

“Analisa Konfigurasi Hubungan Primer dan Sekunder Transformator 3 Fasa 380/24 V Terhadap Beban Non Linier”

Mohd Yogi Yusuf, Firdaus**, Feranita*

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: yogi.te.ur@gmail.com

ABSTRACT

The use of non-linear loads are increasingly widespread. The non-linear load can cause distortion of the voltage wave and current wave. This waveform distortion commonly called harmonics. The problems that can be caused by harmonics include increased energy losses, overheating and low work factor. In practice the presence of harmonics is carrying losses on a variety of tools, one of which is the distribution transformer. In this research designed to determine the harmonic simulation in every winding connection. Software used in this research was ETAP 11.0. Results from this research indicate a winding connection most good to be used in transformer based on the value of THD.

Keywords: *Harmonic current, Transformer, THD, ETAP, Winding Connection*

I. PENDAHULUAN

Penggunaan beban-beban non linier kini semakin luas. Beban non linier tersebut dapat menyebabkan distorsi bentuk gelombang arus maupun tegangan. Distorsi gelombang ini biasa disebut harmonisa. Masalah-masalah yang dapat ditimbulkan oleh harmonisa antara lain adalah meningkatnya rugi-rugi energi, *overheating* dan faktor kerja yang rendah. Dalam prakteknya keberadaan harmonisa ini membawa kerugian pada berbagai alat, salah satunya adalah transformator distribusi. Dampak dari harmonisa ini dapat juga menyebabkan biaya operasi yang tinggi dan keandalan sistem yang rendah. Harmonisa adalah munculnya gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonisa yang timbul pada bentuk

gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa. (Syahrudin, 2012)

Transformator adalah suatu alat yang dapat memindahkan dan mengubah besar energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain dengan frekuensi yang sama. Pada transformator tiga fasa terdapat dua hubungan belitan utama yaitu hubungan delta dan hubungan bintang. Dan ada empat kemungkinan lain hubungan transformator tiga fasa yaitu Hubungan Wye-Delta ($Y-\Delta$), Hubungan Delta-Wye ($\Delta-Y$), Hubungan Wye-Wye ($Y-Y$), Hubungan Delta-Delta ($\Delta-\Delta$).

II. LANDASAN TEORI

2.1 Transformator

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak

balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder (Lumbanraja, 2009)

2.2 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 maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi)

$$e = (-)N \frac{d\phi}{dt} \text{ (Volt)} \quad (1)$$

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

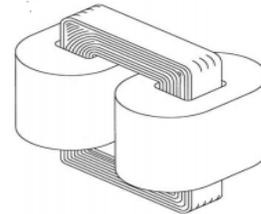
transformator adalah untuk mengurangi reluktansi (tahanan magnetis) dari rangkaian magnetis (*common magnetic circuit*). (Peranginangin, 2011)

2.3 Konstruksi Transformator

Pada dasarnya transformator terdiri dari kumparan primer dan sekunder yang dibelitkan pada inti ferromagnetik. Berdasarkan letak kumparan terhadap inti, transformator terdiri dari dua macam konstruksi yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Kedua tipe ini menggunakan inti yang berlaminasi yang terisolasi satu sama lainnya dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi dan arus eddy umum transformator dapat dibedakan dua jenis menurut konstruksinya, yaitu: (Peranginangin, 2011)

2.3.1 Tipe Inti (*core type*)

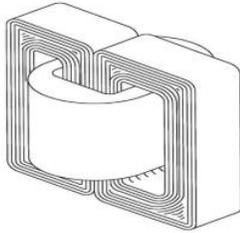
Pada transformator tipe inti, kumparan mengelilingi inti dan konstruksi dari intinya berbentuk huruf L atau huruf U.



