



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Transformator¹

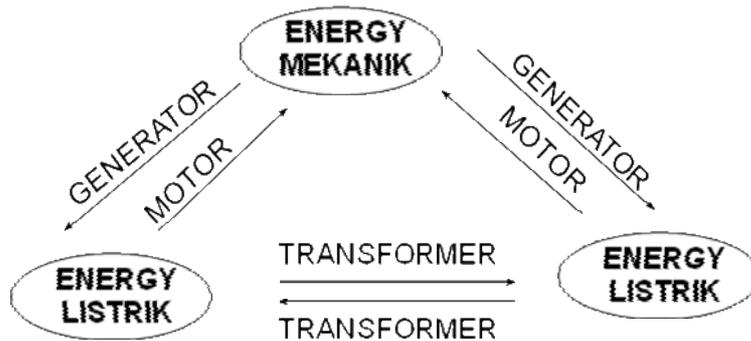
Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energy listrik bolak-balik dari satu level ke level tegangan yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis, dan dua buah kumparan primer, dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada dua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang di belit seputar “kaki” inti transformator.

Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Pengguna transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya jarak jauh. Pengguna transformator yang sangat sederhana dan andal, merupakan salah satu alasan penting dalam pemakaiannya dalam penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik, karena arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik arus bolak-balik terjadi kerugian energi sebesar I^2R watt. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan setinggi mungkin. Dengan demikian saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian tenaga listrik yang terjadi, dengan cara mempergunakan transformator untuk menaikkan tegangan listrik dipusat listrik dari tegangan generator yang biasanya berkisaran

¹Prof. Dr. Zuhul M.Sc. EE dan Ir. Zhanggihchan, *Prinsip Dasar Elektroteknik*, Hal 631, PT. Gramedia Pusaka Utama, Jakarta.



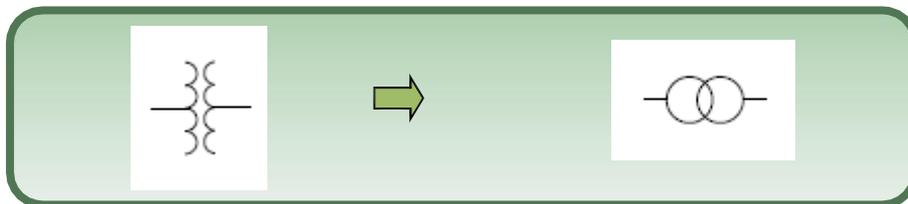
antara 6kV sampai 20kV pada awal transmisi ketegangan saluran transmisi antara 100kV sampai 1000kV, kemudian menurunkannya lagi pada ujung akhir saluran ke tegangan yang lebih rendah.



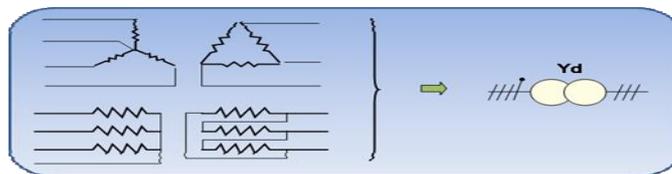
Gambar 2.1 Transformasi Energi

(Zuhal, 1995. Hal 43)

2.1.1 Simbol Transformer



Gambar 2.2 Simbol Transformer 1 Phase



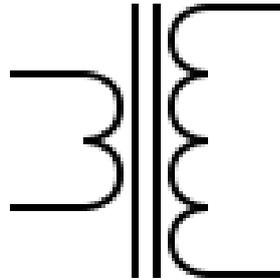
Gambar 2.3 Simbol Transformer 3 Phase



2.2 Jenis-jenis transformator

a. Step-Up

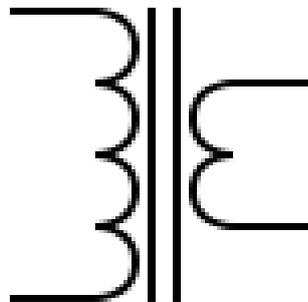
Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang digunakan dalam transmisi jarak jauh



Gambar 2.4 Lambang Transformator Step-Up

b. Step-Down

Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.



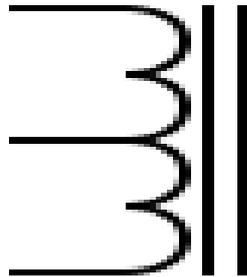
Gamabr 2.5 Skema Transformator Step-Down



c. Auto Transformator

Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer, sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari autotransformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan. Tetapi transformator jenis ini tidak dapat memberikan isolasi secara listrik antara lilitan primer dengan lilitan sekunder.

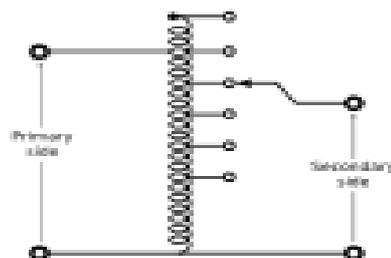
Selain itu, auto transformator tidak dapat digunakan sebagai penaik tegangan lebih dari beberapa kali lipat (biasanya tidak lebih dari 1,5 kali).



Gambar 2.6 Skema Auto Transformator

d. Auto Transformator Variabel

Auto transformator variabel sebenarnya adalah autotransformator biasa yang sadapan tengahnya bisa diubah-ubah, memberikan perbandingan lilitan primer-sekunder yang berubah-ubah.



Gambar 2.7 Skema Autotransformator Variabel



e. Transformator isolasi

Transformator isolasi memiliki lilitan sekunder yang berjumlah sama dengan lilitan primer, sehingga tegangan sekunder sama dengan tegangan primer. Tetapi pada beberapa desain, gulungan sekunder dibuat sedikit lebih banyak untuk mengkompensasi kerugian. Transformator seperti ini berfungsi sebagai isolasi antara dua kalang. Untuk penerapan audio, transformator jenis ini telah banyak digantikan oleh kopling kapasitor.

f. Transformator pulsa

Transformator pulsa adalah transformator yang didesain khusus untuk memberikan keluaran gelombang pulsa. Transformator jenis ini menggunakan material inti yang cepat jenuh sehingga setelah arus primer mencapai titik tertentu, fluks magnet berhenti berubah. Karena GGL induksi pada lilitan sekunder hanya terbentuk jika terjadi perubahan fluks magnet, transformator hanya memberikan keluaran saat inti tidak jenuh, yaitu saat arus pada lilitan primer berbalik arah.

