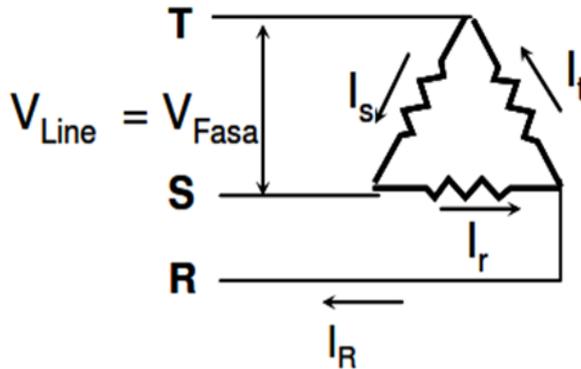
$P_3$  Fasa = Daya Trafo Tiga Fasa

$V_{LL} = V_{LN} \cdot \sqrt{3}$  Maka  $V_{LN} = V_{LL} / \sqrt{3}$

$P_3$  Fasa =  $3 \cdot I \cdot V_{LN}$

$$= \sqrt{3} \cdot I \cdot (V_{LL} / \sqrt{3}) = I \cdot V_{LL} \cdot \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.24)^4$$

**2.9.2 Bila Rangkaian Primer Atau Sekunder Trafo Terhubung Delta**

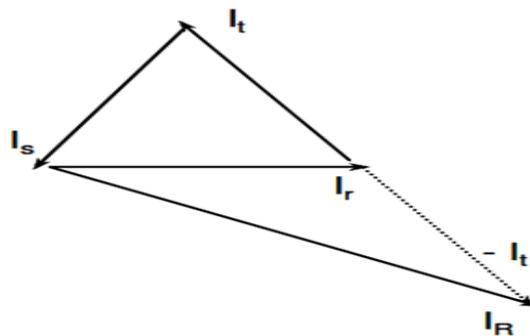


**Gambar 2.10.a.** Rangkaian Terhubung Delta

$V_{Line} = V_{Fasa}$

$I_R = I_r - I_t$

$$= I_r \cdot \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.25)^4$$



**Gambar 2.10.b.** Arah Vektor Arus Terhubung Delta



$$I_R = I_S = I_T = I_{Line} = \text{Arus Line}$$

$$I_r = I_s = I_t = I_{fasa} = \text{Arus Fasa}$$

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = \text{Tegangan Line}$$

$$P_3 \text{ Fasa} = \text{Daya Trafo Tiga Fasa}$$

$$I_{line} = I_{Fasa} \cdot \sqrt{3} \quad \text{Maka } I_{Fasa} = I_{Line} / \sqrt{3}$$

$$\begin{aligned} P_3 \text{ Fasa} &= 3 \cdot I_{Fasa} \cdot V = 3 \cdot (I_{Line} / \sqrt{3}) \cdot V \\ &= I_{Line} \cdot V \cdot \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.26)^4 \end{aligned}$$

Jadi daya trafo tiga fasa adalah :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \dots \dots \dots (2.27)$$

Bila bebannya impedansi maka :

$$P = V \times I \times \text{Cos } \phi \times \sqrt{3} \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana : P : Daya aktif (kw)

V<sub>peak</sub> : Tegangan fasa-fasa (V)

I : Arus (A)

Cos Ø : Faktor daya

### 2.10. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step-down* 20 KV/400V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat di atas 380V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380V.

Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan ferromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks = Φ). Karena arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik,



maka fluks yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah. Jika arus yang mengalir berbentuk sinusoidal, maka fluks yang terjadi akan berbentuk sinusoidal pula. Karena fluks tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat belitan primer dan sekunder, maka pada belitan primer dan sekunder tersebut akan timbul ggl (gaya gerak listrik) induksi, tetapi arah ggl induksi primer berlawanan dengan arah ggl induksi sekunder. Sedangkan frekuensi masing-masing tegangan sama dengan frekuensi sumbernya.