Gambar 1. Konstruksi transformator tipe inti (Peranginangin, 2011)

2.3.2 Tipe Cangkang (*shell type*)

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



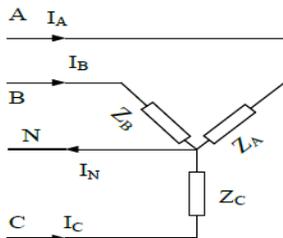
Gambar 2. Konstruksi Transformator tipe cangkang (Peranginangin, 2011)

2.4 Hubungan Transformator Tiga fasa

Secara umum ada 3 macam jenis hubungan pada transformator tiga fasa yaitu:

2.4.1 Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan bintang yaitu; I_A, I_B, I_C masing-masing berbeda 120° . (Nainggolan, 2010)



Gambar 3. Transformator tiga fasa hubungan bintang (Nainggolan, 2010)

Dari gambar 1.3 diperoleh bahwa:

$$I_A = I_B = I_C = I_L \quad (2)$$

$$I_L = I_{ph} \quad (3)$$

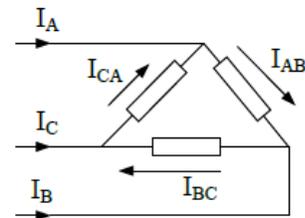
$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \quad (4)$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3}V_{ph} \quad (5)$$

2.4.2 Hubungan Segitiga/Delta (Δ)

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir

lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu; V_A, V_B, V_C masing-masing berbeda 120° . (Nainggolan, 2010)



Gambar 4. Transformator tiga fasa hubungan segitiga/delta (Nainggolan, 2010)

Dari gambar 2.11 diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L \quad (6)$$

$$I_L = \sqrt{3}I_{ph} \quad (7)$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \quad (8)$$

$$V_{L-L} = V_{ph} \quad (9)$$

2.5 Jenis-Jenis Hubungan Transformator Tiga Fasa

Dalam pelaksanaannya, tiga buah lilitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam-macam hubungan, seperti bintang dan segitiga, dengan kombinasi Y-Y, Y- Δ , Δ -Y, Δ - Δ . Di bawah ini pembahasan hubungan transformator tiga fasa secara umum : (Nainggolan, 2010)

2.5.1 Hubungan Wye-Wye (Y-Y)

Pada hubungan bintang-bintang, rasio tegangan fasa-fasa (L-L) pada primer dan sekunder adalah sama dengan rasio setiap trafo. Sehingga, terjadi pergeseran fasa sebesar 30° antara tegangan fasa-netral (L-N) dan tegangan fasa-fasa (L-L) pada sisi primer dan sekundernya.

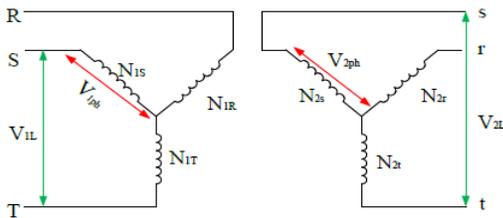
Hubungan Y-Y pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 1.5 Pada hubungan Y-Y, tegangan masing-masing

primer fasa adalah :

$$V_{phP} = \frac{V_{LP}}{\sqrt{3}}$$

Tegangan fasa primer sebanding dengan tegangan fasa sekunder dan perbandingan belitan transformator maka, perbandingan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder pada transformator hubungan Y-Y adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{phP}}{\sqrt{3}V_{phS}} = a \quad (10)$$

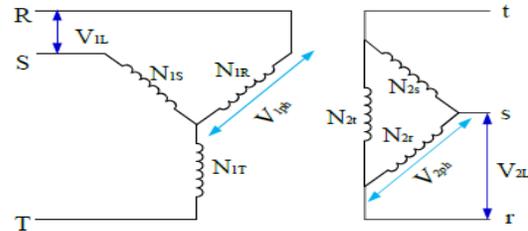


Gambar 5. Transformator tiga fasa hubungan Y-Y (Nainggolan, 2010)

