

## HUBUNGAN PADA TRANSFORMATOR TIGA FASA

Ali Supriyadi \*)

### Abstrak

*Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Prinsip kerja transformator yaitu berdasarkan Hukum Faraday. Jenis dan bentuk transformator bermacam macam tergantung pada fungsi dan besarnya tegangan dan arus yang bekerja pada transformator tersebut.*

*Pada tulisan ini akan dibahas mengenai transformator tiga fasa, bagian bagian transformator tiga fasa, serta hubungan yang terdapat dalam transformator tiga fasa. Terdapat berbagai macam hubungan pada transformator tiga fasa yang dalam penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan dan rating tegangan yang akan dipikulnya. Salah satu hubungan pada transformator tiga fasa yang sering di pakai adalah Hubungan Segitiga Bintang dan Bintang Segitiga, kedua jenis hubungan ini biasanya dipakai dalam sistem tenaga listrik khususnya pada bagian transmisi listrik untuk menaikkan tegangan ( $\Delta$ - $Y$ ) dan menurunkan tegangan ( $Y$  -  $\Delta$ ). Untuk suatu keadaan darurat, trafo hubung delta dapat dibuat menjadi open delta namun dengan kapasitias hanya 86.6 % dari kapasitas terpasangnya.*

*Kata kunci : transformator tiga fasa, hubungan transformator tiga fasa*

### I. PENDAHULUAN

Transformator adalah suatu peralatan listrik yang berguna untuk mengubah nilai tegangan atau arus dari nilai yang satu ke nilai lainnya sesuai dengan kebutuhan. Transformator bekerja berdasarkan pada Hukum Faraday. Jenis transformator sangat beragam tergantung pada tegangan kerja, fasa yang dipakai, dan untuk apa transformator tersebut digunakan. Salah satu jenis transformator yang akan dibahas kali ini adalah transformator tiga fasa yang umumnya memiliki tegangan kerja yang tinggi dan biasanya berada pada gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan

transmisi (tegangan tinggi) menjadi tegangan distribusi (menengah).

Sesuai dengan namanya maka transformator tiga fasa bekerja pada tegangan yang memiliki tiga buah fasa. Sebuah 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. Sehingga sebuah transformator tiga fasa bisa dihubung bintang, segitiga, atau zig-zag.

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.

## II. DASAR TEORI

### A. Konstruksi transformator tiga fasa

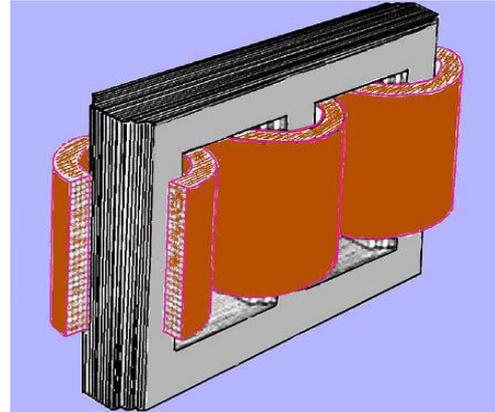
Secara umum sebuah transformator tiga fasa mempunyai konstruksi hampir sama, yang membedakannya adalah alat bantu dan sistem pengamanannya, tergantung pada letak pemasangan, sistem pendinginan, pengoperasian, fungsi dan pemakaiannya. Bagian utama, alat bantu, dan sistem pengaman yang ada pada sebuah transformator daya.



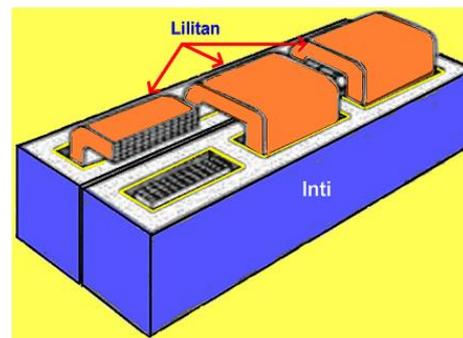
Gambar 1 bagian dalam transformator 3 fasa

#### 1. Inti Transformator

Seperti halnya pada transformator satu fasa inti besi berfungsi sebagai tempat mengalirnya fluks dari kumparan primer ke kumparan sekunder sehingga akan di dapatkan induksi medan magnet yang lebih kuat. Sama seperti transformator satu fasa, berdasarkan cara melilit kumparannya ada dua jenis, yaitu tipe inti dan tipe cangkang.

