

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Transformator ialah sebuah mesin listrik yang dapat memindahkan tenaga listrik dari satu belitan (primer) ke belitan lainnya (sekunder) yang disertai perubahan arus dan tegangan. Pemindahan tenaga listrik ini terjadi dengan tidak melalui hubungan langsung antar belitan tersebut.

Prinsip pemindahan tenaga listrik pada transformator berdasarkan kepada teori Michael Faraday, yang dikenal dengan induksi elektromagnetik. Dalam percobaan lainnya Michael Faraday mencobakan sebuah cincin yang terbuat dari besi lunak, kemudian cincin besi lunak tersebut dililit dengan kawat tembaga berisolasi (Gambar 2.1).

Bila saklar (S) ditutup, maka akan terjadi rangkaian tertutup pada sisi primer, demikian arus  $I_1$  akan mengalir pada rangkaian sisi primer tersebut, sedangkan pada lilitan sekunder tidak ada arus yang mengalir. Tetapi bila saklar (S) ditutup dan dibuka secara bergantian maka jarum galvanometer akan memperlihatkan adanya penyimpangan yang arahnya berubah-ubah kekiri dan kekanan. Perubahan arah penunjukkan jarum galvanometer ini disebabkan adanya tegangan induksi pada lilitan sekunder, sehingga  $I_2$  mengalir melalui galvanometer.

Dari percobaan seperti telah dijelaskan diatas Michael Faraday dapat menyimpulkan bahwa tegangan gerak listrik imbas  $e$  didalam sebuah rangkaian listrik adalah sama dengan perubahan fluks yang melalui rangkaian-rangkaian tersebut. Jika kecepatan perubahan fluks dinyatakan didalam weber/detik, maka tegangan gerak listrik  $e$  dinyatakan dalam Volt, yang dalam bentuk persamaannya adalah :

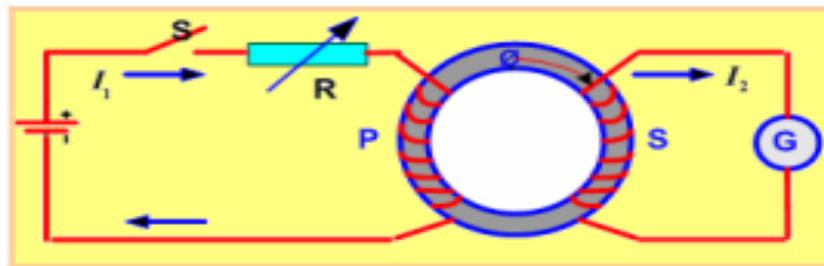
$$e = - \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

persamaan (1) ini dikenal dengan hukum Induksi Faraday, tanda negatif menunjukkan bahwa arus induksi akan selalu mengadakan perlawanan terhadap

yang menghasilkan arus induksi tersebut. Bila coil terdiri dari N Lilitan, maka tegangan gerak listrik imbas yang dihasilkan merupakan jumlah dari tiap lilitan, dalam bentuk persamaan :

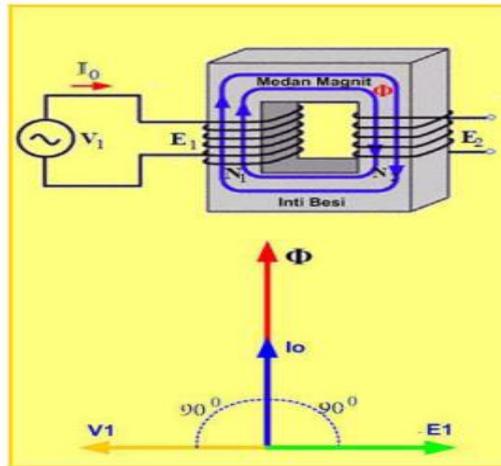
$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2)$$

dan  $Nd\phi$  dinamakan *tautan fluksi* (Flux Linkages) didalam alat tersebut.



Gambar 2.1. Percobaan Induksi Transformator Ideal

Sebuah transformator dikatakan ideal, apabila dalam perhitungan dianggap tidak ada kerugian-kerugian yang terjadi pada transformator tersebut, seperti rugi akibat resistansi, induktansi, arus magnetisasi, maupun akibat fluks bocor. Jika sebuah transformator tanpa beban (Gambar 2), kumparan primernya dihubungkan dengan dengan sumber tegangan arus bolak-balik (abb) sinusoid  $V_1$ , maka akan mengalir arus primer  $I_0$  yang juga mempunyai bentuk gelombang sinusoidal, bila diasumsikan kumparan  $N_1$  merupakan reaktif murni, maka  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$ . Arus primer ini akan menimbulkan fluks sinusoidal yang sefasa,



Gambar 2.2 Transformator tanpa beban

$$\phi = \phi_{maks} \sin \omega t \dots \dots \dots (3)$$

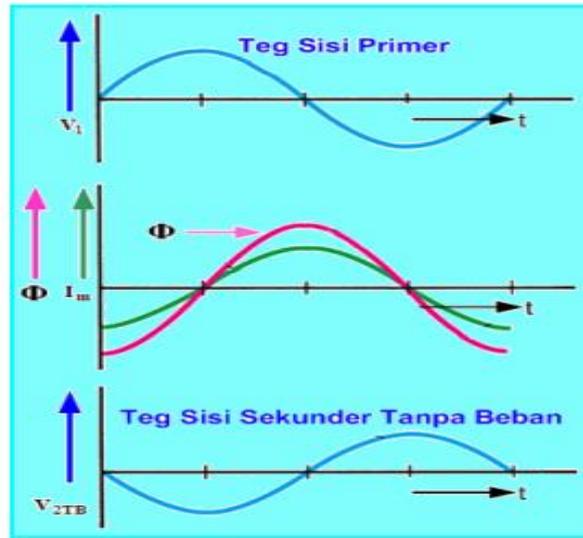
Fluks yang sinusoidal akan mengakibatkan terbangkitnya tegangan induksi  $E_1$

$$E_1 = 4,44 N_1 f \phi_{maks} \dots \dots \dots (4)$$

maka pada sisi sekunder, fluks tersebut akan mengakibatkan timbulnya tegangan  $E_2$ .

