

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

¹ Sugijono

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

E-mail : ¹ 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 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 dengan hubungan segitiga-bintang (Delta-Wye) dan hubungan bintang-segitiga (Wye-Delta) hanya berlaku untuk jam- jam gasal. Beda fasa antara vektor tegangan primer dan sekunder adalah 30° per jam. Persamaan jam vektor tegangan adalah sama untuk baik transformator hubungan segitiga-bintang maupun hubungan bintang-segitiga pada jam yang sama. Gambar vektor tegangan meminjam jarum menit yang menunjuk angka 12 untuk mewakili tegangan tinggi primer dan jarum jam yang menunjuk angka selain 12 untuk mewakili tegangan rendah sekunder. Dalam menggambar rangkaian transformator 3 fasa selalu mengikuti gambar vektor tegangan.

Kata kunci : transformator, hubungan delta dan bintang, jam gasal.

Abstract

A three phase transformer basically consists of three single phase transformers with the primary winding connected in either delta or star, and the secondary winding also connected in either delta or star. The polarity of the magnetic flux in either primary or secondary winding of the single phase transformer has to be determined before connecting into a three phase transformer. The transformers with delta-star (Delta-Wye) and star-delta (Wye-Delta) connection only applied to odd clocks. The phase shift between vectors of primary and secondary voltages is 30° per hour. The equation of the clock voltage vector are the same for either the delta-star transformer or the star-delta transformer at the same clock. The drawing of the vector voltage uses minute needle which always points to figure 12 to represent the high voltage primary winding, and the hour needle which points to figures other than 12 to represent the low voltage secondary winding. In drawing the circuit of the three phase transformer should always follow the drawing of the voltage vector

Keywords : transformer, delta and star connection, odd clock.

I. PENDAHULUAN

Hubungan kumparan transformator 3 fasa bergantung pada kebutuhan atau permintaan yang dikehendaki oleh unit dari sistem suplai energi listrik. Untuk kebutuhan penyaluran energi listrik dari pembangkitan, maka dikehendaki hubungan transformator bintang-segitiga, karena untuk penyaluran (transmission) tidak membutuhkan kawat netral. Sementara untuk kebutuhan distribusi (distribution) energi listrik satu fasa ke konsumen membutuhkan kawat netral, sehingga dikehendaki hubungan transformator segitiga-bintang. Permasalahan yang muncul adalah bagaimana merangkai transformator 3 fasa dalam hubungan bintang-segitiga ataupun segitiga-bintang [1]. Beda sudut fasa antara sisi primer dan sekunder yang dinyatakan dalam kelipatan 30° per

jam bila dibutuhkan besaran yang sama antara transformator untuk transmisi dan distribusi, maka dapat dinyatakan dengan jam yang sama, misal untuk transmisi dipasang transformator bintang-segitiga jam 5, dengan demikian untuk distribusi dipasang transformator segitiga-bintang jam 5 juga [2]. Jadi kedua transformator itu memiliki sudut beda fasa yang sama yaitu $5 \times 30^\circ$ atau 150° . Permasalahan berikutnya adalah bagaimana merangkai transformator 3 fasa pada jam 5 itu.

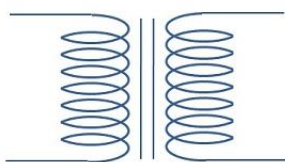
II. METODE PENELITIAN

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat mengubah taraf suatu tegangan AC ke taraf yang lain dengan maksud menurunkan tegangan bolak balik (AC) dari 220 VAC ke 12 VAC ataupun menaikkan tegangan dari 110 VAC ke

220 VAC. Transformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnet dan hanya dapat bekerja pada tegangan yang berarus bolak balik (AC). Transformator memegang peranan yang sangat penting dalam pendistribusian 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 AC 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*) [3]. Gambar 1 memperlihatkan simbol dari sebuah transformator.