2.3 Konstruksi Transformator

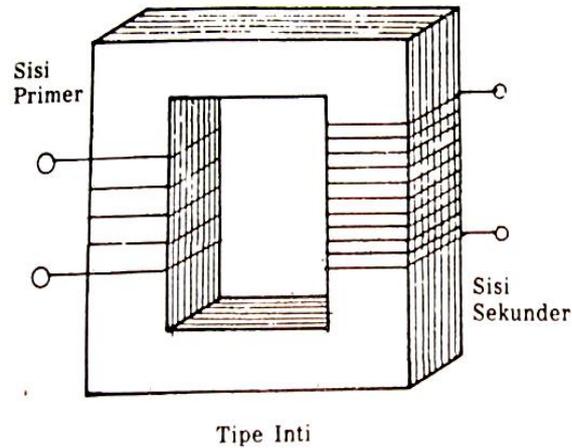
Pada umumnya konstruksi transformator terdiri atas bagian-bagian sebagai berikut :

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

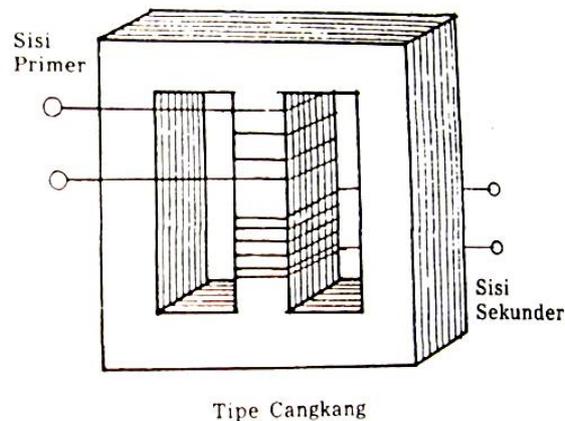
Pada transformator tipe inti, kumparan mengelilingi inti dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf L atau huruf U.



Gambar 2.8 Kontruksi Transformator Tipe Inti.

2. Tipe cangkang

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



Gambar 2.9 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 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 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).

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

Dimana : e = gaya gerak listrik (ggl) [volt]
 N = jumlah lilitan
 $\frac{d\phi}{dt}$ = perubahan fluks magnet

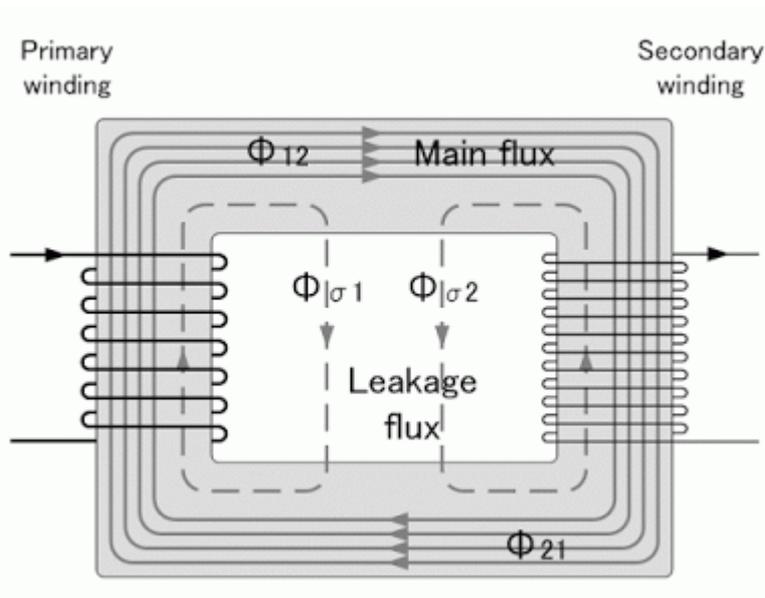
Perlu diingat bahwa hanya tegangan listrik arus bolak-balik yang dapat ditransformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronika, transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

Tujuan utama menggunakan inti pada transformator adalah untuk mengurangi reluctance (tahanan magnetis) dari rangkaian magnetis (*common magnetic circuit*).

2.5 Kegunaan Transformator

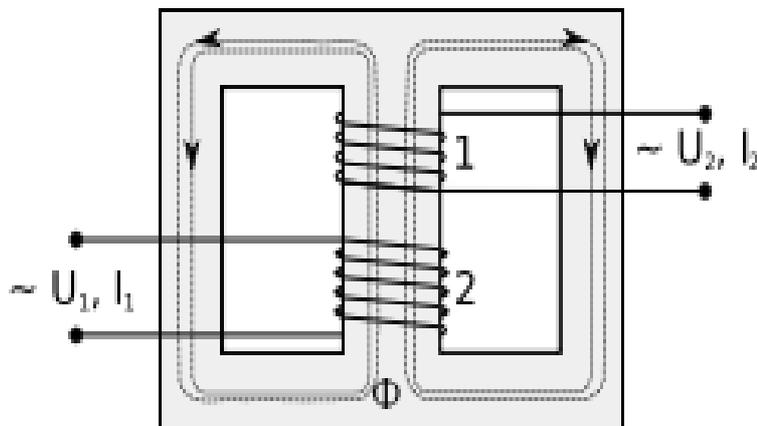
Berkaitan dengan topic yang dikaji yakni kegunaan transformator adalah alat untuk mengubah tegangan arus bolak balik menjadi lebih tinggi atau rendah. Transformator terdiri dari pasangan kumparan primer dan sekunder yang diisolasi (terpisah) secara listrik dan dililitkan pada inti besi lunak. Inti besi lunak dibuat dari pelat yang berlapis-lapis untuk mengurangi daya yang hilang karena arus pusar. Kumparan primer dan sekunder dililitkan pada kaki inti besi yang terpisah. Bagian fluks magnetic bocor tampak bahwa pada pasangan kumparan terdapat fluks magnetic bocor disisi primer dan sekunder. Secara lebih lengkap bias di

cermati.



