MERANGKAI TRANSFORMATOR HUBUNGAN SEGITIGA-SEGITIGA DAN BINTANG-BINTANG PADA JAM GENAP

Oleh : Sugijono
Staf Pengajar JurusanTeknikElektroPoliteknik Negeri Semarang
Jl,Prof.Sudarto, SH, Tembalang, Semarang 50275
sugipoli@gmail.com

Abstrak

Pada dasarnya transformator 3 fasa terdiri dari 3 buah transformator 1 fasa yang dirangkai dengan belitan primer dalam hubungan segitiga atau bintang dan belitan sekunder juga dalam hubungan segitiga atau bintang. Polaritas magnetik belitan primer maupun sekunder dari tiap transformator 1 fasa tersebut harus diketahui sebelum dirangkai menjadi transformator 3 fasa. Transformator dalam hubungan segitiga-segitiga dan bintang-bintang hanya berlaku untuk jam-jam genap. Beda fasa antara vektor tegangan primer dan sekunder membentuk sudut 30° per jam. Persamaan jam vektor tegangan adalah sama baik untuk transformator hubungan segitiga-segitiga maupun bintang-bintang pada jam yang sama. Gambar vektor tegangan dibuat dengan meminjam jarum menit yang menunjuk angka 12 untuk mewakili belitan primer tegangan tinggi dan jarum jam yang menunjuk bilangan genap untuk mewakili belitan sekunder tegangan rendah. Gambar rangkaian transformator 3 fasa dibuat mengikuti gambar vektor tegangan.

Kata kunci : *transformator, hubungan segitiga dan bintang, jam genap.*

I. Pendahuluan

Hubungan kumparan transformator 3 fasa bergantung pada kebutuhan atau permintaan yang dikehendaki oleh unit dari sistem suplai energi listrik. Untuk penyaluran (*transmission*) energi listrik antar gardu induk diperlukan hubungan kumparan transformator dalam segitiga-segitiga, karena tidak membutuhkan kawat netral. Sementara untuk distribusi (*distribution*) energi listrik ke konsumen membutuhkan kawat netral, sehingga diperlukan hubungan kumparan transformator dalam bintang-bintang. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana merangkai transformator 3 fasa dalam hubungan segitiga-segitiga ataupun bintang-bintang. Beda sudut fasa antara sisi primer dan sekunder dinyatakan dalam kelipatan 30° per jam. Bila dua buah transformator dikehendaki memiliki sudut beda fasa yang sama yaitu misal 180° atau 6x30°, maka bagaimana merangkai transformator 3 fasa tersebut pada jam 6 baik dalam hubungan segitiga-segitiga ataupun bintang-bintang.

II. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan ke taraf yang lain dengan maksud menurunkan tegangan bolak-balik (Alternating Current/AC) dari 220 V ke 12 V ataupun menaikkan tegangan dari 110 V ke 220 V. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnet arus bolak-balik. Transformator memegang peranan yang sangat penting dalam distribusi tenaga listrik. Transformator menaikkan tegangan listrik yang berasal dari pembangkit listrik PLN hingga ratusan kilo Volt (kV) untuk didistribusikan, dan kemudian transformator lainnya menurunkan tegangan listrik tersebut ke tegangan yang diperlukan oleh setiap rumah tangga maupun perkantoran yang pada umumnya menggunakan tegangan 220/380 Volt. Terdapat beberapa cara untuk menghubungkan transformator pada jaringan tenaga listrik sistem 3 fasa, yaitu hubungan segitiga-segitiga, bintang-

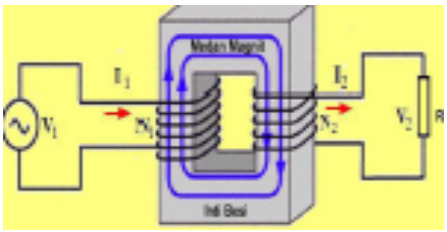
bintang, segitiga-bintang, bintang-segitiga, segitiga terbuka (open delta) dan zig-zag.

2.1. Prinsip Kerja Transformator

Sebuah transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat yang berisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kebanyakan transformator memiliki kumparan kawat berisolasi yang dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan inti besi (core). Gambar 2.1. memperlihatkan bentuk dari 3 buah transformator 1 fasa.