2.5.2 Hubungan Wye-Delta (Y-Δ)

Transformator hubungan Y-Δ, digunakan pada saluran transmisi sebagai penaik tegangan. Rasio antara sekunder dan primer tegangan fasa-fasa adalah $1/\sqrt{3}$ kali rasio setiap trafo. Terjadi sudut 30° antara tegangan fasa-fasa antara primer dan sekunder yang berarti bahwa trafo Y-Δ tidak bisa diparalelkan dengan trafo Y-Y atau trafo Δ-Δ. Hubungan transformator Y-Δ dapat dilihat pada Gambar 1.6 Pada hubungan ini tegangan kawat ke kawat primer sebanding dengan tegangan fasa primer ($V_{LP} = \sqrt{3}V_{phP}$) dan tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan tegangan fasa ($V_{LS} = V_{phS}$), sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan Y-Δ adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{phP}}{V_{phS}} = \sqrt{3}a \quad (11)$$

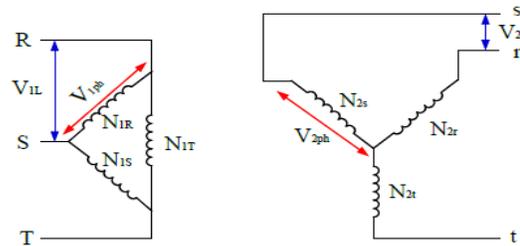


Gambar 6. Transformator tiga fasa hubungan Y-Δ (Nainggolan, 2010)

2.5.3 Hubungan Delta-Wye (Δ-Y)

Transformator hubungan Δ-Y, digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan transmisi ke tegangan rendah. Transformator hubungan Δ-Y dapat dilihat pada Gambar 1.7 Pada hubungan Δ-Y, tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fasa primer ($V_{LP} = V_{phP}$), dan tegangan sisi sekundernya ($V_{LS} = \sqrt{3}V_{phS}$), maka perbandingan tegangan pada hubungan Δ-Y adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{\sqrt{3}V_{phS}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (12)$$



Gambar 7. Transformator tiga fasa hubungan Δ-Y (Nainggolan, 2010)

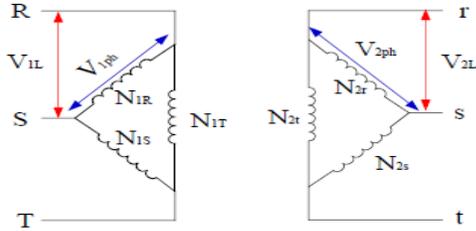
2.5.4 Hubungan Delta-Delta (Δ-Δ)

Pada transformator hubungan Δ-Δ, tegangan kawat ke kawat dan tegangan fasa sama untuk sisi primer dan sekunder transformator ($V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = V_{LN}$), maka perbandingan tegangannya adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{V_{phS}} = a \quad (13)$$

Sedangkan arus pada transformator hubungan Δ-Δ adalah :

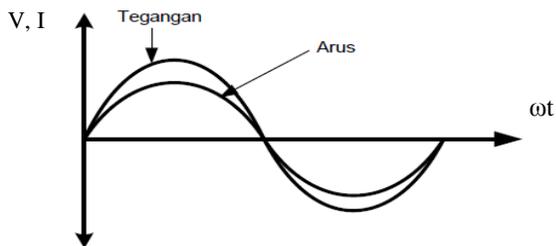
$$I_L = \sqrt{3}I_P \quad (14)$$



Gambar 8. Transformator tiga fasa hubungan Δ - Δ (Nainggolan, 2010)

2.6 Beban Linier

Beban linier adalah beban yang impedansinya selalu konstan sehingga arus selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu. Beban linier ini mematuhi hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus berbanding lurus dengan tegangan. Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban linier akan sama dengan bentuk gelombang tegangan. Apabila diberi tegangan sinusoidal, maka arus yang mengalir ke beban linier juga merupakan sinusoidal sehingga tidak terjadi distorsi dan tidak menimbulkan harmonisa. Beban ini berupa elemen pasif seperti resistor, computer dan kapasitor. Beberapa contoh beban linier adalah lampu pijar, pemanas, resistor, dan lain-lain (Warman, 2013). Gambar 1.9 berikut adalah contoh bentuk gelombang arus dan tegangan dengan beban linier.



