

## **BAB II**

### **TEORI DASAR TRANSFORMATOR**

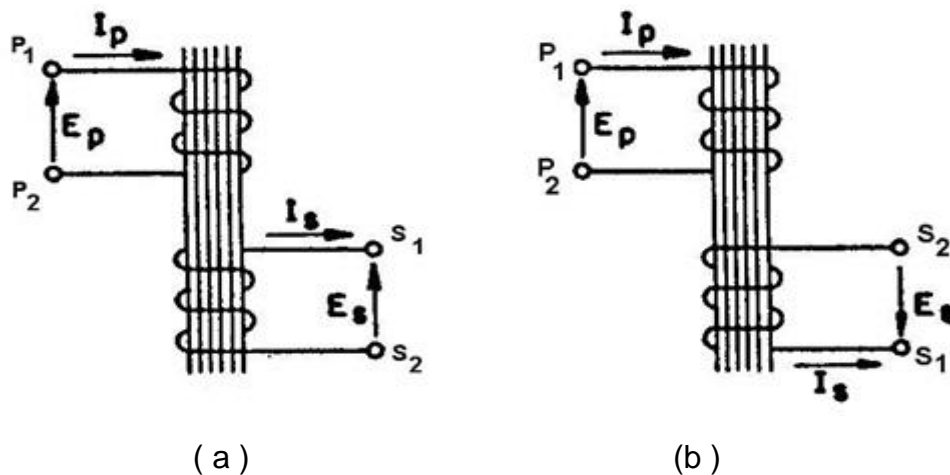
#### **2.1 Teori Dasar Transformator**

Transformator adalah suatu alat untuk memindahkan daya listrik arus bolak balik dari suatu rangkaian kerangkaian lainnya secara induksi elektromagnetik. Dalam sistem tenaga, penggunaan transformator memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap keperluan. Transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu transformator pengukuran, transformator arus konstan dan transformator tegangan konstan. Transformator tegangan konstan biasanya digunakan pada sistim ketenagaan listrik untuk melayani beban. pada umumnya transformator tegangan konstan dibagi menjadi dua bagian yaitu: transformator daya dan transformator distribusi.

Bagian-bagian terpenting dari transformator:

1. Inti, untuk memperkecil rugi-rugi yang dibuat dari baja khusus
2. Kumparan dibuat dari penghantar tembaga atau aluminium dan kumparan dibelitkan pada inti untuk mengalirnya udara atau minyak sebagai pendingin.

Gambar 2.1 di bawah ini adalah gambar skema inti transformator dengan dua kumparan lengkap dengan polaritasnya

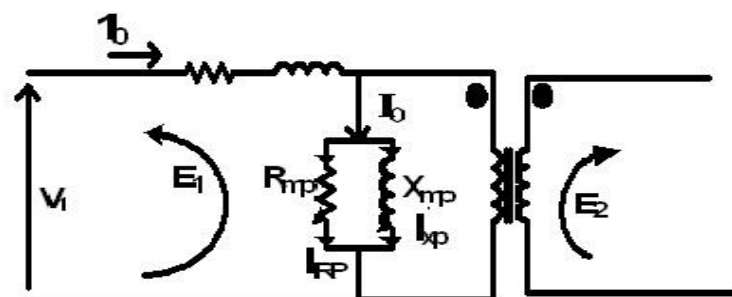


Gambar 2.1 : (a) Inti dengan dua kumparan polaritas subtraktif

(b) Inti dengan Dua kumparan polaritas adiktif

Gambar 2.1 ialah gambar inti dengan dua kumparan yaitu kumparan  $N_1$  dan kumparan  $N_2$ . Bila pada belitan  $N_1$  dipasang tegangan  $V_t$  maka dalam belitan  $N_1$  mengalir arus  $I_0$  yang sangat kecil (arus magnetisasi). Arus ini akan menghasilkan  $\phi$  dan  $\phi$  ini menyebabkan timbulnya tegangan  $E_1$  pada kumparan pertama dan  $E_2$  pada kumparan kedua dengan perbandingan tegangan  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$ .

Bentuk fisik gambar 2.1.bisa digambar dalam bentuk sirkit ekivalen seperti gambar 2.2 Perhatikan cara membelit kumparan, tanda dot untuk bagi dan arah panah untuk tegangan yang timbul.