Transformator distribusi dapat berfasa tunggal atau fasa tiga dan ukurannya berkisar dari kira-kira 5 kVA. Impedansi transformator distribusi ini pada umumnya sangat rendah, berkisar dari 2% untuk unit-unit yang kurang dari 50 kVA sampai dengan 4% untuk unit-unit yang lebih besar dari 100 KVA. Namun yang digunakan di politeknik negeri sriwijaya pada nameplate transformator tiga fasa tercatat impedansinya sebesar 5 %. Transformator distribusi dapat di klasifikasikan antara lain sebagai berikut :

### 2.10.1 Transformator Distribusi Besar (*Large Distribution Transformer*)

Transformer dengan tipe ini digunakan untuk menerima energy dari level tegangan yang lebih tinggi dan menyalurkannya ke gardu dengan tegangan yang lebih rendah atau langsung ke pelanggan tegangan tinggi. Range power dari trafo ini adalah dari 5000 kVA ke atas.<sup>4</sup>



**Gambar 2.11.** Transformator Distribusi Besar



### 2.10.2 Transformator Distribusi Menengah (*Medium Distribution Transformer*)

Tipe transformer ini biasanya digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah untuk distribusi energi listrik di daerah perkotaan besar dan juga untuk aplikasi industri. Range power dari transformer ini adalah 400-5000 kV.<sup>4</sup>



**Gambar 2.12.** Transformator Distribusi Menengah

### 2.10.3 Transformator Distribusi Kecil (*Small Distribution Transformer*)

Transformer tipe ini digunakan untuk menurunkan tegangan 3 fasa menjadi tegangan rendah untuk mendistribusikan energy listrik ke pemukiman penduduk. Range power dari transformer ini adalah sampai 315 kVA.<sup>4</sup>



**Gambar 2.13.** Transformator Distribusi Kecil



Untuk mencari daya semu pada transformator kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V_{peak} \cdot I \dots\dots\dots(2.29)$$

Dimana : S : Daya transformator (kVA)

V<sub>peak</sub> : Tegangan fasa-fasa tertinggi pada transformator (V)

I : Arus jala-jala (A)

Untuk mencari daya aktif maupun semu pada trafo harus diambil tegangan tertinggi energi listrik. Keseimbangan beban antar fasa diperlukan untuk pemerataan beban dan juga mengurangi losses dan susut energi. Hal ini juga penting karena bermanfaat pada teknik optimasi untuk menghasilkan sistem yang handal dan efisien. pada fasa-fasanya karena pada tegangan tertinggi itulah daya yang paling maksimal terpakai pada trafo tersebut.

Untuk mencari daya rata-rata keluaran transformator

$$P_{rata-rata} = \sqrt{\frac{(P_1^2 \times t_n) + (P_2^2 \times t_n) + (P_3^2 \times t_n) \dots\dots P_n^2 \times t_n}{t_n}} \dots\dots\dots(2.30)^1$$

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots(2.31)^3$$

Dimana : I<sub>FL</sub>: Arus beban penuh (A)

S : Daya transformator (VA)

V : Tegangan sisi sekunder transformator (V)

Sedangkan untuk mencari arus rata-rata pada transformator kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots(2.32)^1$$

Menghitung persentase pembebanan pada transformator dapat digunakan persamaan dibawah ini.

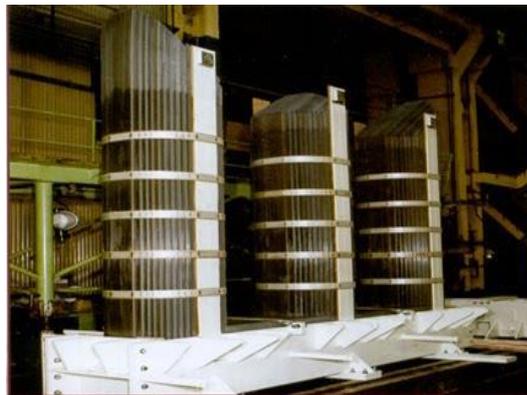
$$\% \text{ pembebanan transformator} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.33)^1$$

Pada trafo distribusi beban maksimal yang diperbolehkan dipakai adalah 90% dari kapasitas total trafo, ini berguna untuk mencegah trafo kelebihan beban (over load) dan menghindari dari kerusakan trafo yang bisa berakibat terjadinya trafo meledak.<sup>8</sup>

## 2.11 Komponen Transformator

### 2.11.1 Inti Besi

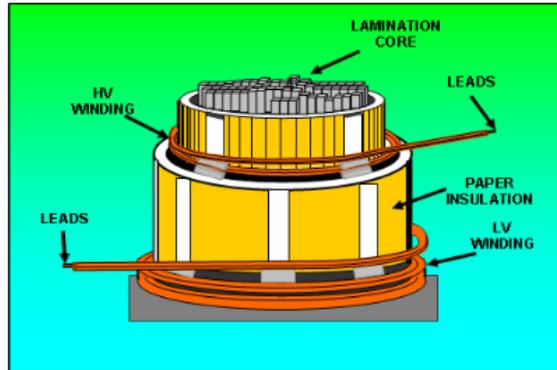
Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluks magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi terbuat dari iron-based material, karena memiliki permeability yang tinggi. Untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current, inti besi dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi.<sup>4</sup>