Gambar 9. Bentuk gelombang arus dan tegangan dengan beban linier (Warman, 2013)

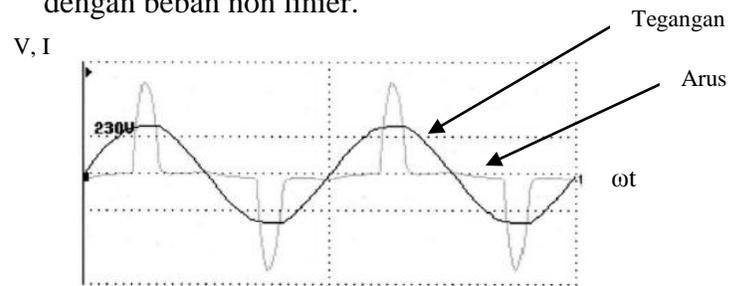
2.7 Beban Non Linier

Beban non linier adalah beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap

periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak konstan, maka arus yang dihasilkan tidaklah berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan, sehingga beban non linier tidaklah mematuhi hukum Ohm yang menyatakan arus berbanding lurus dengan tegangan.

Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban non linier tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat (distorsi). Dengan meluasnya pemakaian beban non linier, gelombang sinusoidal ini dapat mengalami distorsi (Warman, 2013).

Gambar 1.10 berikut adalah contoh bentuk gelombang tegangan dan arus dengan beban non linier.



Gambar 10. Gelombang tegangan dan arus beban non linier (Warman, 2013)

Kecendrungan penggunaan beban-beban elektronika dalam jumlah besar akan menimbulkan masalah yang tidak terelakkan sebelumnya. Berbeda dengan beban-beban listrik yang menarik arus sinusoidal (sebentuk dengan tegangan yang mensuplainya), beban-beban elektronik menarik arus dengan bentuk non sinusoidal walaupun disupalai oleh tegangan sinusoidal. Beban yang memiliki sifat ini disebut sebagai beban non linier.

Beban non linier adalah peralatan yang menghasilkan gelombang-gelombang arus yang berbentuk sinusoidal berfrekuensi tinggi yang disebut dengan arus harmonisa. Arus harmonisa ini menimbulkan banyak implikasi pada peralatan sistem tenaga listrik. Misal rugi-rugi jaringan akan meningkat, pemanasan yang tinggi pada

kapasitor, transformator, dan pada mesin-mesin listrik yang berputar serta kesalahan pada pembacaan alat ukur RMS. (Warman, 2013)

2.8 Harmonisa

Harmonisa adalah 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 sedangkan bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonisa. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, maka harmonisa keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100 Hz, harmonisa ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150 Hz dan seterusnya. (Syahrudin, 2012)

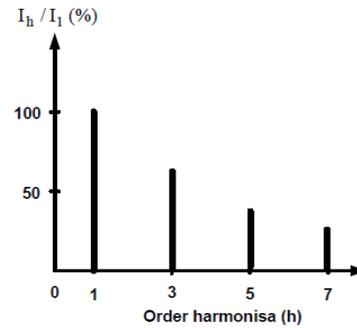
2.9 Orde Harmonisa

Orde dari harmonisa merupakan perbandingan antara frekuensi harmonisa dengan frekuensi fundamental, dimana:

$$h = \frac{f_h}{f_1} \quad (15)$$

2.10 Spektrum Harmonisa

Spektrum harmonisa adalah distribusi dari semua amplitudo komponen harmonisa sebagai fungsi dari orde harmonisa, dan diilustrasikan menggunakan histogram. Bisa dikatakan spektrum adalah merupakan perbandingan arus atau tegangan pada frekuensi harmonisa terhadap arus atau tegangan pada frekuensi fundamental. Spektrum digunakan sebagai dasar perancangan filter untuk mengurangi harmonisa, terutama bila yang digunakan adalah filter pasif. Gambar spektrum harmonisa diperlihatkan pada Gambar 1.11



Gambar 11. Spektrum Harmonisa Arus (Syahrudin, 2012)