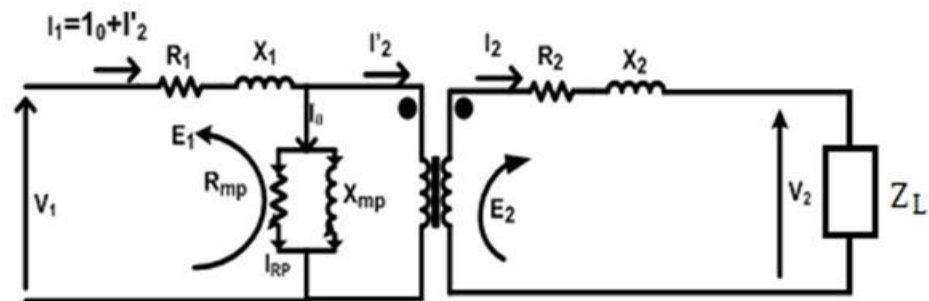


Gambar 2.2 Sirkit Ekivalen Tanpa beban.

## 2.2 Transformator Berbeban

Apabila transformator diberi beban maka akan mengalir arus  $I_2$  pada kumparan sekunder  $I_2$  ini akan menyebabkan perubahan arus yang mengalir pada kumparan primer seperti pada gambar 2.3

Perubahan arus ini akan sama dengan  $-\frac{I_2}{a} = I_2'$



Gambar 2.3 Transformator Berbeban

Transformator dikatakan berbeban apabila kumparan primer ( $V_1$ ) dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik dan kumparan sekunder ( $V_2$ ) dihubungkan dengan beban ( $Z_L$ ), seperti terlihat pada Gambar 2.3 diatas. Sehingga pada kumparan sekunder akan mengalir arus  $I_2$ . Arus  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya gerak magnet di kumparan sekunder sebesar  $V_2 I_2$  yang cenderung menentang terhadap fluks magnet bersama  $V_1 I_m$  yang telah ada akibat arus pemagnetan. Agar fluks magnet bersama tidak berubah nilainya maka 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:

$$I_1 = I_0 + I'_2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Bila komponen arus rugi inti ( $I_\mu$ ) diabaikan maka  $I_0 = I_m$ .

Dengan demikian persamaan (2.1) menjadi:

$$I_1 = I_m + I'_2 \dots\dots\dots(2.2)$$

Untuk menjaga agar fluks tidak berubah, sebesar gaya gerak magnet yang dihasilkan oleh arus pemagnetan ( $I_m$ ) saja, maka berlaku hubungan:

$$N_1 I_m = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.3)$$

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

$$N_1 I'_2 - N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Karena nilai  $I_m$  dianggap kecil, maka  $I'_2 = I_1$

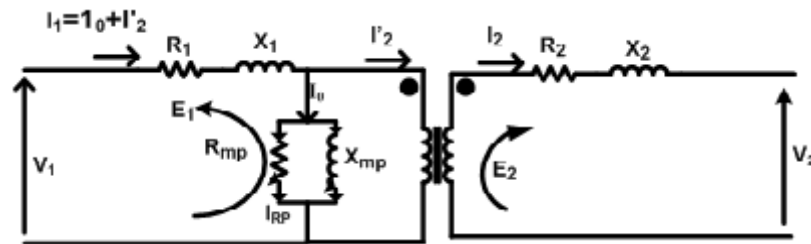
$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} a \dots\dots\dots(2.6)$$

Untuk transformator berbeban, beban disini dapat berupa tahanan murni, beban induktif maupun beban kapasitif.

### 2.3 Rangkaian Ekivalen Dan Karakteristik Transformator Berbeban

Dengan menggunakan parameter-parameter dari percobaan beban nol dan percobaan hubung singkat maka dapat dibuat rangkaian ekivalen dari transformator berbeban, seperti Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Rangkaian Ekivalen Transformator Berbeban

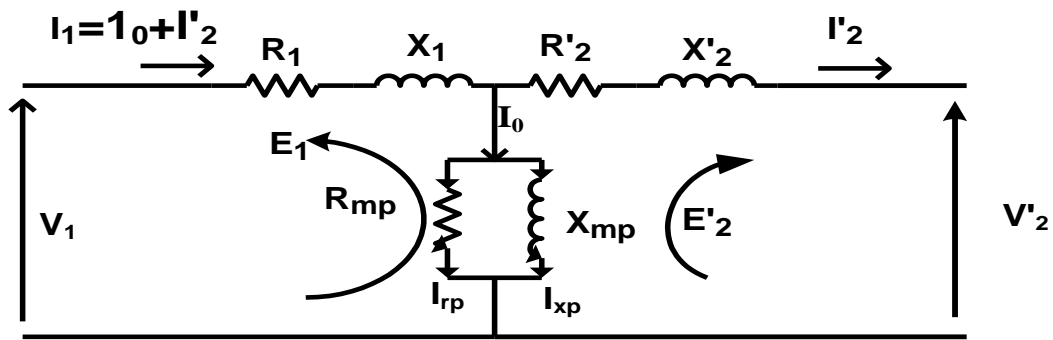
Apabila trafo ada beban akan ada arus beban  $I_2$ . Berdasarkan hukum sirkit listrik maknit Amper dapat ditulis :