$$E_2 = 4,44 N_2 f \phi_{maks} \dots \dots \dots (5)$$

Arus primer yang mengalir pada transformator saat sekunder tanpa beban, bukan merupakan arus induktif murni, tetapi terdiri dari dua komponen arus yaitu **arus magnetisasi** ( $I_m$ ) dan **arus rugi tembaga** ( $I_c$ ). Arus magnetisasi ini menghasilkan fluks ( $\Phi$ ). (Symetrical component 1 dan 2)



Gambar 2.3. Arus Tanpa Beban

Bentuk gelombang arus magnetisasi (Gambar 3) yang berbentuk sinusoidal akan berubah bentuk akibat pengaruh sifat besi (inti) yang tidak linear, sehingga bentuk gelombang berubah seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4. Sebuah Transformator Ideal dalam keadaan berbeban, seperti diperlihatkan pada gambar 5. Bila  $V_2 = \sqrt{2} \cdot V_2 \cdot \sin \omega t$ , dimana  $V_2$  nilai tegangan efektif dari terminal sekunder kemudian  $I_2 = \sqrt{2} \cdot \frac{V_2}{Z} \cdot \sin (\omega t - \phi)$ ,  $\phi$  adalah sudut impedansi dari beban. Dalam bentuk phasor:

$$I_2 = \frac{V_2}{Z} = |I_2| \angle -\phi$$

Dimana

$$|I_2| = \left| \frac{V_2}{Z} \right| \text{ dan } Z = |Z| \angle \phi$$

$$I_2 = \sqrt{2} \cdot \frac{V_2}{K} \sin \omega t, \text{ efektifnya } V_1 = \frac{V_2}{K} \text{ sedangkan untuk arus :}$$

$$I_2 = \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sin (\omega t - \phi), \text{ dalam bentuk phasor : } I_1 = I_2 \cdot K$$

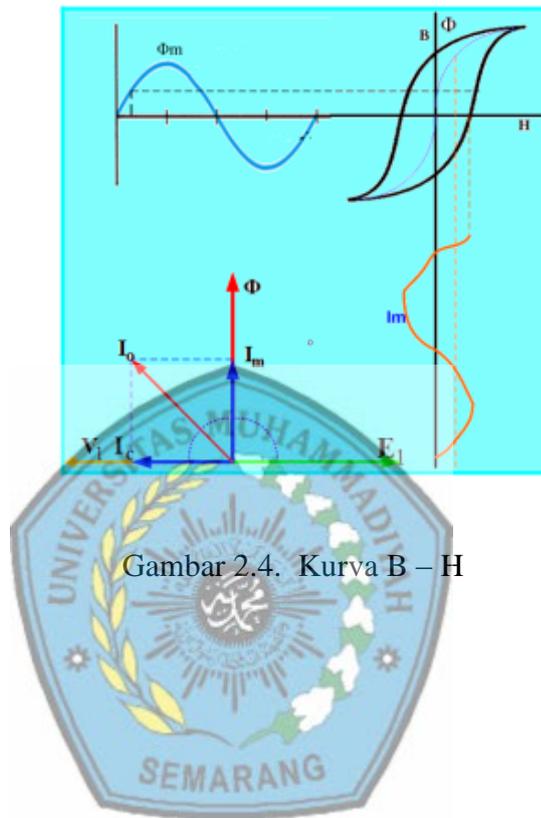
Impedansi dilihat dari sisi sekunder :

$$Z_{in} = \frac{Z}{K^2} \dots \dots \dots (6)$$

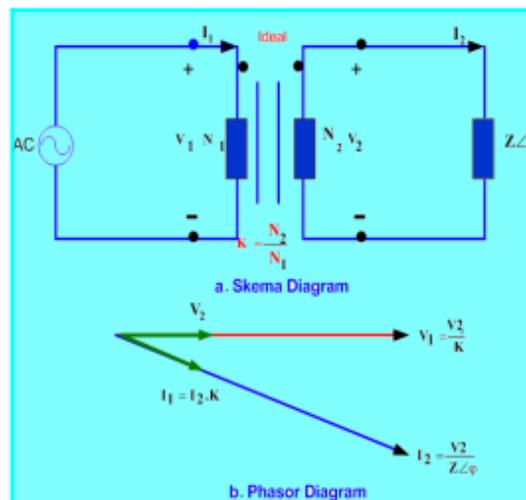
### 2.1.1. Transformator Berbeban

Pada sub bab terdahulu telah dijelaskan bagaimana keadaan transformator secara ideal baik saat tanpa beban maupun berbeban. Dalam prakteknya apabila sisi kumparan sekunder transformator diberi beban (Gambar 6.) maka besar tegangan yang di induksikan ( $E_2$ ) tidak akan sama dengan tegangan pada terminal ( $V_2$ ), hal ini terjadi karena adanya kerugian pada kumparan transformator. Apabila transformator

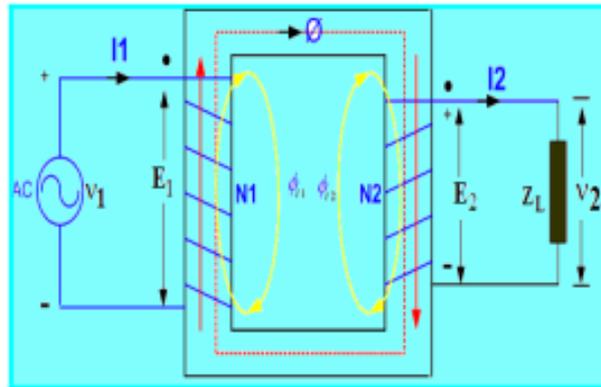
diberi beban  $Z_L$  maka arus  $I_2$  akan mengalir pada beban tersebut, arus yang mengalir ini akan mengakibatkan timbulnya gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang mana arahnya cenderung melawan arah fluks bersama yang telah ada disebabkan arus magnetisasi  $I_m$ .