Gambar 2.1. Bentuk Transformator

Ketika kumparan primer dialiri arus listrik bolak balik, maka akan menimbulkan medan magnet atau fluksi magnetik disekitar kumparan itu. Kekuatan medan magnet tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang mengalir. Semakin besar arus listrik maka semakin besar pula medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) menginduksikan Gaya Gerak Listrik (GGL) dalam kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian, terjadilah pengubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi tegangan lebih rendah. Sedangkan inti besi pada transformator pada umumnya terdiri dari kumpulan lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi dan ditempel berlapis-lapis dengan kegunaan untuk mempermudah jalannya fluksi magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik pada kumparan. Gambar 2.2. memperlihatkan fluksi yang dibangkitkan pada transformator.

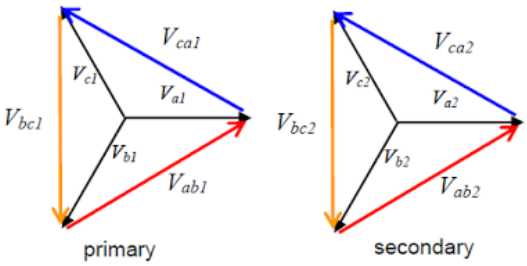


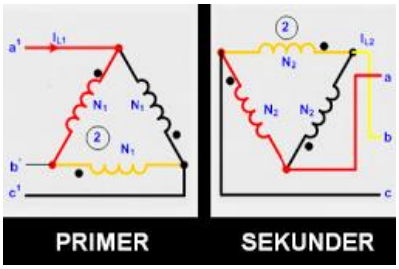
Gambar 2.2. Fluksi pada Transformator

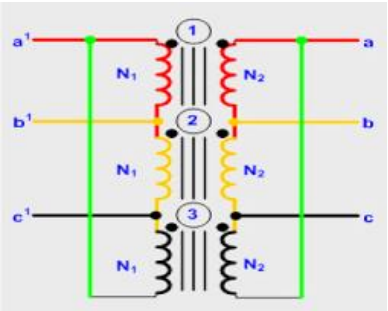
Transformator 3 fasa pada dasarnya merupakan 3 buah transformator 1 fasa yang disusun menjadi sebuah transformator yang mempunyai 2 belitan, yaitu belitan primer dan sekunder. Ada dua metode utama untuk menghubungkan belitan primer yaitu hubungan segitiga (*delta*) dan bintang (*star*). Sedangkan pada belitan sekundernya dapat dihubungkan secara segitiga, bintang dan zig-zag.

2.2. Transformator Hubungan Segitiga - Segitiga (Δ -Δ)

Transformator 3 fasa dengan belitan pada sisi primer dan sekunder terhubung secara segitiga (Delta/Δ) diperlihatkan pada Gambar 2.3.







Gambar 2.3. Transformator Hubungan Segitiga-Segitiga

Transformator hubungan Delta-Delta (Δ-Δ) pada Gambar 2.3. memperlihatkan bahwa tegangan pada sisi sekunder mengalami pergeseran fasa 0° terhadap tegangan pada sisi primer. Tidak ada titik netral pada kedua sisi primer maupun sekunder, sehingga jenis transformator ini digunakan untuk transmisi. Hubungan delta dapat meminimalkan pembebanan yang tidak seimbang.

2.2.1. Keuntungan transformator hubungan Δ-Δ :

Tidak menimbulkan masalah serius pada saat melayani beban tidak seimbang. Tidak ada masalah dengan gangguan harmonisa ke 3 pada tegangan. Tidak ada perbedaan fasa antara sisi primer dan sekunder.
Bila menggunakan bank transformator yang terdiri dari 3 buah belitan terpisah yang dihubungkan secara delta, maka apabila salah satu belitan bermasalah, transformator masih dapat dioperasikan dengan dua belitan (Open Delta) dengan penurunan kapasitas menjadi sebesar 58%.