$$\oint \mathbf{H}_1 \cdot d\mathbf{l} = \sum \mathbf{N} \cdot \mathbf{I} \text{ atau } \mathfrak{F} \equiv \sum \mathbf{N} \cdot \mathbf{I}$$

$\mathfrak{F}$  ialah MMF (magneto motive force) yang besarnya digambarkan oleh  $\phi$  bersama atau  $E_1$  atau  $E_2$  jadi tergantung besar  $V_1$  atau besar  $I_0$ ,  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = a$  Jadi

dapat ditulis  $I_1 \cdot n_1 = I_2 \cdot n_2$  atau  $I_2' = \frac{n_2}{n_1} \times I_2 = \frac{1}{a} \times I_2$  dan  $I_1 = I_0 + I_2'$ .

Tidak semua flux  $I_2$  menghasilkan flux bersama yang menghasilkan  $I_1$  ada flux bocor pada sisi sekunder dan flux bocor tersebut menimbulkan  $X_2$ . Demikian pula dengan mengalirnya  $I_1$  dalam kumparan primer.



Gambar.2.5 Sirkit Ekivalen Terhadap Sisi Primer  $I_{rp} = I_{h+e}$  dan  $I_{xp} = I_{\phi}$

Gambar 2.6 ialah sirkit ekivalen terhadap sisi primer dan diagram vektornya ialah seperti Gambar,2.6

$I_0$ : arus maknetisasi

$I_{\phi}$ : komponen  $I_0$  yang menghasilkan flux  $\phi$ .

$I_{h+e}$ : komponen  $I_0$  yang menghasilkan rugi-rugi histerisis dan rugi-rugi arus pusar.

Sub huruf  $\phi$  juga ditulis  $X_{mp}$ , demikian pula  $h+e$  juga ditulis  $r_{mp}$ .

$E_1$ : tegangan yang timbul (induced electromotive force) yang ditimbulkan flux  $\phi$ .

Besarnya =  $V_1 - I_1 R_1 - I_1 X_1$  (besaran vektor).  $E_1$  mendahului  $90^\circ$  flux  $\phi$ .

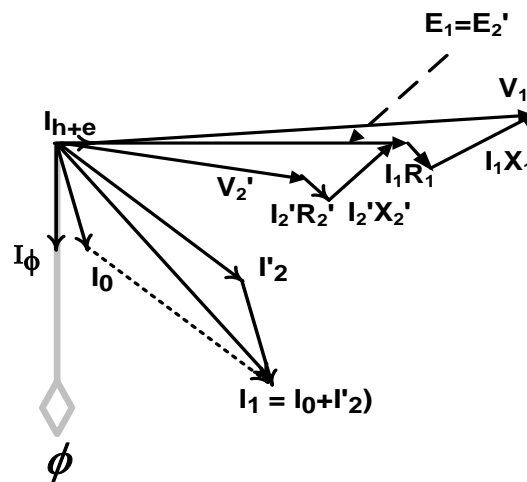
$I_0$ : arus maknetisasi

$I_{\phi}$  : komponen  $I_0$  yang menghasilkan flux  $\phi$ .

$I_{h+e}$ : komponen  $I_0$  yang menghasilkan rugi-rugi histerisis dan rugi-rugi arus pusar.

$E_1$ : tegangan yang timbul (*induced electromotive force*) yang ditimbulkan flux  $\phi$ .