Gambar 2.4. Kurva B – H



Gambar 2.5. Transformator Ideal



Gambar 2.6. Transformator Berbeban

Untuk menjaga agar fluks bersama yang telah ada bisa dijaga dipertahankan nilainya, maka pada sisi kumparan primer arus mengalir arus  $I_2'$  yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ , sehingga arus yang mengalir pada sisi kumparan primer menjadi :

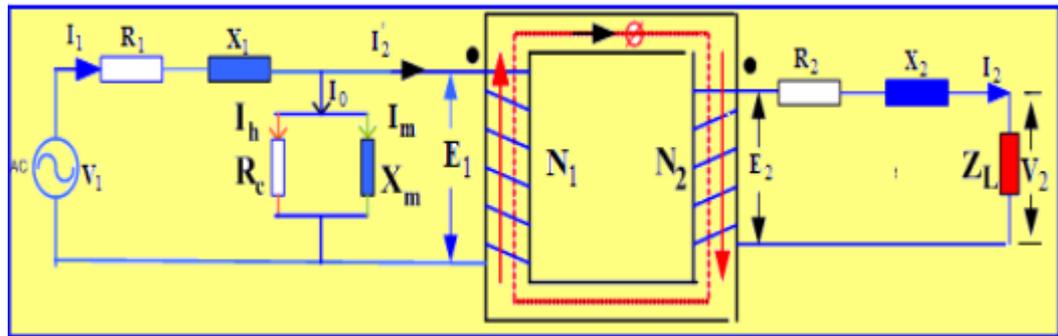
$\bar{I}_1 = \bar{I}_0 + \bar{I}_2'$  dimana  $\bar{I}_0 = \bar{I}_c + \bar{I}_m$ , apabila  $I_c$  (Rugi besi) diabaikan, maka nilai  $I_0 = I_m$ , sehingga  $\bar{I}_1 = \bar{I}_m + \bar{I}_2'$ . Untuk menjaga agar fluks bersama yang ada pada inti transformator tetap nilainya, maka :

$N_1 I_2' = N_1 I_2$ , nilai  $I_2' = I_2$  bila  $I_m$  dianggap kecil, sehingga

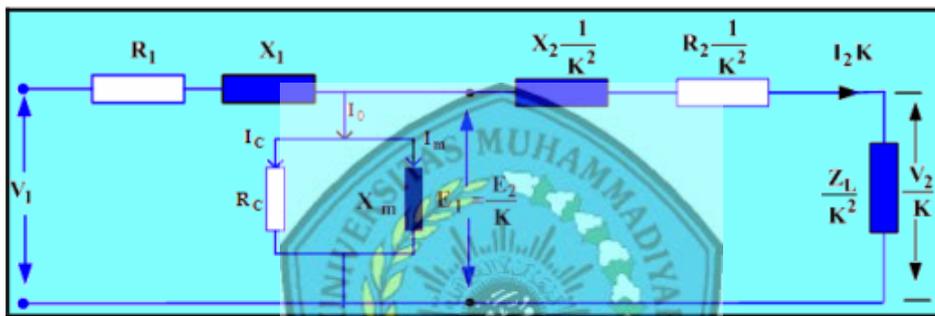
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots (7)$$

Rangkaian Ekuivalen

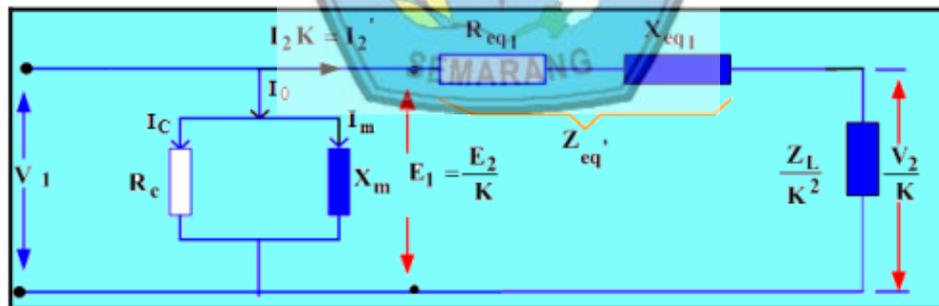
Untuk memudahkan menganalisis kerja transformator tersebut dapat dibuat rangkaian ekuivalen dan vektor diagramnya, rangkaian ekuivalen ini dapat dibuat dengan acuan sisi primer atau acuan sisi sekunder (Gambar 7.).



Gambar 2.7. Rangkaian Ekuivalen Transformator



Gambar 2.8. Rangkaian Ekuivalen dengan Acuan Sisi Primer



Gambar 2.9. Rangkaian Ekuivalen dengan Acuan Sisi Primer disederhanakan

Yang dimaksud dengan acuan sisi primer adalah apabila parameter rangkaian sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer dan harganya perlu dikalikan dengan faktor  $\frac{1}{K^2}$  (Gambar 8.) Untuk memudahkan dalam menganalisis, rangkaian ekuivalen pada gambar 8 dapat disederhanakan lagi, seperti diperlihatkan pada gambar 2.9. Berdasarkan rangkaian diatas kita dapat menentukan nilai parameter yang ada pada transformator tersebut berdasarkan persamaan-persamaan berikut ini.

Impedansi ekuivalen transformator adalah :

$$Z_{eq1} = R_{eq1} + jX_{eq1} \dots\dots\dots (8)$$

dimana

$$R_{eq1} = R_1 + \frac{R_2}{K^2} \dots\dots\dots (9)$$

$$X_{eq1} = X_1 + \frac{X_2}{K^2} \dots\dots\dots (10)$$

$$V_1 = E_1 + I_1 \cdot R_1 + I_1 \cdot X_1 \dots\dots\dots (11)$$

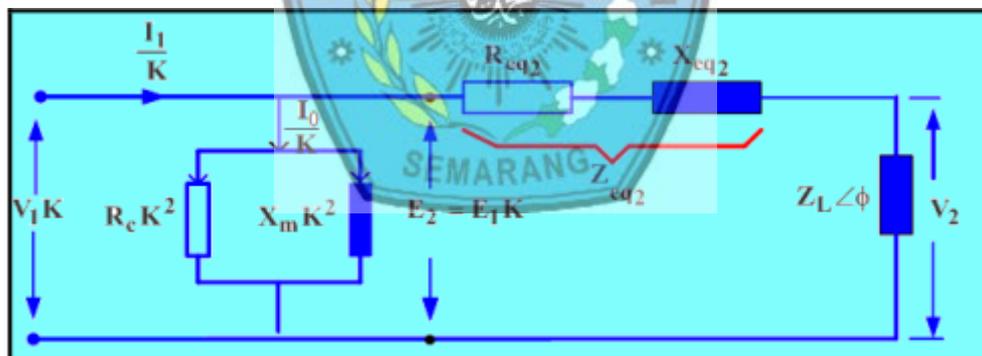
$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1} = K \text{ atau } E_1 = \frac{E_2}{K} \dots\dots\dots (12)$$