Gambar 2.10 Bagan fluks magnetic bocor pada pasangan kumparan

Hasil diatas untuk mengurangi fluks magnet bocor pada pasangan kumparan digunakan pasangan kumparan seperti gambar diatas. Kumparan sekunder dililitkan pada kaki inti besi yang sama (kaki yang tengah), dengan lilitan kumparan sekunder terletak diatas lilitan kumparan primer, ditunjukkan pada fluks magnet bocornya, maka dapat dicermati pada gambar dibawah ini



Gambar 2.11 Hubungan primer dan sekunder



Rumus untuk fluks magnet yang ditimbulkan lilitan primer adalah:

$$\delta\Phi = \epsilon \times \delta t \quad (1)$$

Dan untuk rumus GGL induksi yang terjadi dililitan sekunder adalah

$$\epsilon = N \delta\Phi/\delta t \quad (2)$$

Karena kedua kumparan dihubungkan dengan fluks yang sama, maka

$$\delta\Phi/\delta t = V_p/N_p = V_s/N_s \quad (3)$$

Dimana dengan menyusun ulang persamaan akan didapat

$$V_p/N_p = V_s/N_s \quad (4)$$

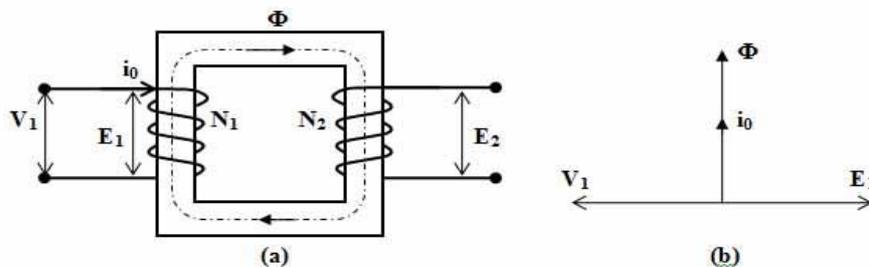
Sedemikian sehingga

$$V_p.I_p = V_s.I_s \quad (5)$$

2.6 Pembebanan Transformator

2.6.1 Keadaan Transformator Tanpa Beban²

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



Gambar 2.12(a). Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban

(b). Vektor Transformator Dalam Keadaan Tanpa Beban

Keterangan :

- N_1 = Jumlah lilitan sisi primer
- N_2 = Jumlah lilitan sisi skunder
- V_1 = Tegangan input

²Zuhal, Dasar Tenaga Listrik, Hal 17, ITB, 1991



- I_0 = Arus sisi primer
- E_1 = Gaya gerak listrik sisi primer (efektif)
- E_2 = Gaya gerak listrik sisi skunder
- Φ = 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) :

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

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

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

Dimana :

- e_1 = gaya gerak listrik (volt)
- N_1 = jumlah belitan di sisi primer (turn)
- ω = kecepatan sudut putar (rad/sec)
- Φ = fluks magnetik (weber)

Harga efektif :

$$e_1 = \frac{N_1 \omega \Phi_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$e_1 = \frac{N_1 2\pi f \Phi_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$e_1 = \frac{N_1 2 \times 3,14 f \Phi_{max}}{\sqrt{2}}$$

$$e_1 = 4,44$$

$$N_1 f \Phi_{max} \text{ (volt) } \dots\dots\dots(2.4)$$

(Zuhal.1995:44,45)

Pada rangkaian sekunder, fluks (Φ) 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

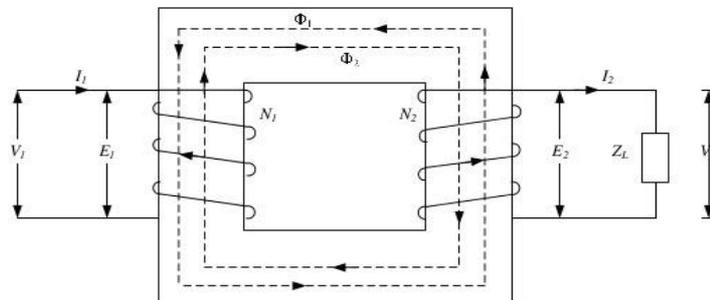
$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \alpha \dots \dots \dots (2.8)$$

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)
- α = Faktor transformasi

2.6.2 Keadaan Transformator Berbeban³

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , akan mengalir arus I_2 pada kumparan sekunder, dimana $I_2 = V_2 / Z_L$ dengan θ_2 = faktor kerja beban



Gambar 2.13 Transformator Dalam Keadaan Berbeban

³Prof. Dr. Zuhul M.Sc. EE dan Ir. Zhanggihchan, *Prinsip Dasar Elektroteknik*, Hal 631, PT. Gramedia Pusaka Utama, Jakarta.



Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat 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:

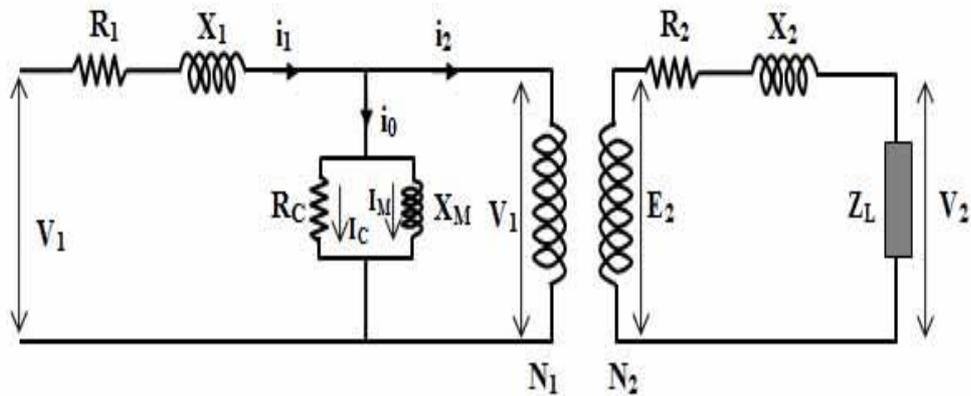
$$I_2 = I_M + I_2' \text{ (ampere)} \dots \dots \dots (2.10)$$

- Dimana:
- I_1 = arus pada sisi primer (ampere)
 - I_2' = arus yang menghasilkan Φ_2' (ampere)
 - I_0 = arus penguat (ampere)
 - I_M = arus pemagnetan (ampere)
 - I_c = arus rugi-rugi tembaga (ampere).

