

STUDI PENGARUH HARMONISAPADAPEMILIHAN JENIS HUBUNGAN BELITAN TRANSFORMATOR DAYA TIGA PHASA

Oleh :

Jumari ¹⁾

Andreas. M. Saragih ²⁾

Universitas Darma Agung, Medan ^{1,2)}

E-mail :

62jumarieska@gmail.com ¹⁾

Andreassaragih1970@gmail.com ²⁾

ABSTRACT

Harmonics is one of the many problems faced in the choice of transformer winding type relationships, where in a transformer there is a flux of magnetic currents due to non-linear core properties and the emergence of core losses such as hysterical losses and Eddy current losses thus resulting in power loss in the transformer. On the three-phase transformer the emergence of harmonic current waves will affect the existing magnetic flux waves, so that it can cause unwanted operations in the system. In this case from the many existing winding relationships in transformers with a delta – wye winding type connection is recommended where in the connection the delta winding can deliver harmonics current so that harmonic voltage does not arise in the system. This study provides the following results: a transformer with Delta – Wye winding type connection is recommended for use with the following considerations: 1). The amplifier current always contains harmonization components caused by losses in the transformer, 2). Delta – Wye winding connections transmit the third harmonic current, which causes harmonics voltage not to arise in the system, 3). The third harmony in the Delta – Wye winding relationship can be neutralized according to the need for a protection system.

Keywords: *Harmonics, Winding Relations, Three Phase Power Transformer*

ABSTRAK

Harmonisa adalah salah satu dari sekian banyak problema yang dihadapi dalam pemilihan jenis hubungan belitan transformator, dimana pada suatu transformator ada fluks dari arus permagnetan yang disebabkan sifat inti yang tidak linier dan timbulnya rugi-rugi inti seperti rugi-rugi hysteresis dan rugi-rugi arus Eddy sehingga mengakibatkan daya yang hilang pada transformator tersebut. Pada transformator tiga fasa timbulnya gelombang-gelombang arus harmonisa ini akan mempengaruhi gelombang fluks magnetik yang ada, sehingga dapat menyebabkan terjadinya operasi yang tidak diinginkan di dalam sistim. Dalam hal ini dari sekian banyak hubungan belitan yang ada pada transformator dengan jenis hubungan belitan delta-wye dianjurkan dipakai dimana pada hubungan tersebut belitan deltanya dapat menyalurkan arus harmonisa sehingga tegangan harmonisa tidak timbul pada sistim. Penelitian ini memberikan hasil sebagai berikut : transformator dengan jenis hubungan belitan Delta – Wye dianjurkan untuk dipakai dengan pertimbangan sebagai berikut : 1). Arus penguat selalumengandung komponen-komponen harmonisasi yang disebabkan adanya rugi-rugi pada transformator, 2). Hubungan belitan Delta – Wye menyalurkan arus Harmonisa ketiga, yang menyebabkan tegangan harmonisa tidak timbul pada sistim, 3). Harmonisa ketiga pada hubungan belitan Delta – Wye dapat dinetralkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem proteksi.

Kata Kunci: *Harmonisa, Hubungan Belitan, Transformator daya tiga fasa*

I. PENDAHULUAN

Transformator daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan). Dalam operasi umumnya, trafo-trafo tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan/proteksi. Transformator yang telah diproduksi terlebih dahulu melalui pengujian sesuai standar yang telah ditetapkan.

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator merupakan hal penting dalam sistim transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal. Seiring perkembangan teknologi, penggunaan transformator pada sistem daya semakin meningkat. Untuk pemilihan jenis hubungan belitan transformator merupakan hal penting karena akan mempengaruhi operasi sistim.