$$E_1 = \frac{1}{K} \cdot I_2 \cdot Z_L + I_2 \cdot R_2 + I_2 \cdot X_2 \text{ sedangkan } \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_2}{N_1} = K \text{ atau } I_1 = \frac{I_2}{K}$$

sehingga

$$E_1 = \frac{1}{K} \left( \frac{I_2}{K} Z_L + \frac{I_2}{K} R_2 + \frac{I_2}{K} X_2 \right) \dots\dots\dots (13)$$

$$V_1 = \frac{V_2}{K} + I_1 (R_{eq1} + jX_{eq1}) \dots\dots\dots (14)$$



Gambar 2.10. Rangkaian Ekuivalen dengan Acuan Sisi Sekunder

Rangkaian ekuivalen transformator bisa dibuat dengan acuan sisi sekunder (Gambar 10), untuk itu parameter rangkaian primer harus dinyatakan dalam harga rangkaian sekunder dan harganya perlu dikalikan dengan  $K^2$ .

$$Z_{eq2} = R_{eq2} + jX_{eq2} \dots\dots\dots (15)$$

$$R_{eq2} = R_1 \cdot K^2 + R_2 \dots\dots\dots (16)$$

$$X_{eq2} = X_1 \cdot K^2 + X_2 \dots\dots\dots (17)$$

$$E_2 = K \{ V_1 - ( I_2 \cdot K \cdot R_1 + I_2 \cdot K \cdot X_1 ) \} \dots\dots\dots (18)$$

$$V_2 = K \cdot V_1 - I_2(R_{eq2} + jX_{eq2}) \dots\dots\dots (19)$$

**2.1.2. Perkiraan Tegangan Jatuh pada Transformator**

Saat sebuah transformator dalam keadaan tanpa beban  $V_1$  kira-kira sama nilainya dengan nilainya  $E_1$ , sehingga  $E_2 = E_1 \cdot K$ . Juga  $E_2 = V_2$ , dimana  $V_2$  adalah terminal tegangan sekunder pada keadaan tanpa beban atau pada keadaan tanpa beban atau  $V_2 = K \cdot V_1$ . Perbedaan keduanya adalah sebesar  $I_2 \cdot Z_{eq2}$ , sedangkan perkiraan tegangan jatuh pada sebuah transformator dengan acuan tegangan sekunder. Tegangan jatuh pada sebuah transformator dipengaruhi oleh nilai beban dan faktor daya yang terhubung pada transformator tersebut.

- Faktor Daya “Lagging”

Tegangan jatuh total  $I_2 \cdot Z_{eq2} = AC = AF$  dan diasumsikan sama dengan  $AG$ . Perkiraan tegangan jatuh :

$$AG = AD + DG$$

$$= I_2 \cdot R_{eq2} \cdot \cos \varphi + I_2 \cdot X_{eq2} \cdot \sin \varphi \text{ dengan asumsi } \varphi_1 = \varphi_2 = \varphi$$

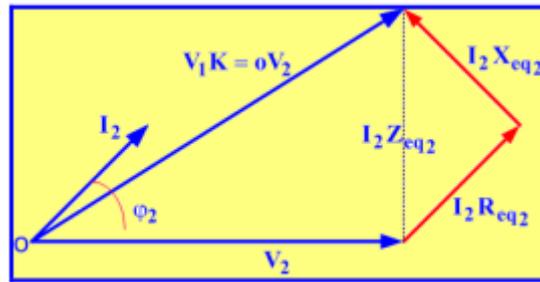


Gambar 2.11 Transformator Faktor Daya ”Lagging”

- Faktor Daya “Leading”

Perkiraan tegangan jatuh untuk faktor daya *leading*

$$= I_2 \cdot R_{eq2} \cdot \cos \varphi - I_2 \cdot X_{eq2} \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (20)$$



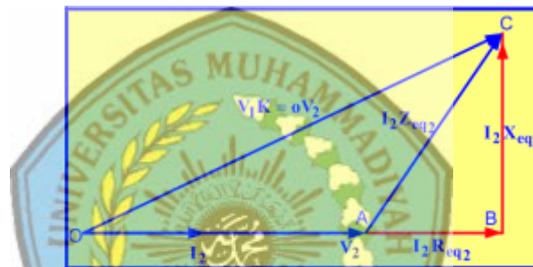
Gambar 2.12 Transformator Faktor Daya "Leading"

- Faktor Daya "Unity"

Secara umum, perkiraan tegangan jatuh pada transformator adalah :

$$= I_2 \cdot R_{eq2} \cdot \cos \varphi \pm I_2 \cdot X_{eq2} \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (21)$$

$$= I_1 \cdot R_{eq1} \cdot \cos \varphi \pm I_1 \cdot X_{eq1} \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (22)$$



Gambar 2.13 Transformator Faktor Daya "Unity"

Prosentase tegangan jatuh dilihat dari sisi sekunder :

$$= V_r \cdot \cos \varphi \pm V_x \cdot \sin \varphi \dots\dots\dots (23)$$

### 2.1.3 Kerugian dan Efisiensi (Randemen) Transformator

Rugi-rugi transformator ada 3 macam, yaitu:

1. *Rugi-rugi tembaga*, yaitu rugi yang terdapat pada resistansi murni R. Rugi-rugi tembaga dapat diketahui dengan pengujian transformator hubung singkat .  
Besarnya rugi tembaga ialah:  
 $P_{cu} = I^2 \cdot (R1 + R2)$
2. *Rugi histerisis*, yaitu kerugian yang disebabkan oleh adanya gesekan molekul partikle-partikel pada inti transformator akibat perubahan flux magnet.

3. *Rugi arus eddy pada inti transformator* ialah akibat adanya induksi pada inti transformator (kejadiannya mirip dengan arus yang terinduksi pada belitan).