Besarnya =  $V_1 - I_1 R_1 - I_1 X_1$  (besaran vektor).  $E_1$  mendahului  $90^\circ$



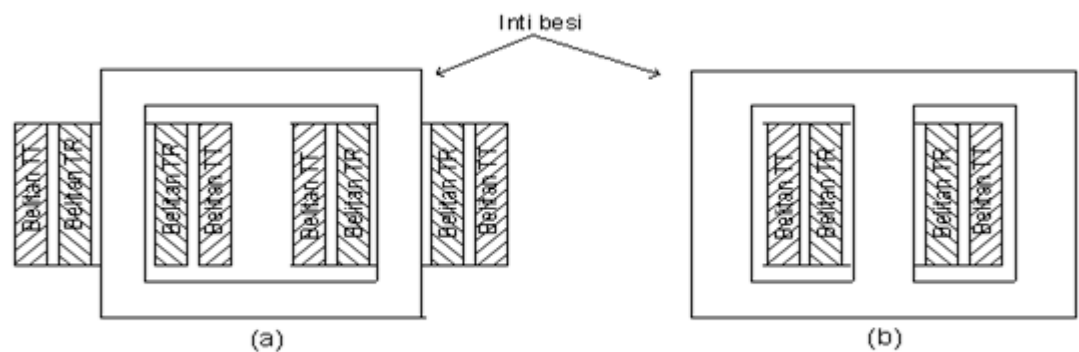
Gambar 2.6 Diagram fasor untuk sirkit ekivalan tegangan tinggi

## 2.4 Transformator distribusi

Transformator merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi mengubah tegangan menengah (biasanya 11-20-33 kV) menjadi tegangan rendah (200-400V) dengan frekuensi yang sama sebelum dan sesudah transformasi. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen lain dari rangkaian distribusi, rugi-rugi energi dan turun tegangan yang disebabkan arus listrik yang mengalir menuju beban merupakan penentuan untuk pemilihan dan lokasi transformator. Tujuan dari penggunaan transformator distribusi adalah untuk memperkecil tegangan utama dari sistem distribusi listrik untuk tegangan pemanfaatan melayani pelanggan.

umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputarkaki inti transformator. Secara umum dapat dibedakan dua jenis transformator menurut konstruksinya, yaitu tipe

inti (core type) dan tipe cangkang (shell type). Pada tipe inti terdapat dua kaki, dan masing-masing kaki dibelitkan oleh satu kumparan. Sedangkan tipe cangkang mempunyai tiga buah kaki dan hanya kaki yang tengah dibelitkan oleh kedua kumparan.



Gambar 2.7 Inti besi transformator. (a). Jenis inti ( core type )

(b). Jenis cangkang ( shell type )

Dalam standar hanya terdapat rating dari 5 sampai 50 kVA untuk trafo distribusi satu fasa dan rating 25 sampai 2500 kVA untuk trafo distribusi tiga fasa, yang dibuat berdasarkan Standar PLN 50 tahun 1997.

## 2.5 Jenis - Jenis Transformator Distribusi

Trafo distribusi dibagi menjadi 3 tipe berdasarkan rating daya dan tegangan yaitu:

### 1. Transformator Distribusi Besar

Transformator jenis ini biasanya digunakan pada sebuah pembangkit dan unit trafo tersebut menggunakan sistem tiga fasa dengan tap changer off-load atau on-load. Menggunakan standar ANSI / IEEE rating daya 112,5 kVA - 20



MVA dengan tegangan primer sampai dengan 69 kV tegangan sekunder sampai 34,5 kV. Gardu transformator dilengkapi dengan bushing penutup terpasang untuk koneksi ke saluran luar dan unit gardu transformator dengan dinding dipasang bushing baik pada sisi primer dan sekunder atau kedua transformator yang dikoneksikan dengan switchgear.

## 2. Transformator Distribusi Sedang

Transformator jenis ini digunakan untuk step down tiga-fasa tegangan tinggi ke tegangan rendah untuk distribusi daya, menggunakan standar IEC rating daya 400-5000kVA. Tegangan primer sampai 36kV digunakan terutama di daerah metropolitan dan untuk aplikasi industri. Transformer ini tertutup rapat, fleksibel dan dinding tangki bergelombang memungkinkan pendinginan yang cukup dari transformator untuk mengkompensasi perubahan volume minyak karena variasi suhu selama operasi. Keuntungan dari trafo yang tertutup rapat-rapat yaitu minyak yang tidak bersentuhan dengan atmosfer sehingga menghindari penyerapan air dari lingkungan, transformator juga dilengkapi dengan konservator minyak..

## 3. Transformator Distribusi Kecil

Transformator jenis ini digunakan untuk step down tiga-fasa tegangan tinggi ke tegangan rendah untuk distribusi daya, Standar IEC kapasitas sampai 315 kVA tegangan utama sampai 36kV digunakan terutama di daerah pedesaan atau rendah kepadatan penduduknya. Trafo tiga fasa dengan minyak terendam tertutup rapat, beradaptasi dengan kutub mounting atau perakitan di gardu. Transformator juga dilengkapi dengan konservator minyak.