Dalam hal ini salah satu masalah yang dihadapi pada pemilihan jenis hubungan belitan transformator adalah timbulnya komponen-komponen harmonisa pada transformator tersebut. Fluksi pada sirkit magnet transformator berbentuk sinusoida, arus penguat selalu mengandung komponen-komponen harmonisa karena adanya rugi-rugi pada transformator yaitu rugi-rugi

histerisis dan arus Edy. Besarnya rugi-rugi ini tergantung pada jenis bahan inti yang dipakai. Bentuk gelombang yang tidak sinusoida dapat diuraikan menjadi gelombang sinusoida yang terdiri dari komponen dasar dan komponen-komponen ganjil harmonisa ketiga, kelima, ketujuh dan seterusnya. Jika komponen harmonisa ketiga ini tidak dapat mengalir maka fluksi mengandung harmonisasi ketiga, yang akan menginduksikan tegangan harmonisasi ketiga. Arus penguat selalu mengandung komponen-komponen harmonisasi ketiga maka jenis hubungan belitan transformator menentukan bentuk gelombang arus penguat.

Dari sekian banyak hubungan-hubungan belitan yang ada pada transformator tiga fasa maka harus dapat ditentukan hubungan-hubungan manakah dan hubungan apakah yang terbaik dipakai apabila pada belitan transformator tersebut timbul komponen-komponen harmonisa tadi dapat dihindari atau dikurangi sehingga tidak mengganggu sistim pengoperasian transformator tiga fasa.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui jenis hubungan belitan transformator tiga fasa.
2. Untuk mengetahui pengaruh harmonisa transformator tiga fasa pada sistim elektronika dan telekomunikasi.

3. Untuk mengetahui pengaruh harmonisa pada jenis hubungan belitan transformator tiga fasa.

Rumusan Masalah

Dalam prakteknya keberadaan harmonisa dapat membawa kerugian pada berbagai alat elektronika dan telekomunikasi, salah satunya adalah pada transformator distribusi. Harmonisa adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk gelombang aslinya. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150Hz dan seterusnya.

Gelombang - gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmonisanya. Harmonisa urutan genap biasanya memiliki *rms* yang lebih kecil dibandingkan harmonik urutan ganjil. Kemunculan harmonisa ketiga tersebut disebabkan oleh kejenuhan inti besi pada trafo dan mesin listrik. Pada era sekarang, penyebab munculnya harmonisa sebagian besar adalah elektronika daya.

Pembatasan Masalah

Hubungan belitan transformator daya tiga fasa terdiri dari Wye – Wye, Delta – Delta, Delta – Wye, dan Wye – Delta. Dalam penelitian ini hanya membahas tentang transformator daya dengan jenis hubungan belitan *Delta – Wye*.