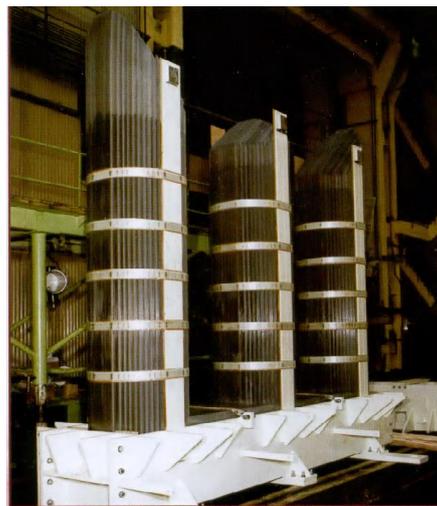


Gambar 2 Transformator Tipe Inti



Gambar 3 Transformator Tipe Cangkang

Inti transformator dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis dari bahan besi silikon ( *Grain Oriented Silicon Steel* ) yang berisolasi, yang tujuannya adalah untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh **Eddy Current**.



Gambar 4 Inti Besi dan Laminasi yang diikat Fiber Glass

## 2. Kumparan Transformator

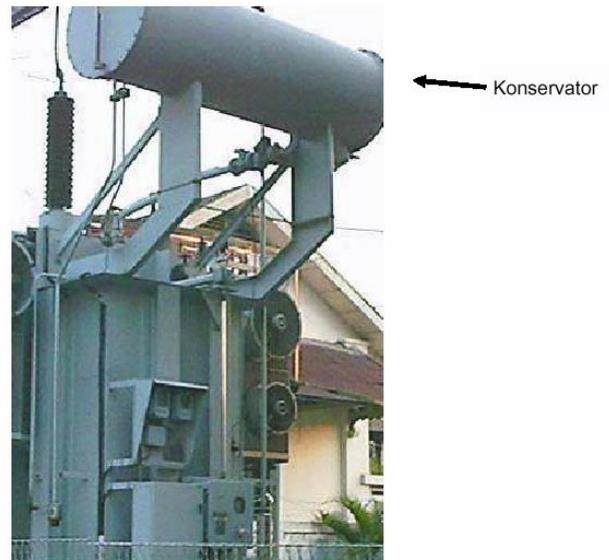
Kumparan transformator terdiri dari lilitan kawat berisolasi dan membentuk kumparan. Kawat yang dipakai adalah kawat tembaga berisolasi yang berbentuk bulat atau plat. Kumparan-kumparan transformator diberi isolasi baik terhadap kumparan lain maupun inti besinya. Bahan isolasi berbentuk padat seperti kertas prespan, pertinak, dan lain-nya.

## 3. Minyak Transformator

Sebagian besar transformator tenaga kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak-transformator, terutama transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak transformator mempunyai sifat sebagai media pemindah panas (disirkulasi) dan bersifat pula sebagai isolasi (daya tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

Untuk mendinginkan transformator saat beroperasi maka kumparan dan inti transformator direndam di dalam minyak transformator, minyak juga berfungsi sebagai isolasi. Oleh karena itu minyak transformator harus memenuhi persyaratan, sebagai berikut :

- Mempunyai kekuatan isolasi (*Dielectric Strength*);
- Penyalur panas yang baik dengan berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel kecil dapat mengendap dengan cepat;
- Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik;
- Tidak nyala yang tinggi, tidak mudah menguap, sifat kimia yang stabil.



Gambar 5. Konservator Transformator Daya

## III. HUBUNGAN PADA TRANSFORMATOR TIGA FASA

Pada prinsipnya adalah metode atau cara merangkai kumparan di sisi primer dan sekunder. Umumnya dikenal 3 cara untuk merangkai kumparan pada transformator tiga fasa, yaitu hubungan bintang, hubungan delta, dan hubungan zig zag.