Rugi histerisis dan rugi arus eddy disebut juga dengan rugi besi yang dapat ditentukan dengan pengujian beban nol (tanpa beban). Harga rugi arus eddy dan rugi arus histerisis selalu konstan, sedangkan rugi tembaga berbanding terbalik kuadrat dengan arus beban.

**a. Efisiensi (Randemen)**

Efisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (output) dengan daya masukan (input).

$$\eta = \frac{\text{Daya keluaran}}{\text{Daya masukan}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{E^2 \cdot I^2 \cdot \cos \phi_2}{E^1 \cdot I^1 \cdot \cos \phi_1} \times 100\%$$

Daya masukan ialah daya keluaran + rugi-rugi

**b. Efisiensi Trafo**

Efisiensi Trafo Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi-rugi yang terjadi selama operasi normal. Efisiensi dari mesin-mesin berputar/bergerak umumnya antara 50-60% karena ada rugi gesek dan angin. Trafo tidak memiliki bagian yang bergerak/berputar, maka rugi-rugi ini tidak muncul, namun masih tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya.<sup>[5]</sup> Trafo daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%.

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

$$\eta = \frac{\text{Daya keluar}}{\text{Daya keluar} + \Sigma \text{rugi}} \times 100\%$$

dimana  $\Sigma \text{Rugi} = P_{cu} + P_i$

$$\eta = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{\text{Daya masuk}} \times 100\%$$

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1. Transformator

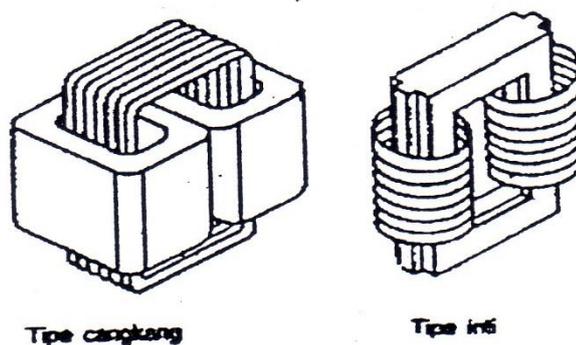
Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga 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 tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

- Transformator daya.
- Transformator distribusi.
- Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan).

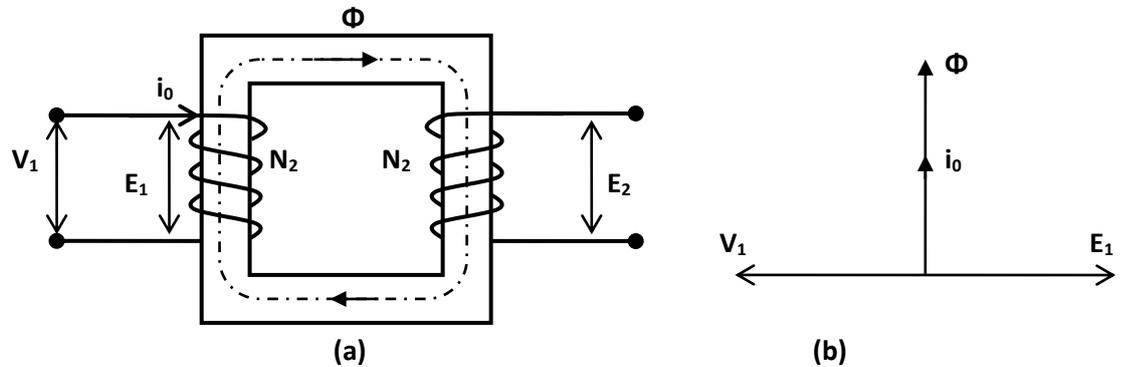
Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara *rangkaian primer* dan *sekunder*. Gandengan magnet ini berupa *inti besi* tempat melakukan *fluks* bersama.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu *tipe inti* dan *tipe cangkang*.



Gambar 2.14. Tipe kumparan transformator

### 2.2.2. 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 tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$  (gambar 2). Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sefasa juga berbentuk sinusoid.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \sin \omega t$$

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

$$e_1 = - N_1 \cdot d\Phi / dt$$

$$e_1 = - N_1 \cdot d(\Phi_{\text{maks}} \sin \omega t)/dt = -N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t \quad (\text{tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi)$$

harga efektifnya adalah  $E_1 = N_1 \cdot 2\pi f \Phi_{\text{maks}} / \sqrt{2} = 4.44 n_1 \cdot f \Phi_{\text{maks}}$

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

$$e_2 = - N_2 \cdot d\Phi / dt$$

$$e_2 = - N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t$$

$$E_2 = 4.44 N_2 \cdot f \Phi_{\text{maks}}$$

$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor,

$$E_1 / E_2 = V_1 / V_2 = N_1 / N_2 = a.$$

$a$  = perbandingan transformasi.

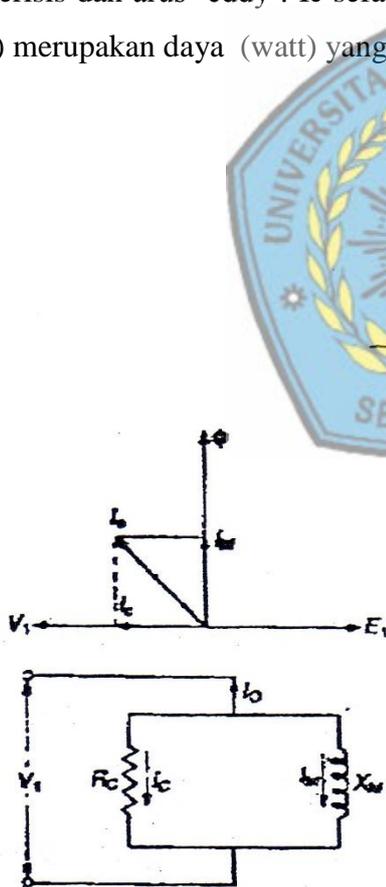
Dalam hal ini tegangan induksi  $E_1$  mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber  $V_1$ .