1. TINJAUAN PUSTAKA

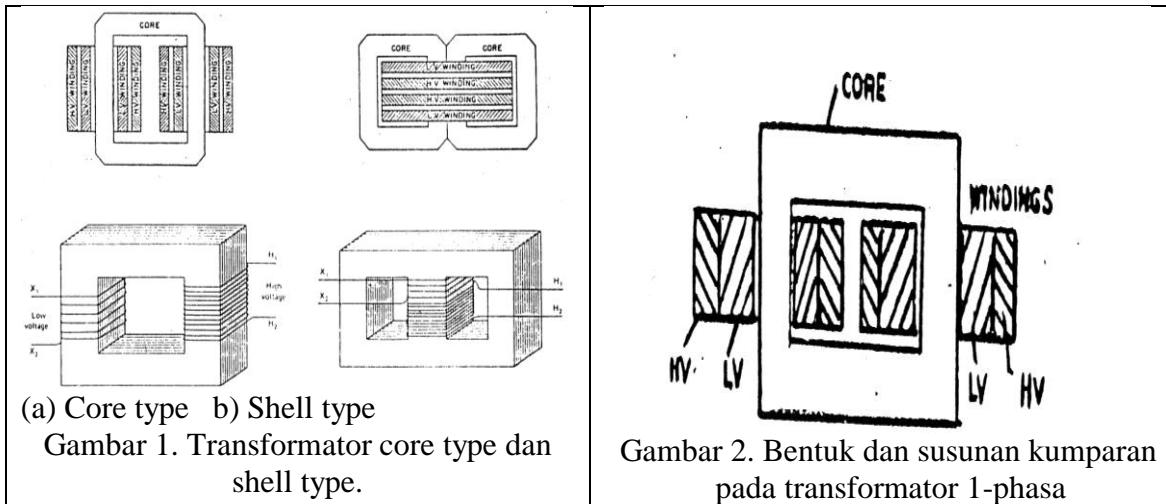
Syarat-Syarat Utama Transformator

1. Konstruksi Inti :

Fungsi dari inti transformator adalah untuk menyediakan jalan dari perembesan yang tinggi (*high permeability*) arus magnet/fluks magnetik ke sirkit magnet dan untuk mendukung belitan-belitan transformator. Inti transformator terdiri dari lapisan-lapisan tipis dari bahan dengan permeabilitas relatif tinggi seperti Hot-Rolled dan Cold-Rolled yang tebalnya 0,3-0,5 mm dan diperlengkapi dengan lapisan-lapisan isolasi dari Vernish atau oksida.

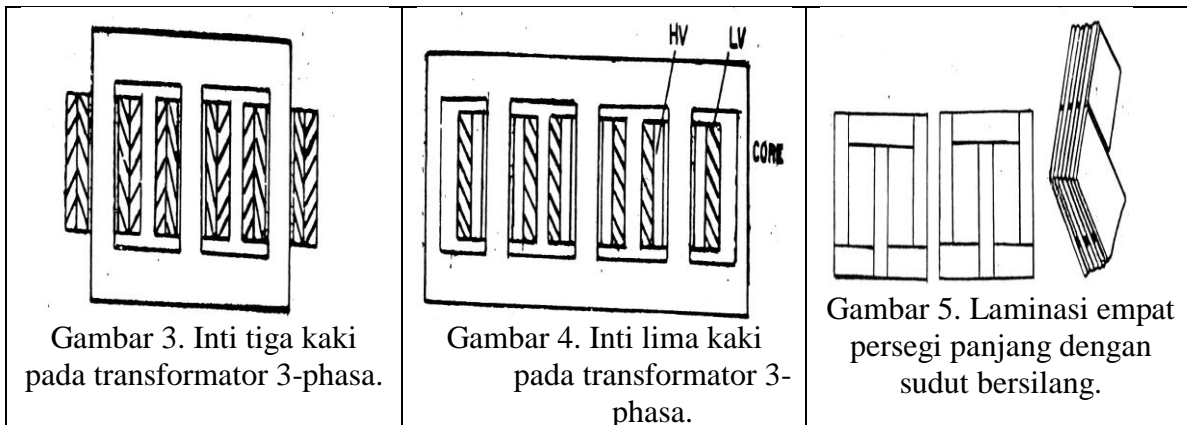
Menurut konfigurasi dari inti maka transformator dibedakan atas Core type dan Shell type transformator (gambar 2.1). Core type transformator bila dibandingkan dengan Shell type transformator mempunyai beberapa keuntungan yaitu perencanaannya lebih mudah sehingga proses pembuatannya lebih mudah dan mengisolasi lilitannya

lebih mudah terutama pada tegangan tingginya.



Umumnya inti transformator core type digunakan pada transformator-transformator yang besar dan kecil. Pada konstruksi inti core type belitan mengelilingi inti dan sirkuit magnetiknya mempunyai dua atau tiga atau lima limb (cabang) yang ditempatkan secara vertikal. Dua yoke yang horizontal, satu pada

puncak dan yang satu lagi pada dasar. Kebanyakan dari transformator-transformator daya adalah intinya berbentuk Core type (Gambar 2.2). Inti-inti untuk transformator tiga fasa yang besar adalah core type dengan tiga kaki atau lima kaki dapat dilihat pada (Gambar 2.3 dan Gambar 2.4).