2.11 Harga RMS Tegangan dan Arus

Harga RMS tegangan:

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} V_h^2} \quad (16)$$

Harga RMS arus:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (17)$$

2.12 Total Harmonic Distortion (THD)

Distorsi harmonisa total disebut dengan *Total Harmonic Distortion* (THD) adalah indeks yang menunjukkan total harmonisa dari gelombang tegangan atau arus yang mengandung komponen individual harmonisa, yang dinyatakan dalam persen terhadap komponen fundamentalnya. (Syahrudin, 2012)

THD untuk gelombang tegangan adalah:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (18)$$

THD untuk gelombang arus adalah:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (19)$$

2.13 Total Demand Distortion (TDD)

Distorsi harmonisa (*harmonic distortion*) paling berarti apabila dimonitor

pada *Point of Common Coupling* (PCC) dimana beban dihubungkan yang jauh dari pembangkit. Distorsi harmonisa pada PCC ini cenderung menunjukkan distorsi yang lebih besar jika arus beban (*demand load current*) besar dan sebaliknya. Oleh karena itu total kandungan harmonisa diukur berdasarkan arus beban I_L yang disebut dengan *Total Demand Distortion* (TDD). *Total Demand Distortion* adalah:

$$TDD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100\% \quad (20)$$

2.14 Pengaruh Negatif dari Harmonisa

Pada keadaan normal, arus beban setiap fasa dari beban linier yang seimbang pada frekuensi dasarnya akan saling menghapuskan sehingga arus netralnya menjadi nol. Sebaliknya beban non linier satu fasa akan menimbulkan harmonisa kelipatan tiga ganjil yang disebut triplen harmonisa (harmonisa ke-3, ke-9, ke-15 dan seterusnya) yang sering disebut *zero sequence* harmonisa.

Harmonisa ini dapat menghasilkan arus netral yang lebih tinggi dari arus fasa karena saling menjumlah di tiap fasanya. Harmonisa pertama urutan polaritasnya adalah positif, harmonisa kedua urutan polaritasnya adalah negatif dan harmonisa ketiga urutan polaritasnya adalah nol, harmonisa keempat adalah positif (berulang berurutan dan demikian seterusnya).

2.15 Harmonisa pada Transformator

Transformator dirancang untuk menyalurkan daya yang dibutuhkan ke beban dengan rugi-rugi minimum pada frekuensi fundamentalnya. Arus dan tegangan harmonisa secara signifikan akan menyebabkan panas lebih. Ada dua pengaruh yang ditimbulkan panas lebih pada

transformator ketika arus beban mengandung komponen harmonisa.

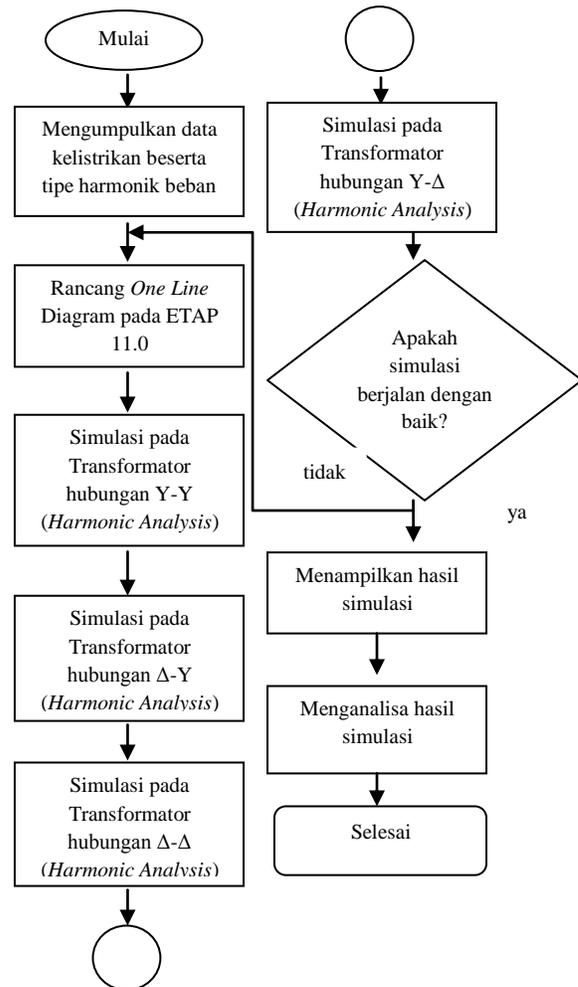
- a) Harmonisa arus menyebabkan meningkatnya rugi-rugi tembaga yang dinyatakan dengan Persamaan 2.47.