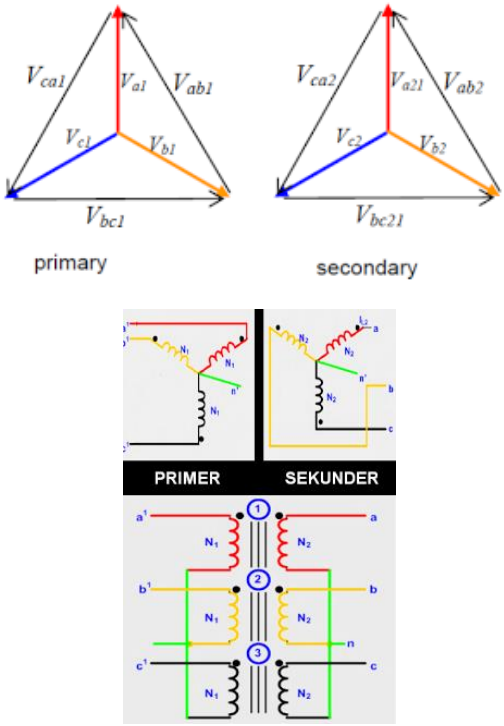
2.2.2. Kerugian transformator hubungan Δ-Δ :

Insulation tegangan yang digunakan pada sisi primer dan sekunder harus lebih dari tegangan line.

Tidak tersedia titik netral pada kedua sisi transformator.

2.3. Transformator Hubungan Bintang - Bintang (Y-Y)

Transformator 3 fasa dengan belitan pada sisi primer dan sekunder terhubung secara bintang (Star/Wye/Y) diperlihatkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Transformator Hubungan Bintang-Bintang

Transformator hubungan Bintang-Bintang (Y-Y) pada Gambar 2.4. memperlihatkan bahwa tegangan pada sisi sekunder mengalami pergeseran fasa 0° terhadap tegangan pada sisi primer. Terdapat titik netral pada kedua sisi primer maupun sekunder, sehingga jenis transformator ini digunakan untuk distribusi.

2.3.1. Keuntungan transformator hubungan Y-Y:

Titik netral tersedia pada kedua sisi, baik primer dan sekunder dan bisa digunakan bila diperlukan. Isolasi yang

diperlukan pada belitan hanya 58% dari tegangan line.

2.3.2. Kelemahan transformator hubungan Y-Y :

Apabila beban yang disuplai tidak seimbang, akan terasa jelas pada tegangan 3 fasa. Harmonisa ke 3 pada tegangan sangat besar.

2.4. Rangkaian Transformator 3 Fasa dan Jam Vektor

Transformator 3 fasa pada dasarnya merupakan 3 buah transformator 1 fasa yang dirangkai menjadi sebuah transformator yang mempunyai 2 belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Ada dua metode utama untuk menghubungkan belitan primer yaitu hubungan segitiga dan bintang (delta dan wye). Sedangkan pada belitan sekundernya dapat dihubungkan secara segitiga, bintang dan zig-zag (Delta, Wye dan Zig-zag). Vektor tegangan primer dan sekunder dari sebuah transformator sangat tergantung pada cara penyambungan kumparan pada transformator 3 fasa. Pada transformator 3 fasa arah tegangan menimbulkan perbedaan fasa. Arah dan besar perbedaan fasa tersebut menyebabkan adanya berbagai kelompok hubungan pada transformator. Untuk penentuan kelompok hubungan ini dipergunakan 3 jenis tanda atau kode, yaitu :

1. Tanda sisi tegangan tinggi yaitu huruf besar A, B, dan C.
2. Tanda sisi tegangan rendah yaitu huruf kecil a, b , dan c.
3. Transformator dengan vektor grup Yd1 berarti bahwa belitan primer dirangkai Wye (Y), sedangkan belitan sekunder dirangkai delta (Δ), dan angka 1 menunjukkan bahwa arus pada kumparan primer dan kumparan sekunder berbeda sudut 30° Sedangkan transformator dengan vektor grup Yd5 berarti bahwa arus pada kedua belitan berbeda sudut 150 ^{o} (= 5 x 30°).

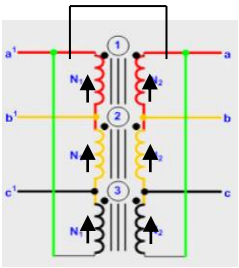
Vektor grup transformator dinyatakan dalam bilangan jam yang searah putaran jam (*clockwise*). Tiap satu bilangan jam mewakili beda sudut 30°. Vektor grup menentukan pergeseran sudut arus pada belitan primer dan sekunder.