Pada konstruksi inti Shell type, belitan merupakan bagian yang dikelilingi inti dimana belitan dibungkus oleh inti. Konstruksi inti shell type lebih disukai untuk transformator-transformator kecil satu fasa. Yoke mempunyai dua limb dan fluks magnet yang meninggalkan cabang-

cabang masuk ke dalam bagian-bagiannya. Pada transformator-transformator shell type belahan melintang dari Limb adalah dua kali belahan melintang dari yoke (Gambar 2.1.b).

Hot-Rolled Non-Oriented Silicon Iron digunakan untuk laminasi. Laminasi

tersebut disusun dengan empat persegi panjang (rectangular) dengan sudut yang saling bersilang (Gambar 2.5). Daerah yoke lebih luas dari daerah limb. Dengan jalan mengklek Studs (ujung tap) yang melewati melalui luas inti yang digunakan.

Cold-Rolled Grain Oriented Silicon Iron (CRGO), bahan tersebut mempunyai sifat arah (*directionaly*). Sifat-sifat magnetik lebih tinggi pada penggulungan arah. Inti transformator-transformator tiga phasa menggunakan konstruksi core type dengan tiga atau lima limb. Pada konstruksi 3 limb, luas belahan melintang dari yoke adalah identik dengan daerah belahan melintang dari limb. Pada keadaan yang demikian inti 5 limb lebih cocok digunakan. Pada inti dengan 5 limb, belahan melintang dari yoke bagian atas dan yoke bagian bawah dan limb-limb balik yang vertical adalah lebih kecil dari limb pertama. Misalnya, dalam konstruksi dengan 5 limb bagian yoke atas dan bawah 58% dari bagian limb pertama dan bagian limb balik adalah 45% dari bagian limb pertama. Perencanaan seperti ini menghasilkan pilihan yang optimum dari berat tinggi dan rugi-rugi besi.

2. Belitan Kawat

Untuk mendapatkan sistem daya yang diandalkan sangat berpengaruh pada belitan kawat transformator, maka dari itu belitan kawat transformator harus tahan terhadap tekanan Voltage frekwensi daya

yang digunakan pada kondisi kerja normal, juga tahan terhadap kelebihan frekwensi daya yang temporer (bersifat sementara) selama keadaan beban yang rendah. Secara mekanis, belitan harus tetap stabil apabila terjadi kelebihan voltase transient sementara akibat sentakan kilat atau sentuhan switch dan stabil apabila terjadi hubung singkat pada sistim. Ada 4 (empat) macam bentuk koil yang terdapat pada transformator core type :Spiral, Crossover, Helical, Continous disc.

2. Bahan Isolasi

Bahan Isolasi adalah bahan yang berfungsi untuk menyekat antara 2 penghantar, agar tidak terjadi kebocoran arus listrik apabila kedua penghantar tersebut bertegangan.

4. Rugi-rugi dan Effisiensi

Rugi-rugi pada transformator terdiri dari rugi-rugi beban nol dan rugi-rugi berbeban. Rugi-rugi beban nol adalah rugi-rugi histerisis, rugi arus Eddy, rugi tembaga I^2R yang disebabkan arus penguat dan rugi-rugi dielektrik. Rugi-rugi berbeban dapat dianggap berbanding dengan kwadrat arus beban. Effisiensi transformator dalam perunit adalah perbandingan daya out put dan in put :

$$Effisiensi = \frac{\text{out put}}{\text{in put}} = 1 - \frac{\text{losses}}{\text{in put}}$$

5. Jenis Hubungan Belitan Transformator Daya

Hubungan-hubungan transformator dapat dirangkum pada tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 1. Rangkuman dari hubungan-hubungan tiga fasa.