### 1. Transformator 3 fasa 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 jumlah dari lilitan perfasa dan jumlah isolasi minimum karena tegangan fasa  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  tegangan jala-jala (Line), juga tidak ada perubahan fasa antara tegangan primer dengan sekunder. Bila beban pada sisi sekunder dari transformator tidak seimbang, maka tegangan fasa dari sisi beban akan berubah kecuali titik bintang dibumikan.

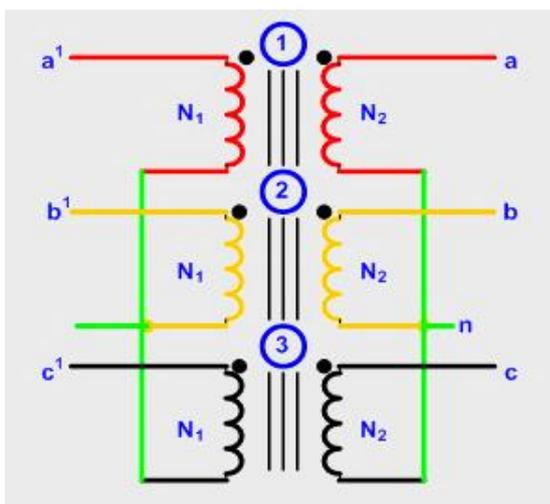
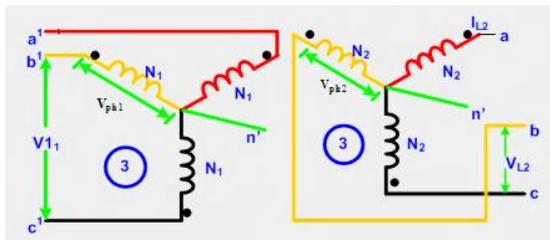
Perhitungan pada hubung bintang bintang.

Sisi Primer :

$$V_{ph1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_{L1} = I_{ph1}$$

Sekunder :

$$V_{ph2} = \frac{V_{L2}}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_{L2} = I_{ph2} ; K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$



Gambar 6 Transformator Hubungan Bintang Bintang

## 2. Transformator 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.

Perhitungan pada hubungan segitiga-segitiga.

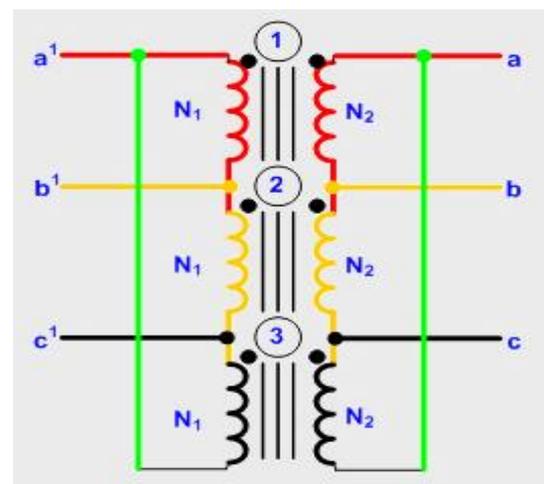
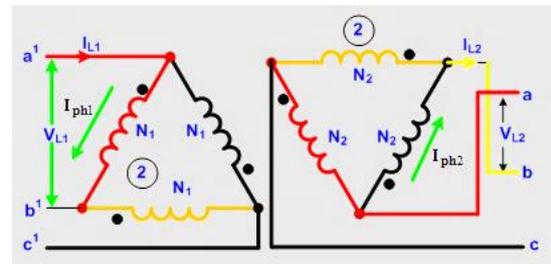
Sisi Primer :

$$V_{L1} = V_{ph1} \text{ dan } I_{L1} = \sqrt{3} I_{ph1}$$

Sisi Sekunder :

$$V_{L2} = V_{ph2} \text{ dan } I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2}$$

$$K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$



Gambar 7 Transformator Hubungan Segitiga Segitiga

## 3. Transformator Hubung Bintang Segitiga ( $Y - \Delta$ )

Pada hubung ini, kumparan pada sisi primer di rangkai secara bintang (weye) dan sisi sekundernya di rangkai segitiga. Umumnya digunakan pada transformator untuk jaringan transmisi dimana tegangan nantinya akan diturunkan (Step- Down).