Dalam menentukan angka jam dari transformator 3 fasa terdapat 5 macam metode yaitu :

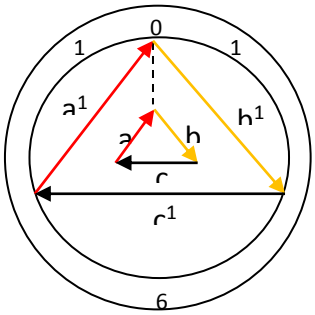
1. Analisa arus dari gambar rangkaian transformator 3 fasa.
2. Membaca tabel pengukuran dari data sheet transformator (buku TERCO)
3. Perhitungan kombinasi GGL *High Voltage* (HV) & *Low Voltage* (LV)
4. Pengukuran menggunakan Osciloscope
5. Tabel Kebenaran DC

Metode analisa arus transformator 3 fasa dalam hubungan Dd0 seperti diperlihatkan pada Gambar 2.5.

1. Menghubungkan terminal R-r sebagai referensi
2. Menentukan arah GGL pada setiap lilitan HV dan LV
3. Menggambar vektor sisi primer
4. Menggambar vektor sisi sekunder sesuai dengan hubungan terminal



Dd0



Gambar 2.5. Analisis Arus Transformator 3 Fasa

Metode membaca tabel pengukuran dari *data sheet* transformator (buku TERCO) seperti dimuat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1.Persamaan Hubungan Tegangan Jam Transformator

KELOMPOK JAM	HUBUNGAN TEGANGAN
1	$Cc < Bc > Cb = Cc < AB$
2	$Cc < Bc > Cb < Cc < AB$
3	$Cc < Bc > Cb < Cc \geq AB$
4	$Cc < Bc > Cb < Cc > AB$
5	$Cc = Bc > Cb < Cc > AB$
6	$Cc > Bc = Cb < Cc > AB$
7	$Cc > Bc < Cb = Cc > AB$
8	$Cc > Bc < Cb > Cc \geq AB$
9	$Cc > Bc < Cb > Cc < AB$
10	$Cc > Bc < Cb > Cc < AB$
11	$Cc = Bc < Cb > Cc < AB$
12	$Cc < Bc = Cb > Cc < AB$

III. PEMBAHASAN

3.1. Syarat Merangkai Transformator 3 Fasa

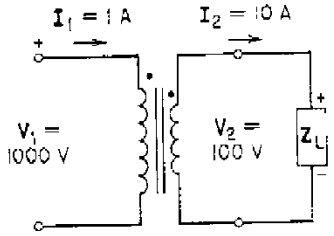
Ada 4 syarat yang perlu dipenuhi dalam merangkai transformator 3 fasa, yaitu perbandingan tegangan harus sama, mengetahui polaritas transformator, impedansi sama, dan perbandingan reaktansi sama.

a. Perbandingan tegangan harus sama

Perbandingan tegangan harus sama., karena jika tidak sama, maka tegangan induksi pada kumparan sekunder masing-masing transformator tidak sama. Perbedaan ini menyebabkan terjadinya arus pusar pada kumparan sekunder ketika transformator dibebani. Arus ini menimbulkan panas pada kumparan sekunder.

b. Mengetahui polaritas transformator

Gambar 3.1 memperlihatkan simbol dari sebuah transformator 1 kVA satu fasa dua belitan terpisah.



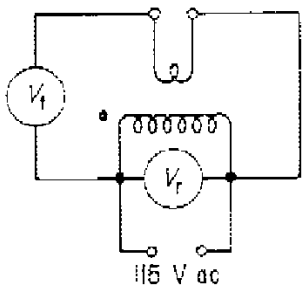
Gambar 3.1. Simbol transformator 1 kVA satu fasa dua belitan terpisah

Belitan primer (N1) adalah sisi tegangan tinggi (TT) dan belitan sekunder (N2) adalah sisi tegangan rendah (TR). Jumlah belitan primer lebih banyak dari pada belitan sekunder. Ujung belitan TT diberi nama dengan huruf besar H dan ujung belitan TR diberi nama dengan huruf kecil x. Terlihat bahwa polaritas diberi nama dengan angka subskrip. Angka gasal menyatakan polaritas positip, dan ditandai dengan titik (dot) yang berarti bahwa Gaya Gerak Listrik induksi pada belitan itu tinggi atau positip. Arah melilit belitan pada inti transformator menentukan letak tanda titik (dot) atau polaritas positip itu. Belitan H1-H2 dililit dengan arah yang menentukan letak titik (dot) berada di ujung belitan sebelah kiri. Belitan x1-x2 dililit sehingga letak titik (dot) berada di ujung belitan sebelah kanan.