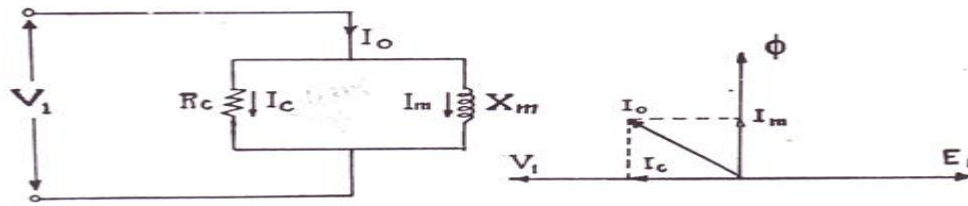
Hubungan	Aspek-aspek yang menguntungkan	Harmonisasi ketiga
Wye-Wye	<ul style="list-style-type: none"> - Ekonomis untuk transformator tegangan tinggi - Kemungkinan untuk menyediakan hubungan netral. - Tidak ada arus Triplen mengalir. - Tegangan netral mungkin berossilasi, dan tegangan triplen mungkin tinggi pada unit-unit transformator jenis shell type 	
Delta-delta	<ul style="list-style-type: none"> - Cocok untuk transformator tegangan tinggi - Ketidakseimbangan beban yang besar dapat ditolerir, tegangan triplen diupkan - Tidak ada suatu titik wye mungkin merupakan suatu kebarukan 	<ul style="list-style-type: none"> - Arus harmonisa ketiga dan tegangan-tegangan bersirkulasi pada delta. - Tidak ada pada line - Arus harmonisa ketiga bersirkulasi dalam belitan delta
Wye Delta atau Delta Wye	<ul style="list-style-type: none"> - Sangat umum untuk jaringan –jaringan supply - Satu titik wye untuk suatu netral melayani beban- beban campuran satu fasa dan tiga fasa - Belitan delta dapat membawa arus triplen dan dengan demikian menstabilkan tegangan - Aspek-aspek yang menguntungkan 	
Interkoneksi Wye - wye	<ul style="list-style-type: none"> - Mengurangi tegangan triplen dan tidak peka terhadap kondisi kondisi dari pembebanan yang tidak seimbang - Terbatas kepada belitan tegangan rendah. - Tegangan fasa terdiri dari setengah tegangan suatu pergeseran 60 (15%) lebih banyak putaran yang diperlukan - Kadang – kadang dipakai dalam rectifier supply 	

Sumber : S. Rao ; “ power Transformers and special Transformers” , 1985

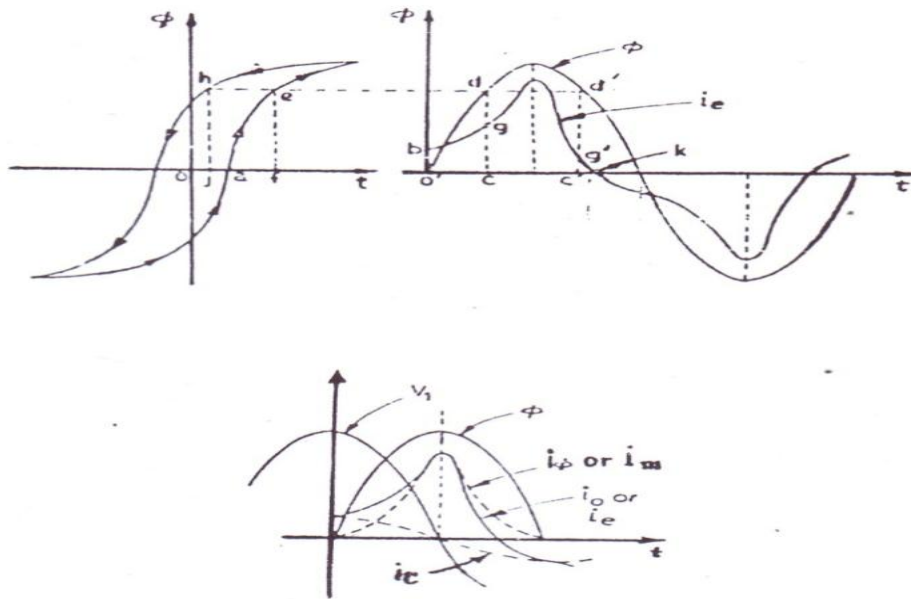
3. Permasalahan Arus Penguat

Arus primer I_o yang mengalir pada saat belitan sekunder tidak dibebani disebut

arus penguat. Dalam kenyataan arus primer I_o bukanlah merupakan arus induktif murni, sehingga arus primer I_o terdiri dari dua komponen (gambar 6).