Gambar 1. Simbol Transformator

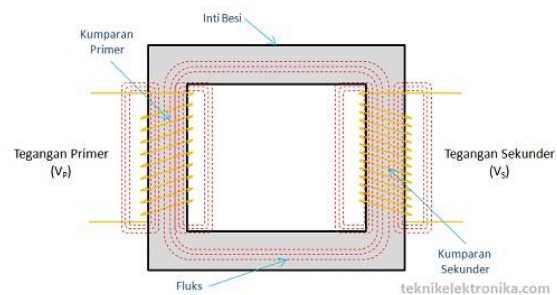
Gambar 2 memperlihatkan bentuk dari sebuah transformator.



Gambar 2. Bentuk Transformator

Ketika kumparan primer dialiri arus listrik bolak balik, maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks 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 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 fluks magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik pada kumparan. Gambar 3. memperlihatkan fluks yang dibangkitkan pada transformator.

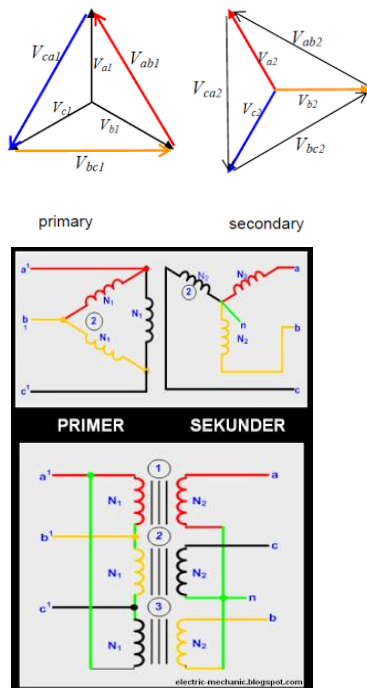


Gambar 3. Fluks pada Transformator

Besarnya rasio lilitan pada kumparan sekunder terhadap kumparan primer menentukan nilai rasio tegangan pada kedua kumparan tersebut. Sebagai contoh, 1 lilitan pada kumparan primer dan 10 lilitan pada kumparan sekunder akan menghasilkan tegangan 10 kali lipat dari tegangan input pada kumparan primer. Jenis transformator ini biasanya disebut sebagai transformator Step Up. Sebaliknya, jika terdapat 10 lilitan pada kumparan primer dan 1 lilitan pada kumparan sekunder, maka tegangan yang dihasilkan oleh kumparan sekunder adalah 1/10 dari tegangan input pada kumparan primer. Transformator jenis ini disebut sebagai transformator Step Down. Transformator 3 fasa pada dasarnya merupakan 3 buah transformator 1 fasa yang disusun menjadi sebuah transformator yang mempunyai 2 belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Ada dua metode utama untuk menghubungkan belitan primer yaitu hubungan segitiga (delta) dan bintang (wye). Sedangkan pada belitan sekundernya dapat dihubungkan secara segitiga, bintang dan zig-zag.

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

Hubungan transformator segitiga-bintang (Δ -Y) atau Delta-Wye, merupakan hubungan belitan transformator 3 fasa dengan belitan di sisi primer adalah segitiga (Delta- Δ) dan pada sisi sekunder adalah bintang (Wye-Y), seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