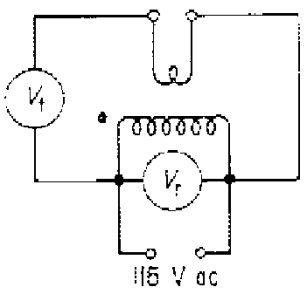
Polaritas belitan transformator dapat dicari dengan pengujian atau pengukuran menggunakan sebuah voltmeter AC dan sumber tegangan AC yang besarnya di bawah atau sama dengan tegangan nominal dari transformator tersebut.

Langkah pengujian polaritas itu adalah sebagai berikut :

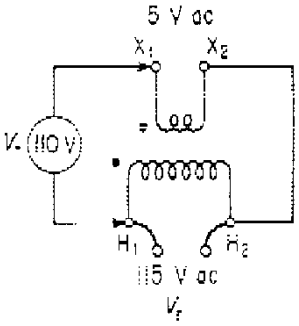
1. Lihat Gambar 3.2. Tentukan belitan TT dan gunakan sebagai belitan referensi.
2. Hubungkan salah satu ujung belitan referensi itu dengan salah satu ujung belitan yang diuji polaritasnya.
3. Tandai ujung lain dari belitan referensi dengan titik (dot) sebagai polaritas positip.
4. Hubungkan voltmeter dengan ujung belitan referensi bertanda titik (dot) dengan ujung lain dari belitan yang diuji polaritasnya (= Vt).
5. Berikan tegangan di bawah atau sama dengan nominal pada belitan referensi (= Vr)
6. Catat tegangan pada belitan referensi (=Vr) dan tegangan uji pada voltmeter (Vt) dari langkah 4.
7. Jika tegangan uji (Vt) lebih besar dari pada tegangan referensi (Vr),maka polaritasnya adalah menjumlah /aditif, dan letak titik (dot) dari belitan yang diuji adalah berseberangan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.3.
8. Jika tegangan uji (Vt) lebih kecil dari pada tegangan referensi (Vr), maka polaritasnya adalah mengurangi /subtraktif, dan letak titik (dot) dari belitan yang diuji adalah berhadapan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.2 Uji Polaritas Belitan Transformator



Gambar 3.3 Uji Polaritas Belitan Transformator [Polaritas Aditif (Vt>Vr)]



Gambar 3.4. Uji Polaritas Belitan Transformator [Polaritas Subtraktif (Vt<Vr)]

c. Impedansi sama

Sifat terpenting dari pembebanan yang seimbang adalah jumlah fasor dari ke3 tegangan adalah sama dengan nol, begitupula dengan jumlah fasor dari arus pada ke3 fase juga sama dengan nol. Jika impedansi beban dari ke3 fasa tidak sama, maka jumlah fasor dan arus netralnya (In) tidak sama dengan nol dan beban dikatakan tidak seimbang. Ketidakseimbangan beban ini dapat saja terjadi karena hubung singkat atau hubung terbuka pada beban.

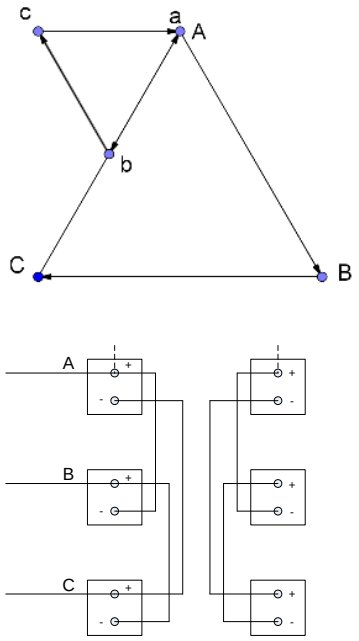
d. Perbandingan reaktansi sama

Apabila perbandingan tahanan dan reaktansi sama, maka kedua transformator tersebut bekerja pada faktor daya yang sama.