Gambar 6. Dua komponen dari arus primer I_0 .



Gambar 7. Hubungan kurva B – H dengan kurva Fluks

1. Komponen arus pemagnetan I_m , yang menghasilkan fluks(ϕ). Karna sifat inti yang tidak linier (perhatikan hubungan kurva B – H dengan kurva fluks), maka arus pemagnetan I_m dan juga fluks (ϕ) tidak sinusoida (gambar 3.1.). Halini disebabkan adanya pengaruh gelombang harmonisa tertentu yang dikandung inti transformator. Dari gambar 3.2 tampak gelombang harmonisa ketiga berpengaruh paling besar terhadap bentuk gelombang arus pemagnetan.
2. Komponen arus I_c akan menimbulkan rugi rugi inti yang terdiri dari rugi hysteresis dan arus Eddy, I_c sephasa

dengan V^l , sehingga hasil perkalian ($I_c \times V^l$) merupakan daya yang hilang dalam watt.

Harmonisa pada Transformator Tiga phasa

Harmonisa merupakan salah satu problema pada pemilihan jenis hubungan belitan transformator walaupun pada transformator distribusi arus penguat merupakan salah satu persentase yang kecil yaitu 2 – 6% dari arus – arus nominal. Pada transformator – transformator satu phasa, harmonisa pada arus penguat tidak mempunyai suatu efek yang berate terhadap sisttem pengoperasian.

Mengingat hal ini, harmonisa pada transformator-transformator satu fasa biasanya diabaikan. Akan tetapi gejala harmonisa pada transformator tiga fasa adalah sangat penting. Hal ini karena pada kondisi kondisi tertentu, harmonisa arus penguat dapat menyebabkan operasi yang tidak di sengaja pada peralatan-peralatan perlindungan dan juga dapat menyebabkan gangguan pada sirkit-sirkit komunikasi. Gejala harmonisa pada transformator-transformator tiga fasa tergantung pada jenis hubungan belitan yang digunakan dan juga sirkit-sirkit magnet dari ketiga fasa terpisah atau saling dihubungkan. Pada transformator tiga fasa tegangan-tegangan tiga fasa yang diterapkan adalah simetris dengan tegangan-tegangan frekwensi dasar timbal balik 120° , karena harmonisa ganjil yang ada pada tegangan, maka rumus untuk yang tiga fasa dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_A &= V_{m1} \sin Wt + V_{m3} \sin 3 Wt \\
 &+ V_{m5} \sin 5 Wt + V_{m7} \sin 7 wt + \\
 &\dots\dots \\
 V_B &= V_{m1} \sin (Wt - 120^\circ) + V_{m3} \sin \\
 &3 (wt - 120^\circ) + V_{m5} \sin 5 (wt - \\
 &120^\circ) + V_{m7} \sin 7 (wt - 120^\circ) + \dots \\
 V_C &= V_{m1} \sin (wt - 240^\circ) + V_{m3} \sin \\
 &3 (wt - 240^\circ) + V_{m5} \sin (wt - 240^\circ) \\
 &+ V_{m7} \sin 7 (wt - 240^\circ) + \dots \quad (3.1)
 \end{aligned}$$

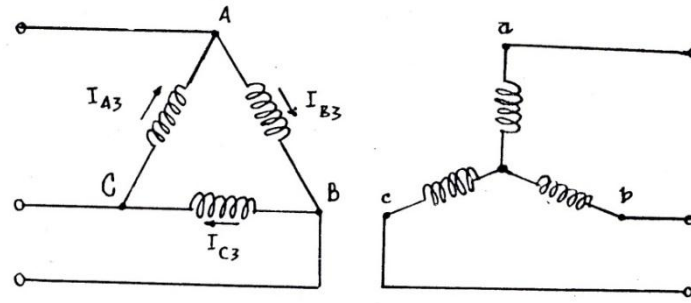
Disini V_{m1} , V_{m3} , V_{m5} , dan V_{m7} adalah harga maximum komponen dasar

dari tegangan harmonisa ketiga. Dari rumus-rumus diatas dapat dilihat bahwa komponen-komponen dasar dari tegangan-tegangan merupakan suatu sistim seimbang tiga fasa dengan urutan fasa ABC.