### 2.2.3. Arus Penguat

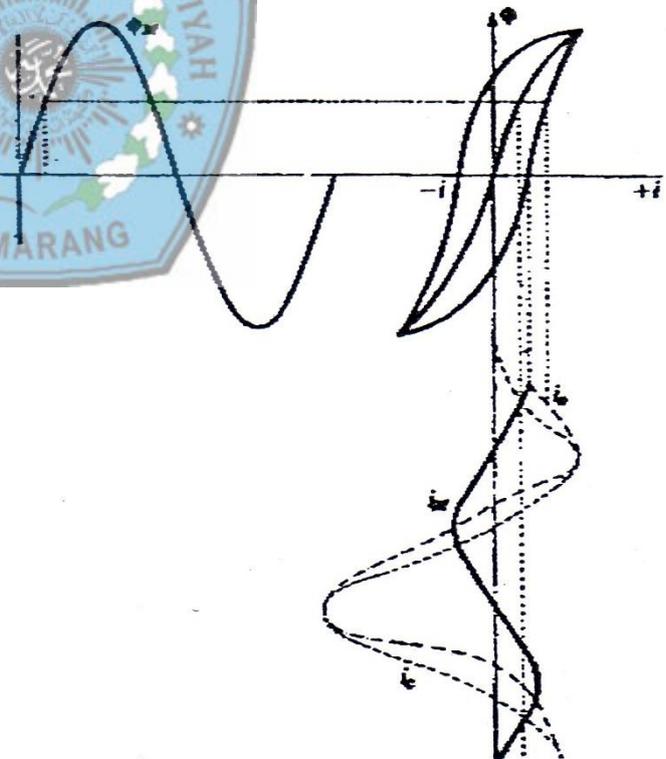
Arus primer  $I_0$  yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani disebut arus penguat. Dalam kenyataannya arus primer  $I_0$  bukanlah merupakan arus induktif murni, sehingga ia terdiri atas dua komponen ( Gambar 3 )

(1) Komponen arus pemagnetan  $I_M$ , yang menghasilkan fluks ( $\Phi$ ). Karena sifat besi yang non linear ( ingat kurva B-H ) , maka arus pemagnetan  $I_M$  dan juga fluks ( $\Phi$ ) dalam kenyataannya tidak berbentuk sinusoid ( Gambar 4 ).

(2) Komponen arus rugi tembaga  $I_c$ , menyatakan daya yang hilang akibat adanya rugi histerisis dan arus 'eddy'.  $I_c$  sefasa dengan  $V_1$ , dengan demikian hasil perkalian ( $I_c \times V_1$ ) merupakan daya (watt) yang hilang.



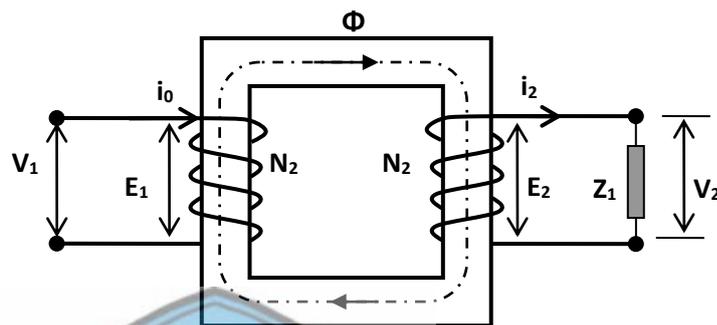
Gambar 2.15 Arus penguat.



Gambar 2.16 Pemagnetan.

### 2.2.4. Keadaan Berbeban

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



Gambar 2.1.7. Transformator dalam keadaan berbeban.

Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang cenderung menentang fluks ( $\Phi$ ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan  $I_M$ . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus  $I'_2$ , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban  $I_2$ , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I'_2$$

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

$$I_1 = I_M + I'_2$$

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

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

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

Hingga

$$N_1 I'_2 = N_2 I_2$$

Karena nilai  $I_M$  dianggap kecil maka :

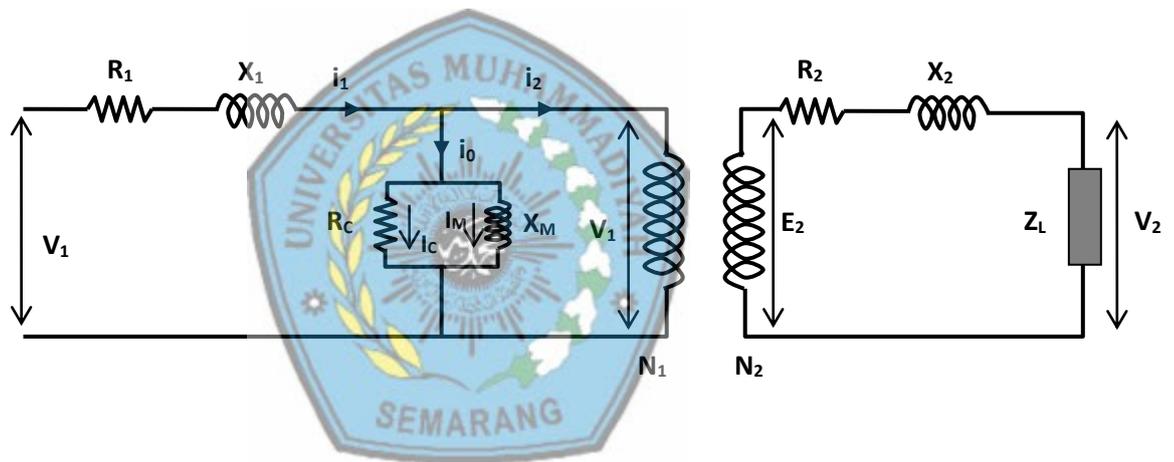
$$I_1 = I'_2$$

$$\text{Jadi} \rightarrow \frac{N_1}{I_1} = \frac{N_2}{I_2} \quad \text{atau} \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