2.7 Rangkaian Ekuivalen Transformator ⁴

Tidak seluruh fluks (Φ) yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M merupakan Fluks Bersama (Φ_M), sebagian darinya hanya mencakup kumparan primer (Φ_1) atau mencakup kumparan sekunder (Φ_2) saja. Dalam model rangkaian ekuivalen yang dipakai untuk menganalisis kerja suatu transformator, adanya fluks bocor Φ_1 dan Φ_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 gambar 2.5.3

⁴Zuhal, Dasar Tenaga Listrik, Hal 17, ITB, 1991



Gambar 2.14 Rangkaian Ekivalen Transformator

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

$$E_1 = a E_2$$

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

$$I_2 = a I'_2$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a (I_2 R_2 + I_2 X_2 + V_2)$$

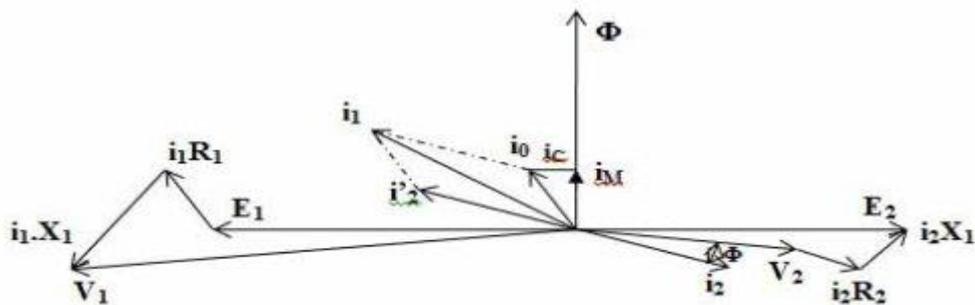
$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a I_2 R_2 + a I_2 X_2 + a V_2$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a (a I'_2 R_2) + a (a I'_2 X_2) + a V_2$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + a_2 I'_2 R_2 + a_2 I'_2 X_2 + a V_2$$

$$V_1 = I_1 R_1 + I_1 X_1 + I'_2 (a_2 R_2) + a_2 X_2 + a V_2 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dari rangkaian di atas dapat dibuat vektor diagramnya sebagai terlukis pada gambar berikut ini.



Gambar 2.15 Vektor diagram rangkaian pengganti



Dari model rangkaian diatas dapat pula diketahui hubungan penjumlahan vektor :

$$V_1 = E_1 + I_1 X_1$$

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

atau

$$E_1 = a.E_2$$

hingga :

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

Karena

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

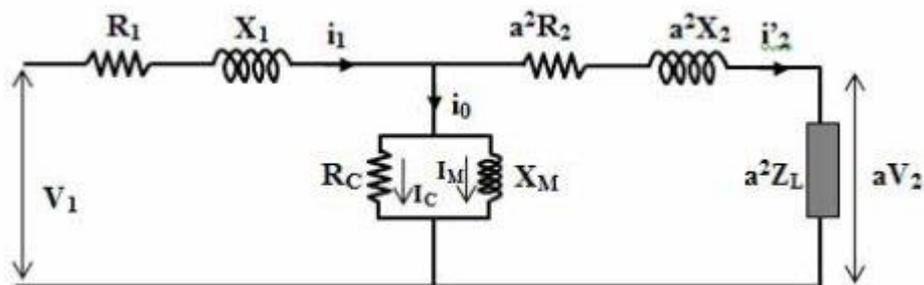
maka

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

dan

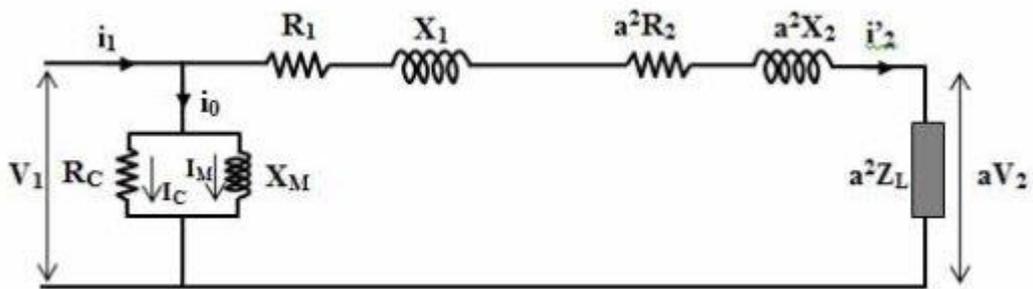
$$V_1 = a^2 I'_2 Z_L + a^2 I'_2 R_2 + a_2 I'_2 X_2 + I_1 R_1 + I_1 X_1$$

Persamaan terakhir mengandung pengertian bahwa apabila parameter rangkaian sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor a. Sekarang model rangkaian menjadi seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.16 Rangkaian pengganti dilihat dari sisi primer

Untuk memudahkan analisis (perhitungan), model rangkaian tersebut dapat diubah. Apabila semua parameter sekunder dinyatakan dalam harga rangkaian primer, harganya perlu dikalikan dengan faktor a², dimana a = E1/E2. Sekarang model rangkaian menjadi sebagai terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.17 Parameter sekunder pada rangkaian primer

Maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut :