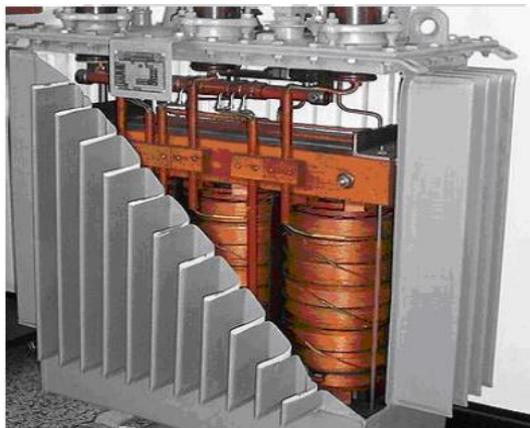
**Gambar .2.14.** Inti Besi

### 2.11.2 Kumparan

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



Gambar 2.15.a. Kumbaran Transformator



Gambar 2.15.b. Komponen Internal Transformator

### 2.11.3. Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan. Minyak transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak transformator ini adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa



diatas minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut zat aditif meskipun kandungannya sangat kecil.

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan-bahan organik, misalnya minyak piranol dan silikon, berapa jenis minyak transformator yang sering dijumpai dilapangan adalah minyak transformer jenis Diala A, diala B dan Mectrans.

Kenaikan suhu pada transformer akan menyebabkan terjadinya proses hidrokarbon pada minyak, nilai tegangan tembus dan kerapatan arus konduksi merupakan beberapa indikator atau variable yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu minyak transformator memiliki ketahanan listrik yang memahami persyaratan yang berlaku.

Secara analisa kimia ketahanan listrik suatu minyak transformator dapat menurun akibat adanya pengaruh asam dan pengaruh tercampurnya minyak dengan air. Untuk menetralsir keasaman suatu minyak transformator dapat menggunakan potas hidroksida (KOH). Sedangkan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam minyak tersebut yaitu dengan cara memberikan suatu bahan higroskopis yaitu silika gel.

Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator ini tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersirkulasi, dengan demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. Kekentalan relatif minyak transformator tidak boleh lebih dari 4,2 pada suhu 20° C dan 1,8 dan 1,85 dan maksimum 2 pada suhu 50° C. Hal ini sesuai dengan sifat minyak transformator yakni semakin lama dan berat operasi suatu minyak transformator, maka minyak akan akan semakin kental. Bila kekentalan minyak tinggi maka sulit untuk bersirkulasi sehingga akan menyulitkan proses pendinginan transformator.

Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa kekentalan, hal ini sebagaimana dijelaskan dalam SPLN (49-1:1980) Adapun



persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut.

a. Kejernihan

Kejernihan minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen).

b. Massa jenis

Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang.

c. Viskositas kinematika

Viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, yakni untuk menentukan kelas minyak.

d. Titik nyala

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gabar yang mudah terbakar.

e. Titik tuang

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi.

f. Angka kenetralan.

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusutan asam minyak dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecendrungan perubahan kimia atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan.

g. Korosi belerang

Korosi belerang kemungkinan dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi.

h. Tegangan tembus

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak.

i. Kandungan air

Adanya air dalam dalam isolasi menyebabkan menurunnya tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi.<sup>4</sup>

#### 2.11.4 Bushing

Hubungan antara kumparan transformator dan ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isoator yang kontruksinya dapat dilihat pada gambar dibawah. Bushing sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.<sup>4</sup>



**Gambar 2.16.** Bushing

Pada bushing dilengkapi fasilitas untuk pengujian kondisi bushing yang sering disebut center tap.

#### 2.11.5. Tangki Konservator

Tangki konservator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Di antara tangki dan trafo dipasangkan relai bucholz yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Untuk menjaga agar minyak tidak terkontaminasi dengan air, ujung masuk saluran udara melalui saluran pelepasan dan masuknya udara ke dalam konservator perlu dilengkapi media penyerap uap air pada udara sering disebut dengan silicagel dan dia tidak keluar mencemari udara di sekitarnya.<sup>4</sup>