Pada hubungan ini, perbandingan tegangan jala-jala  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder tertinggal  $30^\circ$  dari tegangan primer.

Perhitungan pada hubungan bintang segitiga.

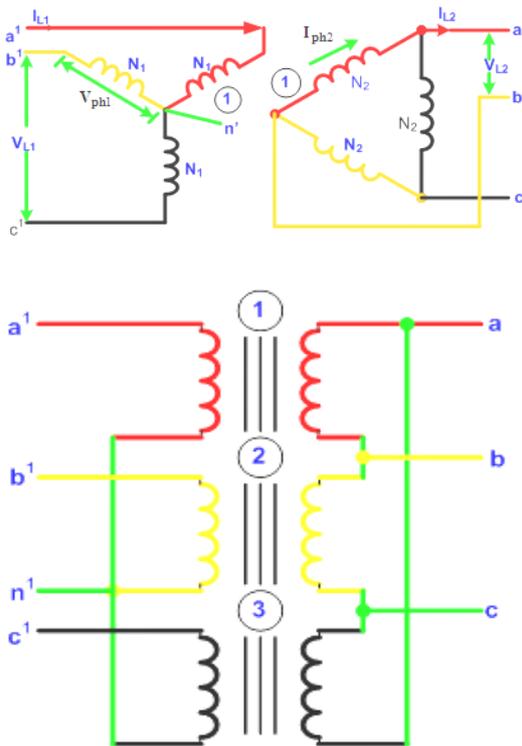
Sisi Primer :

$$V_{ph1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_{L1} = I_{ph1}$$

Sisi Sekunder :

$$V_{L2} = V_{ph2} \text{ dan } I_{L2} = \sqrt{3} I_{ph2}$$

$$K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$



Gambar 8 Transformator Hubungan Bintang Segitiga

#### 4. Transformator Hubungan Segitiga Bintang ( $\Delta - Y$ )

Pada hubung ini, sisi primer transformator dirangkai secara segitiga 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  $\sqrt{3}$  kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder mendahului sebesar  $30^\circ$ .

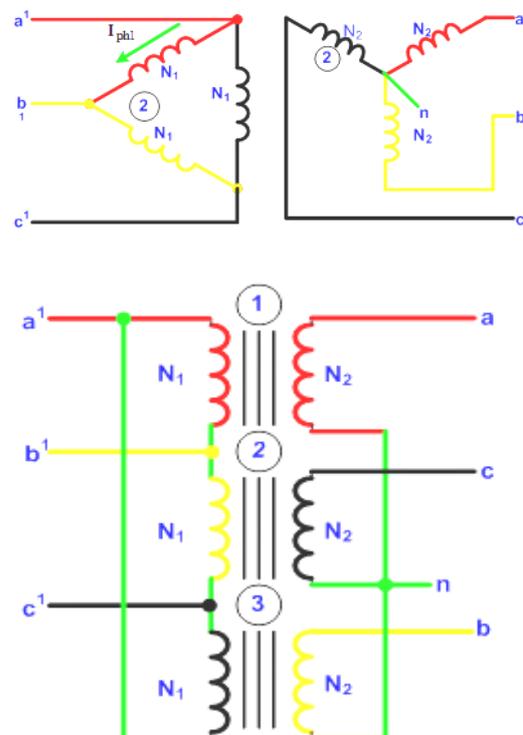
Perhitungan pada hubungan segitiga bintang.

Sisi Primer :

$$V_{L1} = V_{ph1} \text{ dan } I_{L1} = \sqrt{3} I_{ph1}$$

Sisi Sekunder :

$$V_{ph2} = \frac{V_{L2}}{\sqrt{3}} \text{ dan } I_{L2} = I_{ph2} ; K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$



Gambar 9 Transformator Hubungan Segitiga Bintang

## 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 Zig-zag. Dalam hubungan Zig-zag sisi sekunder terdiri atas enam kumparan yang dihubungkan secara khusus.