3.2. Gambar Vektor dan Rangkaian Transformator Hubungan Segitiga - Segitiga (Δ-Δ)

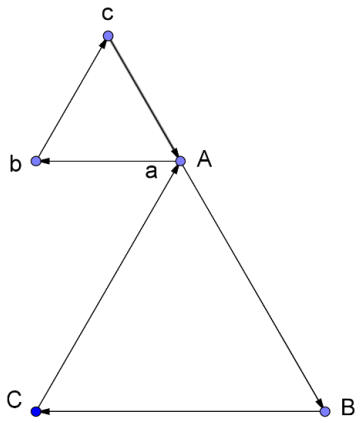
A. Dd2

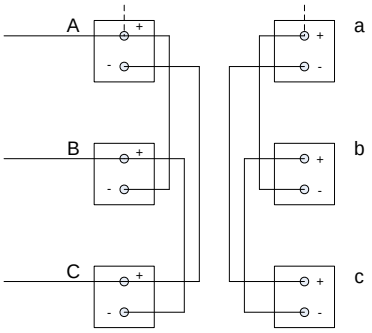
Cc<Bc>Cb<Cc<AB



B. Dd4

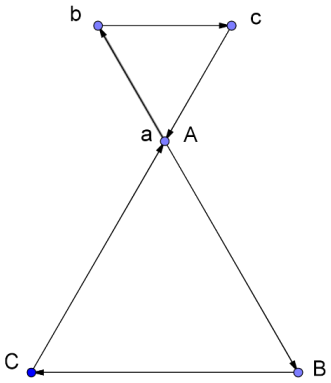
Cc<Bc>Cb<Cc>AB

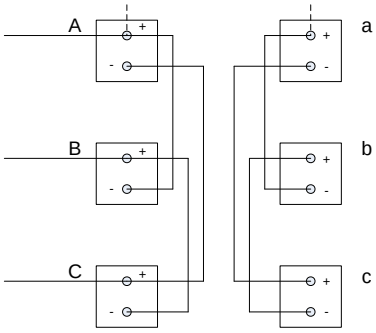




C. Dd6

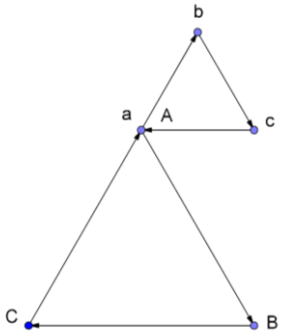
Cc>Bc=Cb<Cc>AB

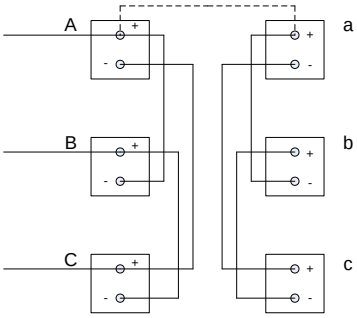




D. Dd8

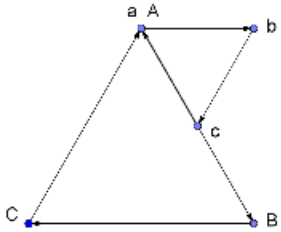
Cc>Bc<Cb>Cc≥AB

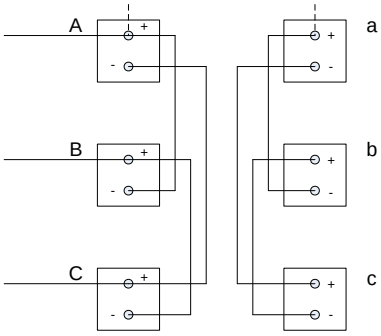




E. Dd10

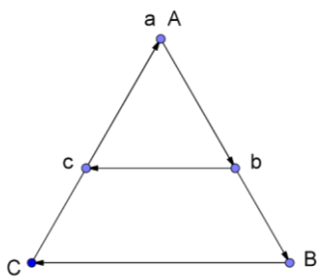
Cc>Bc<Cb>Cc<AB

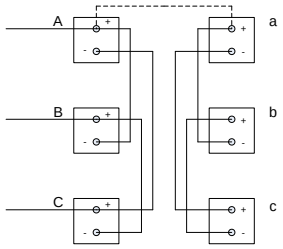




F. Dd12

Cc<Bc=Cb>Cc<AB

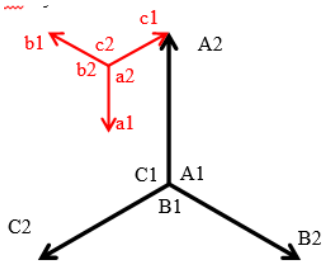


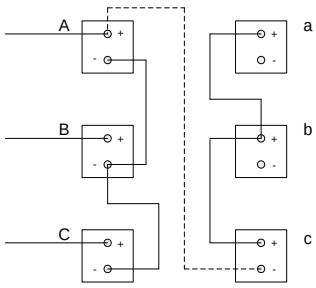


3.3. Gambar Vektor dan Rangkaian Transformator Hubungan Bintang - Bintang (Y-Y)

a) Yy2

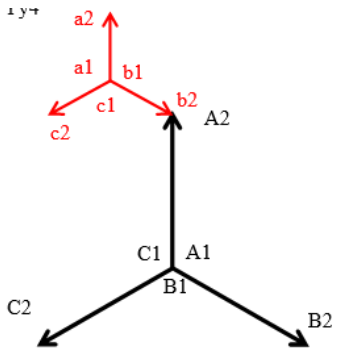
Cc<Bc>Cb<Cc<AB

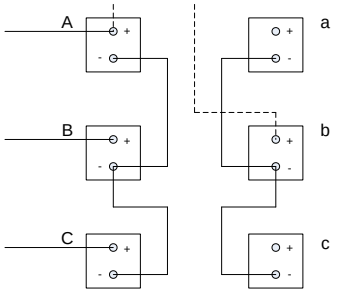




b) Yy4

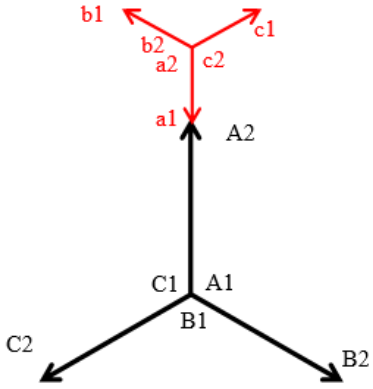
Cc<Bc>Cb<Cc>AB

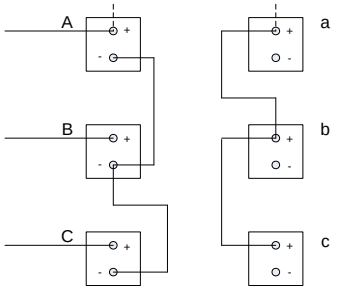




c) Yy6

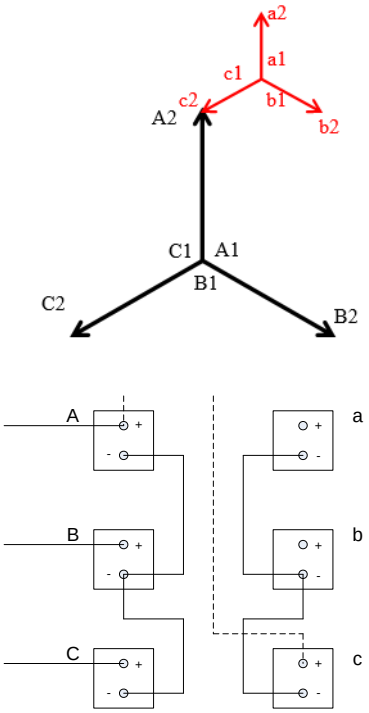
Cc>Bc=Cb<Cc>AB

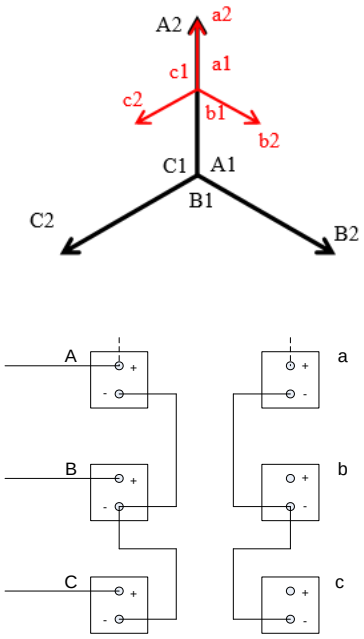




d) Yy8

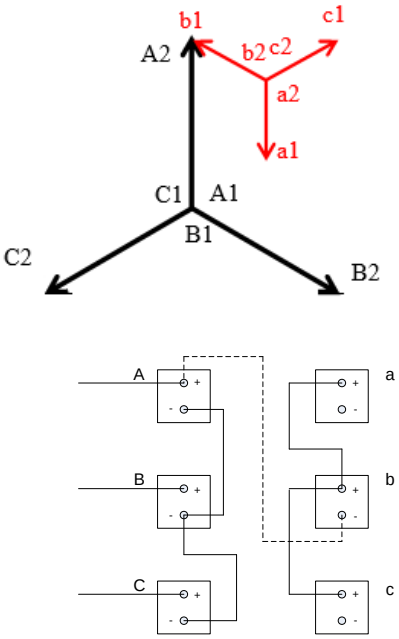
Cc>Bc<Cb>Cc≥AB





e) Yy10

Cc>Bc<Cb>Cc<AB



f) Yy12

Cc<Bc=Cb>Cc<AB