**Gambar 2.17.** Konservator

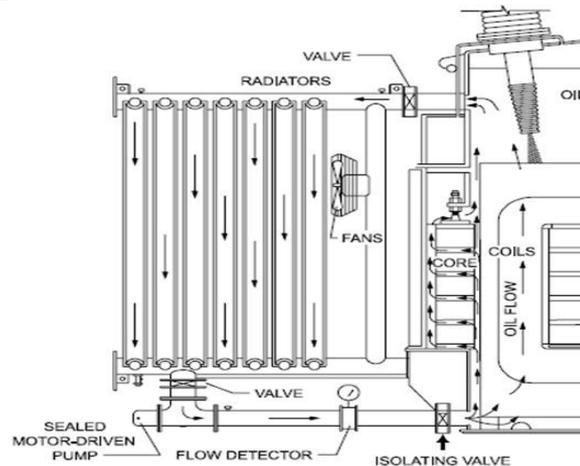
#### **2.11.6. Peralatan Bantu Pendinginan Transformator**

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 sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa: udara/gas, minyak, dan air.

Pada cara alamiah, pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat pendinginan dari media-media (minyak-udara/gas) dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (radiator). Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara manual dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara, dan air, cara ini disebut pendingin paksa (Forsed). Macam-macam sistem pendingin transformator dapat dilihat pada table berikut.<sup>4</sup>

**Table 2.1** Sistem Pendingin Transformator

No	Jenis Sistem Pendingin	Media			
		Didalam Transformator		Diluar Transformator	
		Sirkulasi Alami	Sirkulasi	Sirkulasi Alami	Sirkulasi
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			



**Gambar 2.18.** Contoh Sistem Pendingin Transformator

### 2.11.7 Tap Changer (On Load Tap Changer)

Pada saat operasi penyaluran tenaga listrik terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selalu pada kondisi terbaik, konstan dan kontinu. Untuk itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga perubahan tegangan pada salah satu sisi input berubah tetapi sisi outputnya tetap. Alat ini disebut sebagai pengatur tap tegangan

tanpa terjadi pemutusan beban maka disebut On Load Tap Changer (OLTC). Pada umumnya OLTC tersambung pada sisi primer dan jumlahnya tergantung pada perancang dan perubahan sistem tegangan pada jaringan, yang konstruksinya dapat dilihat pada gambar berikut.<sup>4</sup>



**Gambar 2.19.** Tap Changer

#### **2.11.8. 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 kelembapan udara yang mengandung uap air akan mengontaminasi minyak walaupun prosesnya berlangsung cukup lama.

Untuk mengatasi hal tersebut udara yang masuk ke dalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin diperlukan suatu media pengisap kelembapan yang digunakan biasanya adalah silicagel. Kebalikan jika trafo panas maka pada saat menyusut maka akan mengisap udara dari luar masuk ke dalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembapan udara maka diperlukan suatu media pengisap kelembapan yang digunakan biasanya adalah silicagel yang secara khusus dirancang untuk maksud tersebut di atas. Konstruksi alat pernapasan transformator dapat dilihat pada gambar berikut.<sup>4</sup>



**Gambar 2.20.** Dehydrating Breather

### 2.11.9 Indikator-Indikator

#### A. Thermometer

Alat ini berfungsi untuk mengukur tingkat panas dari trafo baik panasnya kumparan primer dan sekunder juga minyak. Thermometer ini bekerja atas dasar air raksa (mercuri/Hg) yang tersambung dengan tabung pemuai dan tersambung dengan jarum indikator derajat panas. Beberapa thermometer dikombinasikan dengan panas dari resistor khusus yang tersambung dengan transformator arus, yang terpasang pada salah satu fasa (fasa tengah) dengan demikian penunjukan yang diperoleh adalah relatif terhadap kebenaran dari panas yang terjadi. Gambar konstruksi Thermometer dapat dilihat pada gambar berikut.<sup>4</sup>



**Gambar 2.21.a.** Thermometer

#### B. Level Oil Indikator

Alat ini berfungsi untuk penunjukan tinggi permukaan minyak yang ada pada konservator. Ada beberapa jenis penunjukan seperti penunjukan langsung yaitu dengan cara memasang gelas penduga pada salah satu sisi konservator sehingga



akan mudah mengetahui level minyak. Sedangkan jenis lain jika konservator dirancang sedemikian rupa dengan melengkapi semacam balon dari bahan elastis dan diisi dengan udara biasa dan dilengkapi dengan alat pelindung seperti pada sistem pernapasan sehingga pemuaian dan penyusutan minyak udara yang masuk ke dalam balon dalam kondisi kering dan aman. Gambar konstruksinya dapat dilihat pada gambar berikut.<sup>4</sup>



**Gambar 2.21.b.** Oil Level Indicator