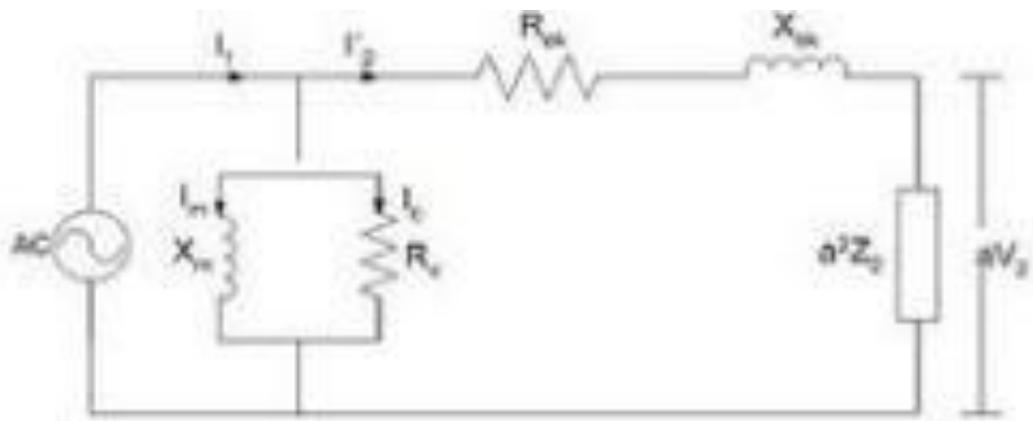
$$R_{ek} = R_1 + a^2R_2$$

(ohm).....(1.9)

$$X_{ek} = X_1 +$$

$$a^2X_2 \text{ (ohm).....(1.10)}$$

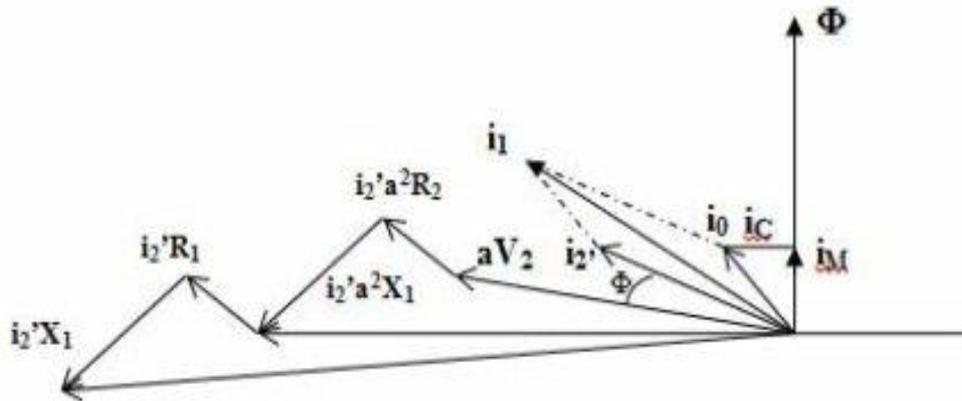
Sehingga rangkaian di atas dapat diubah seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.18 Hasil akhir penyederhanaan rangkaian ekuivalen transformator

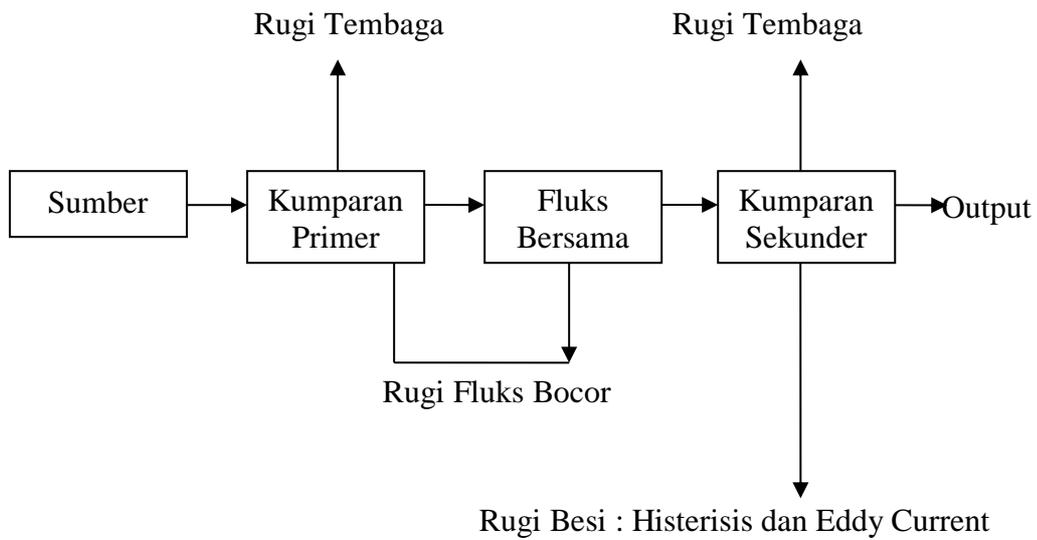
Parameter transformator yang terdapat pada model rangkaian (rangkaian ekuivalen) R_c , X_m , R_{ek} dan X_{ek} dapat ditentukan besarnya dengan dua macam pengukuran yaitu pengukuran beban nol dan pengukuran hubungan singkat.

Vektor diagram rangkaian di atas untuk beban dengan faktor kerja terkebelakang dapat dilukiskan pada gambar berikut ini.



Gambar 2.19 Vektor diagram rangkaian pengganti

2.8. Rugi-Rugi Transformator⁵



Gambar 2.20 Blok Diagram Rugi-Rugi Pada Transformator

⁵Prof. Dr. Zuhul M.Sc. EE dan Ir. Zhanggihchan, *Prinsip Dasar Elektroteknik*, Hal 631, PT. Gramedia Pusaka Utama, Jakarta.



2.8.1 Rugi Tembaga (P_{cu})

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

$$P_{cu} = I^2R \text{ (watt)} \dots \dots \dots (2.12)$$

Formula ini merupakan perhitungan untuk pendekatan. Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak konstan bergantung pada beban.

2.8.2 Rugi besi (P_i)

Rugi besi terdiri atas :

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

$$P_h = K_h f B^{1.6} \text{ maks (watt)} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana : K_h = konstanta

B_{maks} = Fluks Maksimum (weber).

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

Dirumuskan sebagai :

$$P_e = K_e F^2 B^2 \text{ maks}$$

K_e = Konstanta

B_{maks} = Fluks Maksimum (weber).