IV. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

1. Transformator 3 fasa dapat dirangkai dari 3 buah transformator 1 fasa dengan belitan primer dan sekunder yang dihubungkan segitiga-segitiga (delta-delta/Δ-Δ) maupun hubungan bintang-bintang (star-star/Y-Y).
2. Polaritas magnetik belitan primer maupun sekunder dari tiap transformator 1 fasa harus diketahui terlebih dahulu sebelum dirangkai menjadi transformator 3 fasa.
3. Beda sudut fasa antara vektor tegangan primer dan sekunder adalah 30° per jam.
4. Transformator hubungan segitiga-segitiga maupun hubungan bintang-bintang hanya berlaku untuk jam-jam genap.
5. Persamaan jam vektor tegangan adalah sama untuk baik transformator hubungan segitiga-segitiga maupun hubungan bintang-bintang pada jam yang sama.

4.2. Saran

1. Dalam menggambar vektor tegangan sebaiknya menggunakan mistar, jangka dan busur derajad agar panjang garis vektor-vektor sama dan besar sudut beda fasa antar fasa-fasa simetris, sehingga tidak mempengaruhi persamaan jam vektor tegangan.
2. Dalam mengambar vektor tegangan disarankan untuk meminjam jarum menit yang selalu menunjuk angka 12 untuk mewakili tegangan tinggi primer, dan jarum jam yang menunjuk bilangan genap untuk mewakili tegangan rendah sekunder.