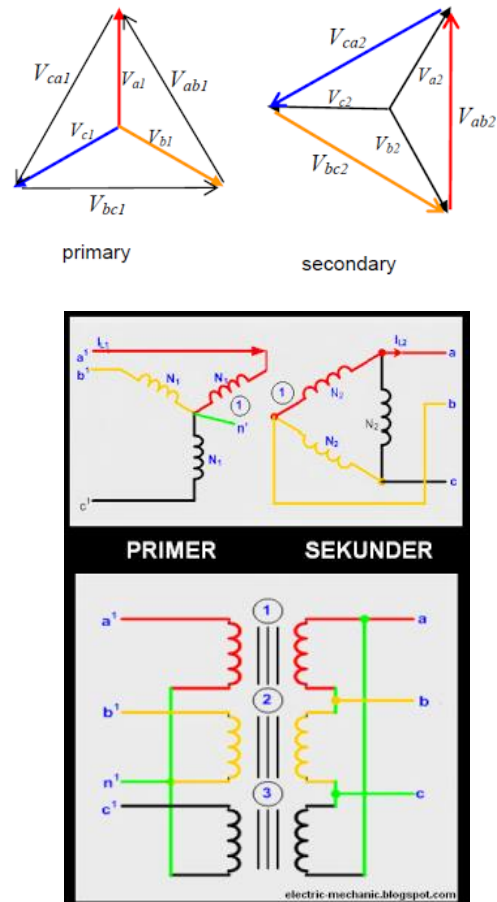


Gambar 4. Transformator Hubungan Segitiga-Bintang

Berdasarkan diagram fasor pada Gambar 4 terlihat bahwa transformator hubungan Delta-Wye (Δ -Y) ini tegangan pada sisi sekunder mengalami pergeseran fasa 30° mendahului (*lead*) terhadap tegangan pada sisi primer. Karakteristik transformator hubungan Delta-Wye (Δ -Y) adalah sama dengan transformator hubungan Wye-Delta (Y - Δ) [4]. Bila memperhatikan ketahanan isolasi, maka transformator hubungan Delta-Wye (Δ -Y) bisa digunakan sebagai transformator penaik tegangan (*step-up*), namun secara umum banyak digunakan pada aplikasi penurun tegangan (*step-down*). Dengan adanya titik netral pada sisi sekunder, maka transformator hubungan Delta-Wye (Δ -Y) banyak digunakan sebagai transformator distribusi, karena bisa menyuplai beban tiga fasa maupun satu fasa. Sedangkan hubungan delta di sisi primer dapat meminimalkan beban tidak seimbang yang sering dihadapi oleh setiap transformator distribusi.

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

Hubungan Transformator Bintang-Segitiga (Y - Δ), atau Wye-Delta, merupakan hubungan pada transformator 3 fasa dengan belitan disisi primer adalah bintang (Wye-Y) dan pada sisi sekunder adalah segitiga (Delta- Δ), seperti diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Transformator Hubungan Bintang-Segitiga

Dari diagram fasor pada Gambar 5 terlihat bahwa pada transformator 3 phasa hubungan Wye-Delta (Y - Δ) tegangan pada sisi sekunder mengalami pergeseran fasa tertinggal (*lag*) sebesar 30° .

Keuntungan dari transformator hubungan Y - Δ antara lain adalah [5] :

- Tidak ada masalah yang serius pada saat melayani beban yang tidak seimbang karena hubungan delta pada sisi sekunder akan mendistribusikan beban tidak seimbang tersebut pada masing-masing fasa.
- Masalah harmonisa ketiga pada tegangan padasisi sekunder dapat dihapus karena telah

disirkulasikan melalui hubungan delta pada sisi sekunder.

Kerugian transformator hubungan Y-Δ antara lain adalah :

- a) Tegangan pada sisi sekunder mengalami pergeseran fasa terhadap sisi primer, sehingga apabila ingin memparalel transformator dengan hubungan Wye-Delta (Y-Δ) ini maka harus diperhatikan kesamaan vektor diagram dari transformator yang akan diparalel tersebut.
- b) Isolasi yang dibutuhkan pada belitan pada sisi sekunder harus memiliki ketahanan sedikit diatas tegangan line pada sisi sekunder itu, sehingga umumnya transformator dengan hubungan Wye-Delta (Y-Δ) sering digunakan sebagai transformator *step-down*

2.4. Rangkaian Transformator Tiga Fasa dan Jam Vektor

Transformator 3 fasa pada dasarnya merupakan 3 buah transformator 1 fasa yang disusun 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 trafo tiga fasa. Pada transformator tiga 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 tiga 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 $150^\circ (= 5 \times 30^\circ)$.