### 2.2.5. Rangkaian Pengganti

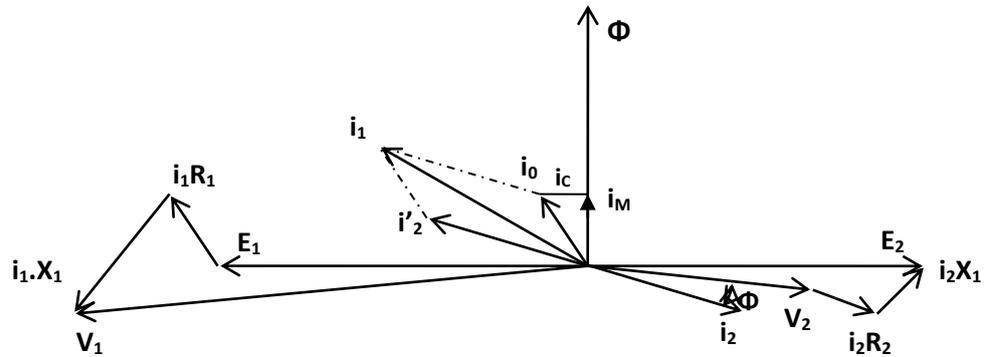
Dalam pembahasan terdahulu kita mengabaikan adanya tahanan dan fluks bocor, Analisa selanjutnya akan memperhitungkan kedua hal tersebut. Tidak seluruh fluks ( $\Phi$ ) yang dihasilkan

Oleh arus permagnetan  $I_M$  merupakan Fluks bersama ( $\Phi_M$ ), sebagian darinya hanya mencakup kumparan primer ( $\Phi_1$ ) atau kumparan sekunder saja ( $\Phi_2$ ). Dalam model rangkaian (rangkainan ekivalen) yang dipakai untuk menganalisis kerja suatu transformator, adanya fluks bocor .  $\Phi_1$  dan  $\Phi_2$  ditunjukkan sebagai reaktansi  $X_1$  dan  $X_2$ . Sedang rugi tahanan ditunjukkan dengan  $R_1$  dan  $R_2$ . Dengan demikian 'model' rangkaian dapat dituliskan seperti pada gambar 6.( Kadir, Abdul. *Transformator*. UI-Press, 2010.)



Gambar 2.18. Rangkaian pengganti transformator.

Dalam rangkaian diatas dapat dibuat vektor diagramnya sebagai terlukis pada gambar 7.



Gambar 2.19. Vektor diagram rangkaian pengganti

Dari model rangkaian diatas dapat pula diketahui hubungan penjumlahan vektor :

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

$$E_2 = V_2 = I_2 R_2 + I_2 X_2$$

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

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

Karena

$$I_2' / I_2 = N_2 / N_1 = a \text{ atau } I_2 = a I_2'$$

Maka

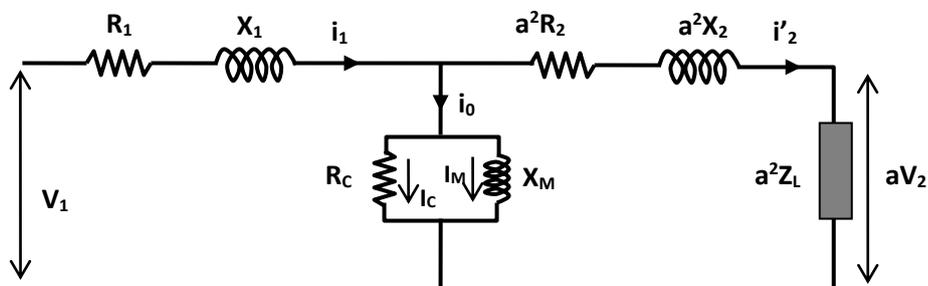
$$E_1 = a^2 ( I_2' Z_L + I_2' R_2 + I_2' X_2 )$$

Dan

$$V_1 = E_1 = a ( I_2 Z_L + I_2 R_2 + I_2 X_2 ) + I_1 ( R_1 + X_1 )$$

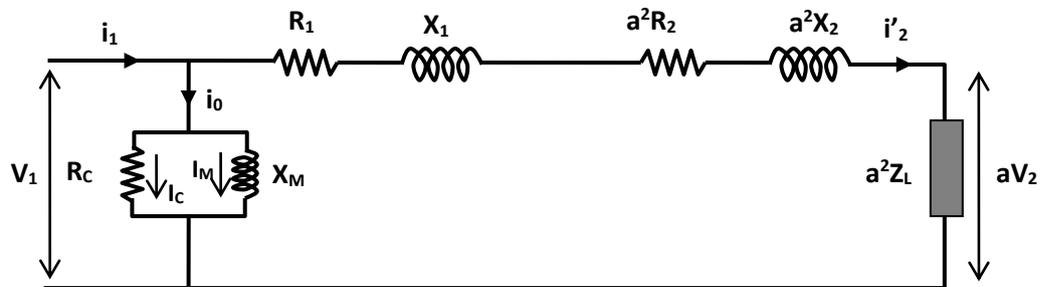
Persamaan terakhir mengandung pengertian bahwa apabila parameter rangkaian sekunder dinyatakan dalam harga primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor  $a^2$ .

Sekarang model rangkaian menjadi sebagi terlihat pada gambar 2.20.



Gambar 2.20. Rangkaian pengganti dilihat dari sisi primer.

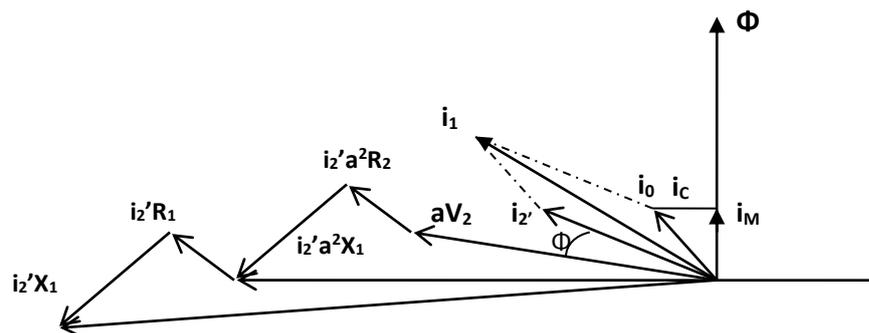
Untuk memudahkan analisis (perhitungan), model rangkaian tersebut dapat diubah menjadi seperti dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 2.21. Rangkaian pengganti dilihat dari sisi primer.



Vektor diagram rangkaian diatas untuk beban dengan faktor kerja terbelakang dapat dilukiskan pada gambar 2.22



Gambar 2.22. Vektor diagram rangkaian pengganti.