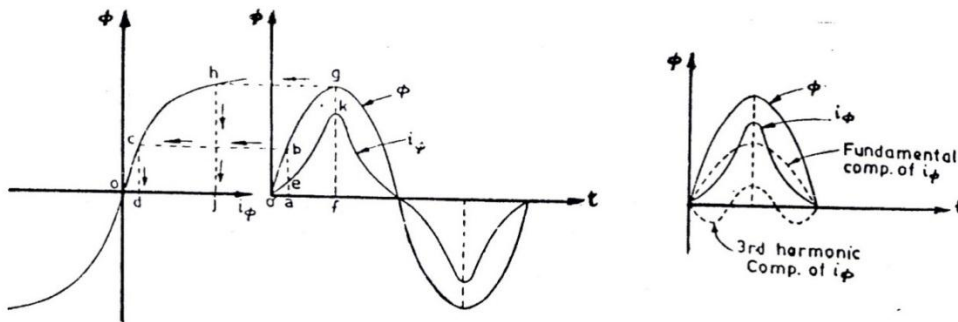
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Harmonisa Transformator Tiga Fasa hubungan Delta – Wye.

Jikabelitan primer dihubungkan secara delta dan sekunder dihubungkan secara wye maka arus harmonisa ketiga mengalirpa daerah yang samasisi deltanya. Tegangan supply sinusoida menyediakan suatu arus magnetisasi Sinusoida pada line – line hubungan tersebut . arus harmonisa ketiga pada hubungan delta – wye. Arus magnetisasi sinusoida pada line-line dari suatu tegangan Supply mengalir dalam belitan-belitan transformator yang menghasilkan suatu gelombang fluks yang memuat fluks harmonisa ketiga, flukstriplenfrekwensi membangkit kanggl-triplenfrekwensi kearah yang sama pada ketiga dalam Delta yang tertutup. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa arus belitan transformator terdiri dari suatu arus magnetisasi Harmonisa dasar tambahan suatu arus magnetisasi harmonisa ketiga gelombang arus resultan dapat dilihat pada gambar



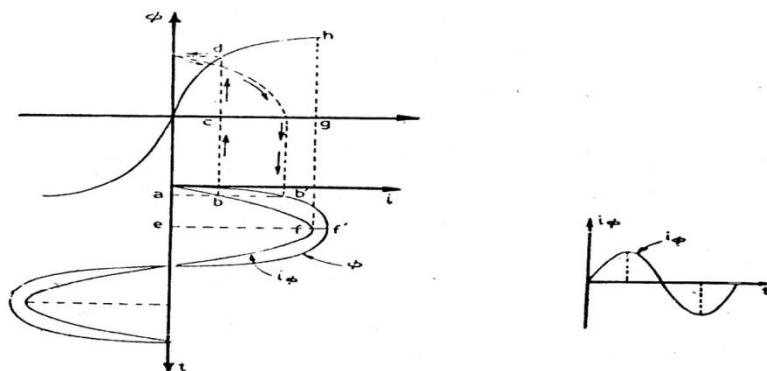
Gambar 7. Arusharmonisa ketigapada hubungan delta – wye



Gambar 8. Bentuk gelombang arus magnetisasi dari komponendasar dan komponen harmonisa ketiga pada hubungan delta – wye

Harmonisa dari order yang lebih tinggi beroperasi mirip dengan komponen dasar. Jadi arus magnetisasi pada line – line hubungan Delta –

wyenyamengandung komponen dasar tambah harmonisa kelima, ketujuh kalaume mangada.