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah

$$P_e = P_h + P_e \dots \dots \dots (2.14)$$



2.9 Transformator Tiga Fasa⁶



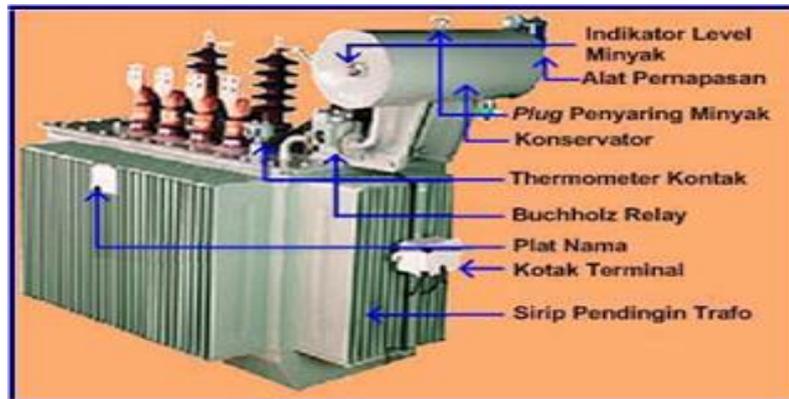
Gambar 2.21 Transformator Tiga Fasa Tipe Inti

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”.

⁶Feri budi, Prinsip Kerja Transformator 3 Fasa, Diakses 28 juni 2015



Gambar 2.22 Kontruksi Bagian Luar Transformator

Pada dasar nya formulasi transformator tiga fasa dikembangkan atau merupakan jumlah vector dari tiga buah trafo satu fasa .Jadi:

$$\begin{aligned}
 P_{3\text{Fasa}} &= P_1 + P_2 + P_3 \\
 &= I_1 \cdot V_1 + I_2 \cdot V_2 + I_3 \cdot V_3 \\
 &= 3 \cdot I \cdot V \dots \dots \dots (2.16)
 \end{aligned}$$

Rumus disamping ini berlaku baik pada trafo terhubung bintang maupun segitiga, dengan catatan bahwa arus (i) dan tegangan (v) adalah arus dan tegangan trafo satu fasa (bukan arus dan tegangan line).

2.10 Jenis Hubungan Pada Belitan Transformator Tiga Phasa⁷

Sebenarnya artikel ini adalah artikel dasar yang menarik untuk diulas kembali disini. Karena pembahasan tentang transformator 3 phasa yang umum dipakai di industri atau sistem distribusi listrik PLN ini, banyak sekali terdapat cabang keilmuannya. Antara lain adalah tentang **polaritas, vektor grup, name plate, sistem proteksi** dan lainnya, yang apabila dibahas secara utuh akan lumayan memakan banyak waktu dan pikiran.

⁷Sumardjati, Prih, dkk & <http://electric-mechanic.blogspot.com> . Diakses 28 juni 2015



Khusus kali ini saya hanya akan membahas tentang jenis-jenis hubungan padabelitan transformator 3 phasa, yang terkadang membuat bingung bagi yang baru

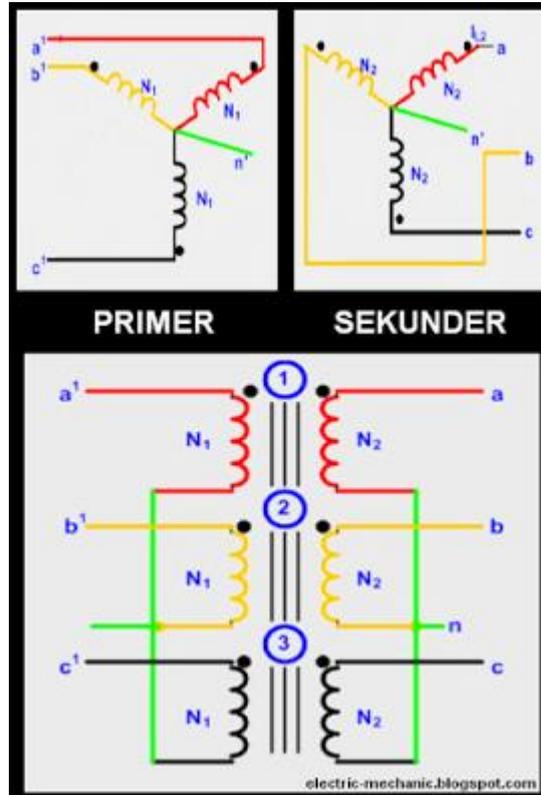


Gambar 2.23 jenis hubungan pada belitan transformator tiga phaas

Pada prinsipnya metode atau cara merangkai belitan kumparan di sisi primerdansekunder Transformator, umumnya dikenal 3 cara untuk merangkainya, yaitu hubungan bintang, hubungan delta, dan hubungan zig zag.

2.10.1 Hubung Bintang - Bintang(Y-Y)

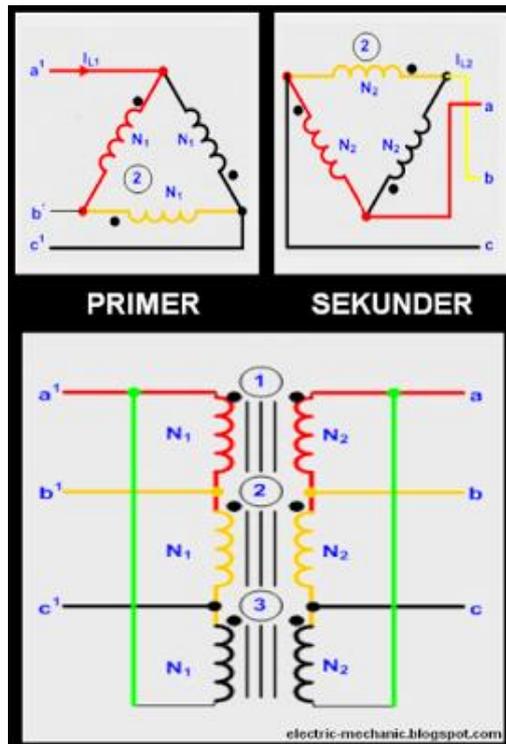
Pada jenis ini ujung ujung pada masing masing terminal dihubungkan secara bintang. Titik netral dijadikan menjadi satu. Hubungan dari tipe ini lebih ekonomis untuk arus nominal yang kecil, pada transformator tegangan tinggi.