### 2.3. On Load Tap Changer (OLTC)

Tap Changer adalah Alat bantu utama dari sebuah transformator yang berfungsi untuk mendapatkan ratio yang efektif dengan cara mengurangi atau menambah jumlah belitan/winding primer atau sekunder Secara umum tap changer bekerja berdasarkan perbandingan jumlah lilitan dan tegangan pada kumparan primer dan sekunder.

$$\frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2} = \frac{I2}{I1}$$

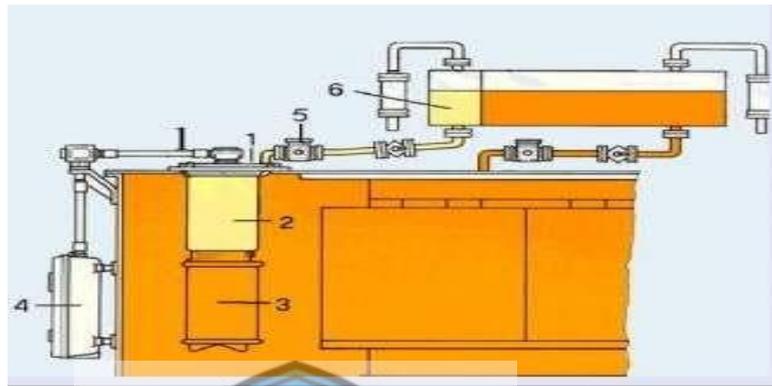
Keterangan:

- V1 = tegangan pada sisi primer(volt)
- V2 = tegangan pada sisi sekunder(volt)
- N1 = jumlah lilitan pada sisi primer
- N2 = jumlah lilitan pada sisi sekunder
- I1 = arus pada sisi primer (Ampere)
- I2 = arus pada sisi sekunder (Ampere)

Dengan adanya nilai tegangan system yang tidak stabil, maka diperlukan sebuah alat yang digunakan untuk mengatur nilai tegangan keluarannya. Nilai tegangan system yang berubah-ubah ini biasanya terjadi pada sisi primer transformator, sehingga pada sisi primer inilah biasanya dipasang tap changer.

### 2.3.1. Bagian – bagian OLTC

Secara umum bagian-bagian dari tap changer dapat dibedakan menjadi sebagai berikut :



Gambar 2.23. bagian – bagian Tap Changer

Keterangan :

#### 1. Tap changer Head and Cover

Bagian ini merupakan tutup pelindung atas dari *tap changer*. Di sini terdapat beberapa saluran yang terhubung ke bagian luar antara lain:

- *Tap changer cover*, yaitu bagian ini merupakan penutup dan pelindung *tangki conservator* dari bagian luar.
- Saluran yang terhubung ke tangki minyak luar. Saluran ini digunakan untuk mengalirkan minyak dari tangki konservator ke *oil compartment*.
- Gear unit dan *drive shaft*, bagian ini merupakan penghubung bantu dari motor 3fasa (sebagai penggerak) ke bagian *diverter switch* dan *tap selector* dari *tap changer*.
- *Bladeer valve*, bagian yang berfungsi untuk mengeluarkan minyak berlebih pada *oil compartment* saat terjadi gangguan pada *tap changer*.

## 2. Tap changer Oil compartment

Tap changer oil compartment merupakan tangki yang berisi *diverter switch compartment* ini terisi oleh minyak isolasi yang berfungsi sebagai isolator dan bahan pendingin.

## 3. Tap selector, diverter switch dan tahanan transmisi

**Tap selector** yaitu bagian *tap changer* yang berfungsi untuk mengatur nilai dan posisi tap belitan. Dalam hal ini, posisi *tap* akan mempengaruhi banyak sedikitnya belitan yang dipakai, sehingga secara langsung akan mengatur nilai tegangan yang dihasilkan.

**Diverter switch**, adalah rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan tinggi.

**Tahanan transmisi** merupakan dua buah tahanan dengan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan *tap*. Pada umumnya resistor yang digunakan adalah nikelin dengan nilai resistensi  $4,8\Omega$  dan kemampuan arus 200 ampere.

## 4. Motor drive unit

*Panel control* dan *Motor Drive* unit ialah sebuah tempat yang berisikan peralatan untuk mengoperasikan *tap changer*. Adapun bagian-bagian dari panel control dan *motor drive* ini adalah:

- Motor ac tiga fasa yang berfungsi sebagai penggerak mekanik untuk mengganti nilai *tap* yang digunakan.
- Kontaktor, Ada tiga buah kontaktor motor yang digunakan pada panel control ini. Masing-masing kontaktor ini mempunyai fungsi yang berbeda antara lain :
  - a) Kontaktor utama, berfungsi sebagai supply tegangan ke motor tiga fasa dan sebagai limit switch saat *tap* telah berada pada posisi yang tepat. Tegangan yang digunakan adalah tegangan AC 380V.
  - b) Kontaktor kedua dan ketiga berfungsi sebagai pembalik fasa motor sehingga motor dapat bekerja dengan dua arah putaran (ke kiri atau ke kanan). Pada bagian ini memanfaatkan peranan kapasitor pada motor listrik yang digunakan.
- *MCB (Miniatur Circuit Breaker)*, berfungsi untuk pengaman perangkat control *tap changer*.

- *Display Mekanik counter* dan posisi *tap*, berfungsi sebagai penampil untuk menunjukkan berapa kali *tap changer* sudah bekerja dan posisi atau kedudukan *tap* nya.
- *Selector Switch* pada bagian ini ada dua pilihan pengontrolan ,yaitu pengontrolan remote atau local. Pengontrolan remote adalah pengontrolan *tap changer* yang dilakukan dari panel control di gardu induk. Sedangkan local adalah pengontrolan yang dilakukan secara manual di trafo atau langsung pada panel control dilapangan.
- Engkol manual ,berfungsi untuk memindah *tap* secara manual. Cara yang dilakukan adalah dengan memutar seccara manual engkol ini.

#### 5.Tap changer protective rele

Rele ini berfungsi untuk mengamankan tekanan minyak berlebih pada minyak yang ada pada *diverter switch compartment* saat terjadi gangguan.

#### 6.Tap changer oil conservator

Tangki ini berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan suplai minyak untuk *tap changer*. Biasanya tangki ini juga digabung dengan tangki konservator transformator. Agar kedua minyaknya tidak tercampur,maka di dalam tangki konservator ini terdapat sekat pemisah.( Sumanto. *Teori Transformator*. Yogyakarta : Andi Ofset, 1991.)