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 :

$$e_{z1} = e_1 - e_2$$

$$e_{z2} = e_2 - e_3$$

$$e_{z3} = e_3 - e_1$$

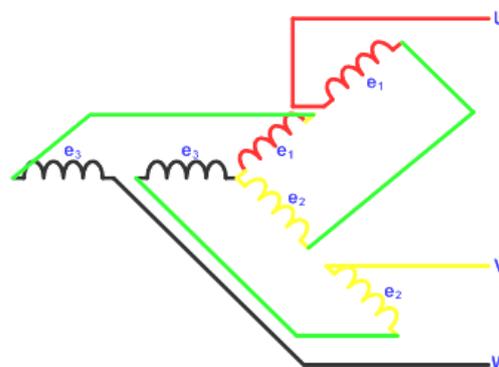
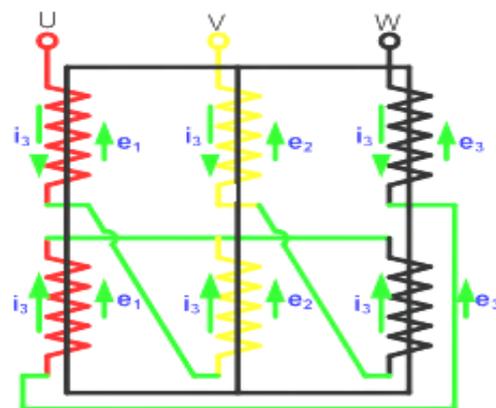
$$e_{z1} + e_{z2} + e_{z3} = 0 = 3e_b$$

Tegangan titik bintang  $e_b = 0$

$$e_1 = \frac{e}{2}, \text{ nilai tegangan fasa } e_z = \frac{e}{2}\sqrt{3}$$

Sedangkan tegangan jala jala :

$$E_z = e_z\sqrt{3} = 3\frac{e}{2}$$



Gambar 10 Transformator Hubungan Zig Zag

## 6. Transformator Tiga Fasa dengan Dua Kumparan

Selain hubungan transformator seperti telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, ada transformator tiga fasa dengan dua kumparan. Tiga jenis hubungan yang umum digunakan adalah :

- V - V atau " Open  $\Delta$  "
- " Open Y - Open  $\Delta$  "
- Hubungan T - T

### Hubungan Open Delta

Ini dimungkinkan untuk mentransformasi sistem tegangan 3 fasa hanya menggunakan 2 buah transformator yang terhubung secara open delta. Hubungan open delta identik dengan hubungan delta delta tetapi salah satu transformator tidak

dipasang. Hubungan ini jarang digunakan karena load capacity nya hanya 86.6 % dari kapasitas terpasangnya .

Sebagai contoh : Jika dua buah transformator 50 kVA dihubungkan secara open delta, maka kapasitas terpasang yang seharusnya adalah  $2 \times 50 = 100$  kVA. Namun, kenyatannya hanya dapat menghasilkan 86.6 kVA, sebelum akhirnya transformator mengalami overheat. Hubungan open delta umumnya digunakan dalam situasi yang darurat.

Perhitungan pada Transformator Hubung Open Delta

- Daya S saat dihubung delta ( $\Delta$ )

$$= \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \quad \text{dan} \quad I_{ph2} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$$

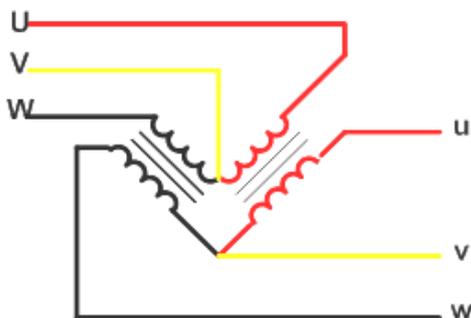
menjadi arus jala jala

- Daya S saat dihubung V – V

$$= \sqrt{3} \cdot V_L \left( \frac{I_L}{\sqrt{3}} \right) = V_L \cdot I_L$$

- Perbandingan daya S saat dihubung ( $\Delta$ ) dengan V – V adalah

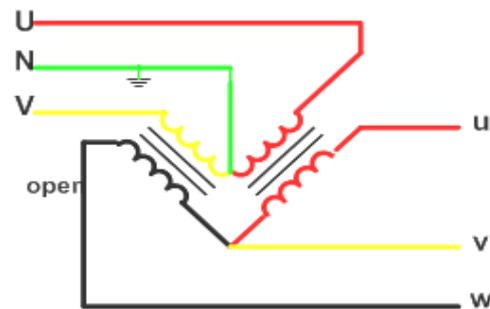
$$\frac{S \text{ saat V-V}}{S \text{ saat } \Delta} = \frac{V_L \cdot I_L}{\sqrt{3} V_L \cdot I_L} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 100\% = 57,7\%$$