Gambar 2.24 Trafo Hubungan Bintang Bintang

2.10.2 Hubung Segitiga-Segitiga ($\Delta - \Delta$)

Pada jenis ini ujung fasa dihubungkan dengan ujung netral kumparan lain yang secara keseluruhan akan terbentuk hubungan delta/ segitiga. Hubungan ini umumnya digunakan pada sistem yang menyalurkan arus besar pada tegangan rendah dan yang paling utama saat keberlangsungan dari pelayanan harus dipelihara meskipun salah satu fasa mengalami kegagalan.

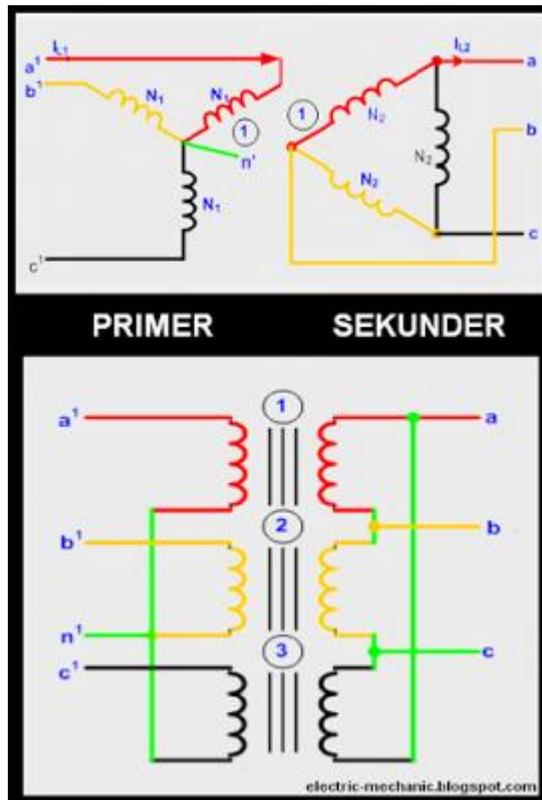


Gambar 2.25 Trafo Hubungan Delta Delta

2.10.3 Hubung Bintang Segi tiga (Y - Δ)

Pada hubung ini, kumparan pafa sisi primer dirangkai secara bintang (wye) dan sisi sekundernya dirangkai delta. Umumnya digunakan pada trafo untuk jaringan transmisi dimana tegangan nantinya akan diturunkan (Step- Down).

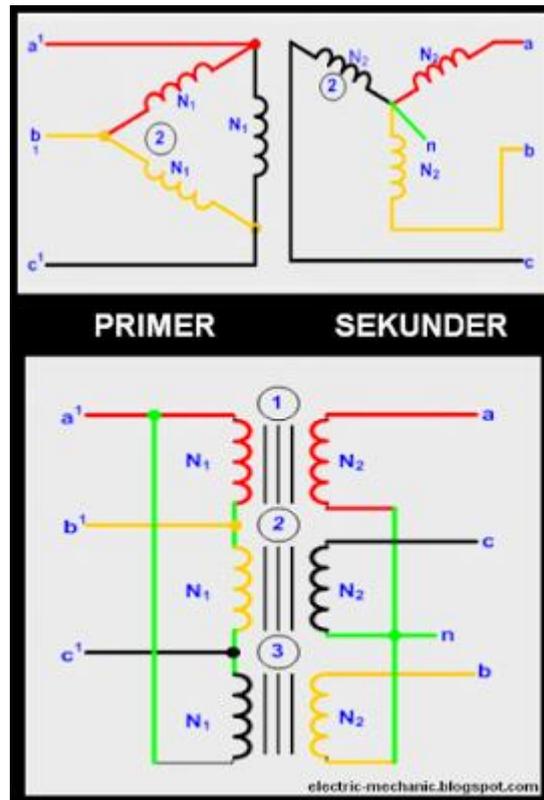
Perbandingan tegangan jala- jala $1/\sqrt{3}$ kali perbandingan lilitan transformator. Tegangan sekunder tertinggal 300 dari tegangan primer.



Gambar 2.26 Trafo Hubungan Bintang Delta

2.10.4 Trafo Hubungan Segitiga Bintang (Δ - Y)

Pada hubung ini, sisi primer trafo dirangkai secara delta sedangkan pada sisi sekundernya merupakan rangkaian bintang sehingga pada sisi sekundernya terdapat titik netral. Biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan (Step -up) pada awal sistem transmisi tegangan tinggi. Dalam hubungan ini perbandingan tegangan 3 kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder mendahului sebesar 30° dari tegangan primernya.

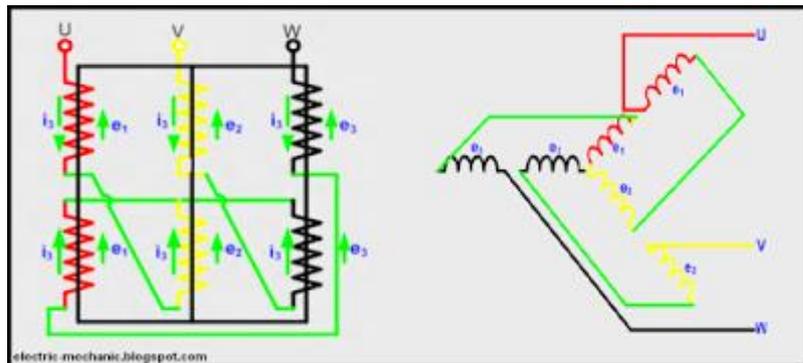


Gambar 2.27 Trafo Hubungan Delta Bintang

2.10.5 Hubungan Zig Zag

Kebanyakan transformator distribusi selalu dihubungkan bintang, salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh transformator tersebut adalah ketiga fasanya harus diusahakan seimbang. Apabila beban tidak seimbang akan menyebabkan timbulnya tegangan titik bintang yang tidak diinginkan, karena tegangan pada peralatan yang digunakan pemakai akan berbeda-beda. Untuk menghindari terjadinya tegangan titik bintang, diantaranya adalah dengan menghubungkan sisi sekunder dalam hubungan Zigzag.