Gambar 9. Bentuk gelombang sinus arus magnetisasi.

Akan tetapi suatu arus magnetisasi sinusoidal memerlukan suatu gelombang fluks yang mempunyai suatu fluks harmonisa ketiga. Fluks harmonisa

ketiga menimbulkan ggl – ggl harmonisa ketiga baik pada belitan primer maupun belitanse kunder. Karena sekunder dihubungkan dalam delta, maka ggl – ggl

harmonisasi ketiga menghasilkan arus harmonisa ketiga. Mengingat hal ini, arus magnetisasi pada delta sekunder terdiri dari komponen dasar dan komponen harmonisasi ketiga. Akan tetapi telah diketahui bahwa apabila arus magnetisasi terdiri dari arus dasar dan arus harmonisasi ketiga, maka fluks tentu gelombang sinus.

Jadi pada hubungan wye – Delta, fluks magnetic yang menghubungkan baik delta primer maupun delta sekunder adalah gelombang sinus. Sebagai hasilnya, pada fasa primer dan sekunder bebas dari ggl harmonisa ketiga. Walaupun demikian hanya dibawah 1% dari tegangan fasa nominal.

5. SIMPULAN

1. Harmonisa adalah salah satu dari sekian banyak problema yang dihadapi dalam pemilihan jenis hubungan belitan transformator, dimana pada suatu transformator ada fluks dari arus permagnetan yang disebabkan sifat inti yang tidak linier dan timbulnya rugi-rugi inti seperti rugi-rugi hysteresis dan rugi-rugi arus Eddy sehingga mengakibatkan daya yang hilang pada transformator tersebut.
2. Pada transformator tiga fasa timbulnya gelombang-gelombang arus harmonisa ini akan

mempengaruhi gelombang fluks magnetik yang ada, sehingga dapat menyebabkan terjadinya operasi yang tidak diinginkan di dalam sistim.

3. Dariberbagai macam hubungan belitan transformator yaitu Wye – Wye, Delta – Delta, Delta – Wye, dan Wye – Delta, maka transformator dengan jenis hubungan belitan *Delta – Wye* dianjurkan untuk dipakai dengan pertimbangan sebagai berikut :
 - a. Arus penguat selalu mengandung komponen-komponen harmonisasi yang disebabkan dan yarugi-rugi pada transformator,
 - b. Hubungan belitan *Delta – Wye* menyalurkan arus Harmonisa ketiga, yang menyebabkan tegangan harmonisa tidak timbul pada sistim
 - c. Harmonisa ketiga pada hubungan belitan *Delta – Wye* dapat dinetralkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem proteksi.

6. DAFTAR PUSTAKA

S.RAO ; ``Power Transformer And Special Transformer, Khana Tech Publications, Delhi 1985

S. Austen Stigant, A.C. Franklin ; `` J
& P Transformer Book `` ,10 th
Edition

Dr. S.L. Uppal ; `` Elektrical Power `` ,
Khanna Publishers, Delhi 6.

Donald V. Richardson ; `` Rotating
Electric Machinery
& Transformer Techonoly, ``
Second Edition.

B.L Thereja ; `` A Text – Book of
Electrical Technology, `S
.Chand & Company New Delhi.

Stephen J .Chapman ; `` Electrical
Machinery Fundamentals`` ,
Formerly of The University

Of Houston. `` Electrical
Transmission and Distribution ``
Reference Book , Westinghouse
Electric Corporation
EastPittsburg, Pennsylvania
1950.

P.S Bimbing ; `` General Theory Of
Electrical Machines `` ,
Khanna Publishers , Delhi 6.

Ir. Abdul Kadir ; `` Transformator `` ,
PradnyaParamita, JakartaPusat
1979.

Zuhal ; `` DasarTenagaListrik ``
,EdisiKe 2, ITB Bandung 1980.