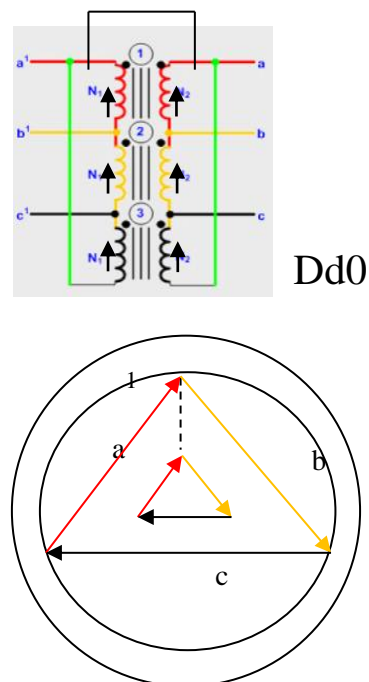
Vektor grup transformator dinyatakan dalam bilangan jam yang searah putaran jam (*clockwise*). Tiap satu bilangan jam mewakili beda sudut 30° . Vektor grup menentukan pergeseran sudut arus pada belitan primer dan sekunder.

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 Oscilloscope
- 5) Tabel Kebenaran DC

Metode analisa arus transformator tiga fasa dalam hubungan Dd0 seperti diperlihatkan pada Gambar 2.6.

- 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



Gambar 6. Analisis Arus Transformator Tiga Fasa

Metode membaca tabel pengukuran dari *data sheet* transformator (buku TERCO) seperti dimuat dalam Tabel 1 [6].

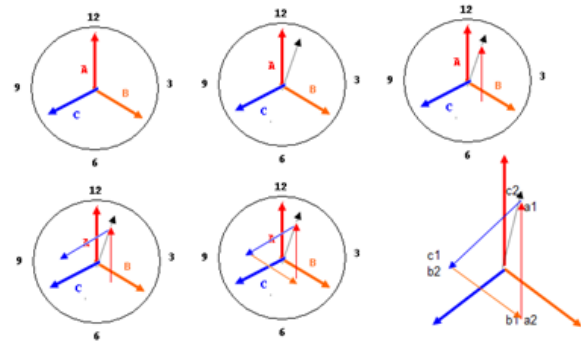
TABEL 1 .PERSAMAAN HUBUNGAN TEGANGAN JAM TRANSFORMATOR

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	$Cc < Bc = Cb > Cc < AB$

Cara menggambar vektor grup Yd1 dan rangkaian belitan transformator adalah sebagai berikut :

- 1) Gambar vektor A,B,C (arus pada belitan primer) dalam lingkaran jam.
- 2) Gambar vektor bantu yang menunjuk jam 1
- 3) Gambar vektor a (arus pada belitan sekunder a) searah dengan vektor A dengan kepala vektor menuju arah jam 1 (perhatikan Gambar 7)
- 4) Gambar vektor b (arus pada belitan sekunder b) searah dengan vektor B dengan pangkal vektor berada pada vektor a.
- 5) Gambar vektor c (arus pada belitan sekunder c) searah dengan vektor C dengan pangkal vektor berada pada vektor b dan kepala vektor berada pada pangkal vektor a.

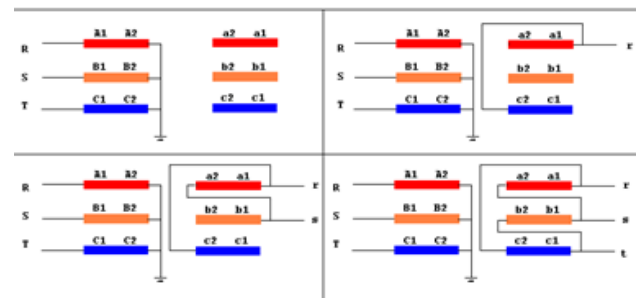
- 6) Beri notasi tambahan 1 pada tiap kepala vektor a,b, dan c serta notasi 2 pada pangkal vektornya.