Gambar 11 Transformator Hubungan open Delta atau V – V

Kekurangan Hubungan ini adalah :

- Faktor daya rata-rata, pada V - V beroperasi lebih kecil dari P.f beban, kira kira 86,6% dari faktor daya beban seimbang.
- Tegangan terminal sekunder cenderung tidak seimbang, apalagi saat beban bertambah.



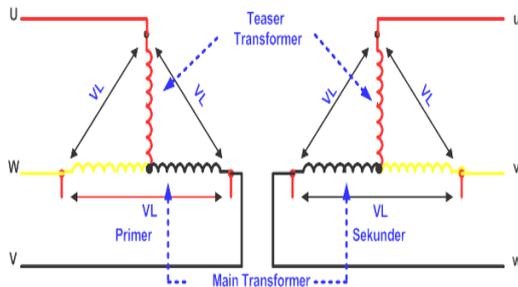
Gambar 12 Transformator hubungan Open Y open  $\Delta$

Hubungan **Open Y - Open  $\Delta$**  diperlihatkan pada Gambar 12, ada perbedaan dari hubungan V - V karena penghantar titik tengah pada sisi primer dihubungkan ke netral (ground). Hubungan ini bisa digunakan pada transformator distribusi.

### Hubungan Scott atau T - T

Hubungan ini merupakan transformasi tiga fasa ke tiga fasa dengan bantuan dua buah transformator (Kumparan). Satu dari transformator mempunyai " Centre Taps " pada sisi primer dan sekundernya dan disebut "**Main Transformer**". Transformator yang lainnya mempunyai "0,866 Tap " dan disebut "**Teaser Transformer**". Salah satu ujung dari sisi primer dan sekunder "teaser Transformer" disatukan ke "Centre Taps" dari " main transformer ". " Teaser Transformer" beroperasi hanya 0,866 dari kemampuan tegangannya dan kumparan " main

transformer “ beroperasi pada  $\cos 30^\circ = 0,866$  p.f, yang ekuivalen dengan “ main transformer “ bekerja pada 86,6 % dari kemampuan daya semunya.



Gambar 13 Hubungan Scott atau T-T

#### IV. KESIMPULAN

Transformator 3 fasa banyak di aplikasikan untuk menangani listrik

dengan daya yang besar. Terdapat berbagai macam hubungan pada transformator tiga fasa yang dalam penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan dan rating tegangan yang akan di pikulnya. Salah satu hubungan pada transformator tiga fasa yang sering di pakai adalah Hubungan Segitiga Bintang dan Bintang Segitiga, kedua jenis hubungan ini biasanya dipakai dalam sistem tenaga listrik khususnya pada bagian transmisi listrik untuk menaikkan tegangan ( $\Delta$ - $Y$ ) dan menurunkan tegangan ( $Y$  -  $\Delta$  ). Untuk suatu keadaan darurat, transformator hubung delta dapat dibuat menjadi open delta namun dengan kapasitas hanya 86.6 % dari kapasitas terpasangnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Abdul Kadir, *Transformator*, PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1989.
2. Arismunandar, *Teknik Tenaga Listrik*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
3. Berahim, Hamzah, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1991
4. Fitzgerald, A.E.c.s., *Mesin-Mesin Listrik*, Terjemahan, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
5. Perusahaan Umum Listrik Negara, *S.P.L.N*, PT. PLN (Persero), 2000.
6. Theraja, B.L, *A Text Book of Electrical Tecnology*, Nirja, New Delhi, 1988.

\*) Ali Supriyadi adalah pejabat fungsional Widyaiswara