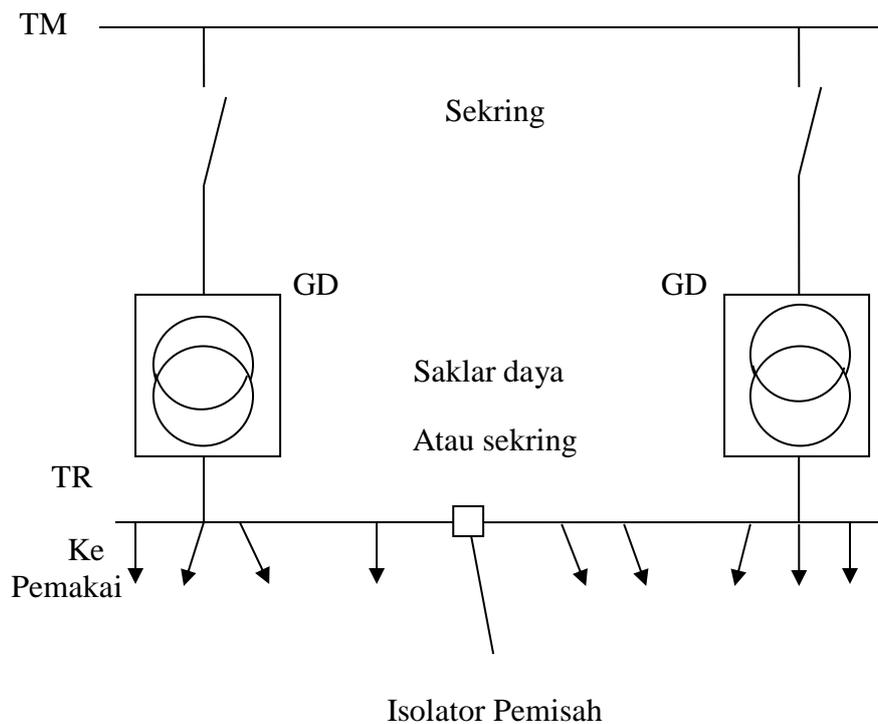
Dalam hubungan Zig-zag sisi sekunder terdiri atas enam kumparan yang dihubungkan secara khusus (lihat gambar)



Gambar 2.28 Trafo Hubungan Zig Zag

Ujung-ujung dari kumparan sekunder disambungkan sedemikian rupa, supaya arah aliran arus didalam tiap-tiap kumparan menjadi bertentangan. Karena e_1 tersambung secara berlawanan dengan gulungan e_2 , sehingga jumlah vektor dari kedua tegangan itu menjadi.

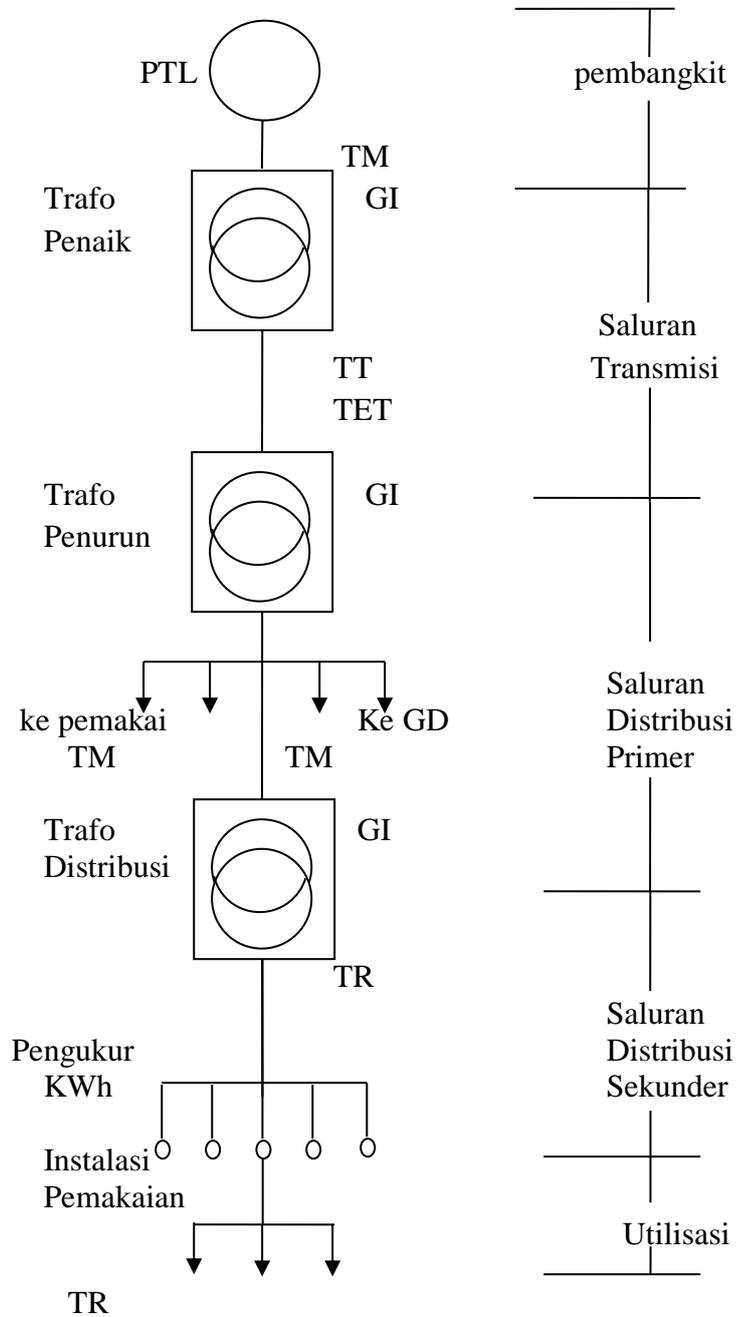
2.11 Diagram Distribusi



Gambar 2.29 Penggunaan Satu Gardu Distribusi Untuk Sejumlah Pemakaian



2.12 Rangkaian Sistem Tenaga Listrik



Gambar 2.30 Sistem Tenaga Listrik