Gambar 7. Vektor grup Yd1

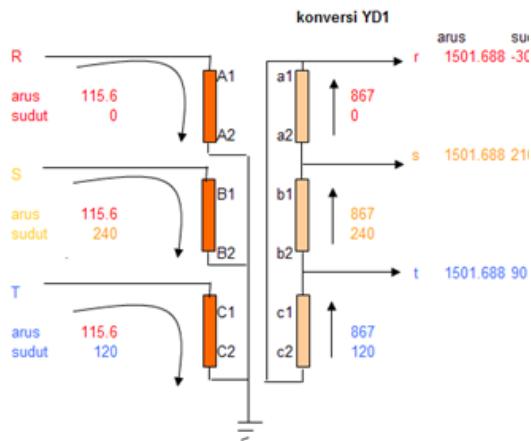
Sedangkan untuk menggambar rangkaian belitan transformator, tinggal melihat gambar vektor grup yang telah diberi notasi tambahan seperti diperlihatkan pada Gambar 8.

- 1) Gambar rangkaian belitan Wye pada sisi primer
- 2) Fasa r pada belitan sekunder terhubung pada a1 dan c2
- 3) Fasa s pada belitan sekunder terhubung pada a2 dan b1
- 4) Fasa t pada belitan sekunder terhubung pada b2 dan c1



Gambar 8. Rangkaian Transformator Hubungan Yd1

Pembuktian pergeseran sudut ini terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Arus pada belitan primer dan sekunder transformator Yd1

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Syarat Merangkai Transformator Tiga Fasa

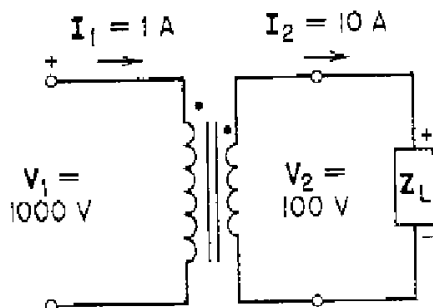
Ada 4 syarat yang perlu dipenuhi dalam merangkai transformator 3 fasa, yaitu perbandingan tegangan harus sama, mengetahui polaritas transformator, impedansi sama, dan perbandingan reaktansi sama.

a. Perbandingan tegangan harus sama

Perbandingan tegangan harus sama., karena jika tidak sama, maka tegangan induksi pada kumparan sekunder masing-masing trafo 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 10 memperlihatkan simbol dari sebuah transformator 1 kVA satu fasa dua belitan terpisah.



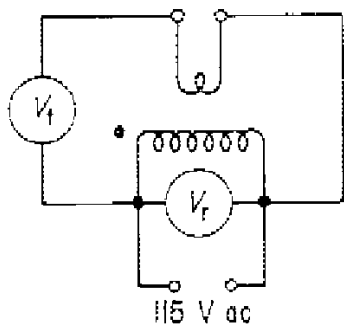
Gambar 10. Simbol transformator 1 kVA satu fasa dua belitan terpisah

Belitan primer (N_1) adalah sisi tegangan tinggi (TT) dan belitan sekunder (N_2) adalah sisi tegangan rendah (TR). Jumlah belitan primer lebih