3. Dalam menggambar diagram rangkaian pengawatan transformator 3 fasa agar selalu mengikuti gambar vektor tegangan.

DAFTAR PUSTAKA

J. Nagrath, DP. Kothari, 1989, *Electric Machines*, New Delhi, Tata Mc Graw Hill Publishing Co.Ltd.

Kosow, Irving L, 1991, *Electrical Machinery and Transformers*, New Jersey, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs.

Leonard R. Andersen, Jack Macneill, *Electric Machines and Transformers*, 1988, New Jersey, Prentice Hall Inc. Englewood Cliffs.

Prih Sumardjati, 2008, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*, Jakarta, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional.

Sugijono. 2000. *Paralel Transformator Satu Fasa*. Semarang: Politeknik Negeri Semarang.

Theraja BL, 1987, *Textbook Electrical Technology*, New Delhi, Ninja Construction and Development Co. Ltd. Ran Nagar.

http://zhagitoloh.blogspot.co.id/2009/12/transformator_11.html

http://direktorilistrik.blogspot.co.id/2012/12/hubungan-transformator-bintang-segitiga. html

http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/05/konfigurasi-hubungan-belitan.html

http://electric-mechanic.blogspot.co.id/2013/10/jenis-hubungan-pada-belitan.html

http://listrik-praktis.blogspot.co.id/2015/12/cara-memahami-pembacaan-vektor-group-jam-transformator.html