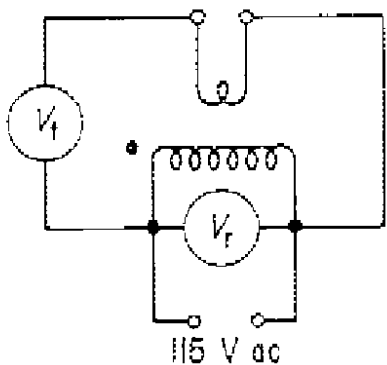
banyak dari pada belitan sekunder. Ujung belitan TT diberi nama dengan huruf besar H dan ujung belitan TR diberi nama dengan huruf kecil x. Terlihat bahwa polaritas diberi nama dengan angka subskrip. Angka gasal menyatakan polaritas positif, dan ditandai dengan titik (dot) yang berarti bahwa Gaya Gerak Listrik induksi pada belitan itu tinggi atau positif. Arah melilit belitan pada inti transformator menentukan letak tanda titik (dot) atau polaritas positif 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 :

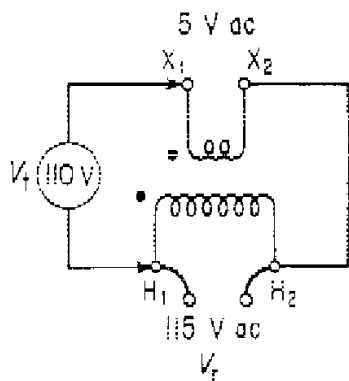
- 1) Lihat Gambar 11 Tentukan belitan TT dan gunakan sebagai belitan referensi.
- 2) Hubungkan salah satu ujung belitan referensi itu dengan salah satu ujung belitan yang diuji polaritasnya.
- 3) Tandai ujung lain dari belitan referensi dengan titik (dot) sebagai polaritas positif.
- 4) Hubungkan voltmeter dengan ujung belitan referensi bertanda titik (dot) dengan ujung lain dari belitan yang diuji polaritasnya ($= V_t$).
- 5) Berikan tegangan di bawah atau sama dengan nominal pada belitan referensi ($= V_r$).
- 6) Catat tegangan pada belitan referensi ($= V_r$) dan tegangan uji pada voltmeter (V_t) dari langkah 4.
- 7) Jika tegangan uji (V_t) lebih besar dari pada tegangan referensi (V_r), maka polaritasnya adalah menjumlah /aditif, dan letak titik (dot) dari belitan yang diuji adalah berseberangan seperti diperlihatkan pada Gambar 12.
- 8) Jika tegangan uji (V_t) lebih kecil dari pada tegangan referensi (V_r), maka polaritasnya adalah mengurangi /subtraktif, dan letak titik (dot) dari belitan yang diuji adalah berhadapan seperti diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 11. Uji Polaritas Belitan Transformator



Gambar 12. Uji Polaritas Belitan Transformator [Polaritas Aditif ($V_t > V_r$)]



Gambar 13. Uji Polaritas Belitan Transformator [Polaritas Subtraktif ($V_t < V_r$)]

c. Impedansi sama

Sifat terpenting dari pembebanan yang seimbang adalah jumlah fasor dari ketiga tegangan adalah sama dengan nol, begitupula dengan jumlah fasor dari arus pada ketiga fase juga sama dengan nol. Jika impedansi beban dari ketiga fase tidak sama, maka jumlah fasor dan arus netralnya (I_n) 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.

IV. KESIMPULAN

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nagrath, DP.Kothari., Electric Machines, New Delhi : Tata Mc Graw Hill Publishing Co.Ltd, 1989.
- [2] Kosow, Irving L., Electrical Machinery and Transformers, New Jersey : Prentice Hall Inc, 1991.
- [3] Gizha, "Transformator", 11 Desember 2009, [online]. Tersedia : http://zhagitolah.blogspot.co.id/2009/12/transformator_11.html [Diakses : 25 Maret 2017]
- [4] Andersen, Leonard ., Macneill, Jack ., Electric Machines and Transformers, New Jersey : Prentice Hall Inc, 1988.
- [5] Sugijono, 2000, Paralel Transformator Satu Fasa, Semarang: Politeknik Negeri Semarang.
- [6] Theraja, BL, Textbook Electrical Technology, New Delhi : Ninja Construction andDevelopment Co. Ltd, 1987.