$$P_{CU} = \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 R_n$$

- b) Harmonisa tegangan menyebabkan meningkatnya rugi-rugi besi, seperti *eddy current* dan rugi-rugi *hysteresis*. (Syahrudin, 2012)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian



Gambar 12. Diagram Alir Penelitian

3.2 Data Transformator

Berikut ini adalah tabel data tegangan fasa dan tegangan *line* transformator 3 fasa setiap hubungan belitan.

Tabel 1 Data Tegangan Transformator

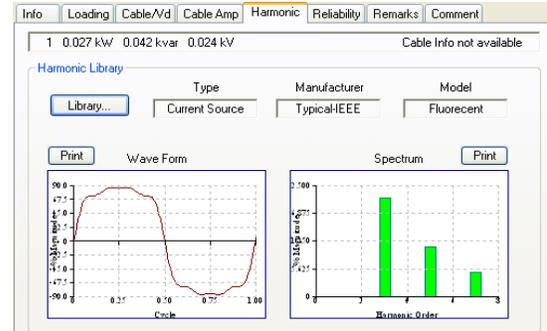
Hubungan	V_{ph} (Volt)	V_{L-L} (Volt)
Y-Y	198	342
Y-Δ	220	381
Δ-Y	397	397
Δ- Δ	380	380

3.3 Tipe Harmonik Beban Non Linier

Beban non linier adalah beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak konstan, maka arus yang dihasilkan tidaklah berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan, sehingga beban non linier tidaklah mematuhi hukum Ohm yang menyatakan arus berbanding lurus dengan tegangan.

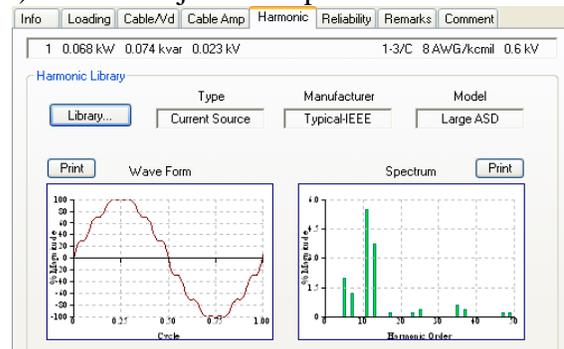
Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban nonlinier tidak sama dengan bentuk gelombang tegangan sehingga terjadi cacat (distorsi). Dengan meluasnya pemakaian beban non linier, gelombang sinusoidal ini dapat mengalami distorsi (Warman, 2013). Berikut ini adalah bentuk gelombang dan tipe harmonik dari beban yang akan diuji.

1) Beban lampu



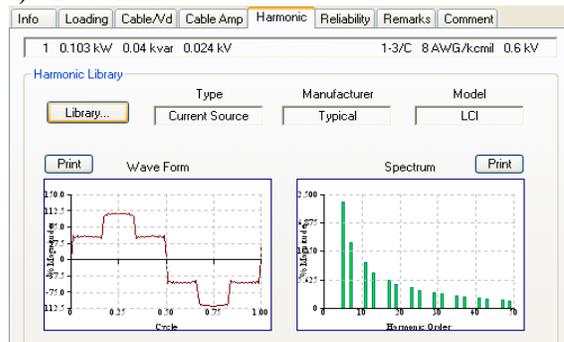
Gambar 13. Tipe harmonik beban 1 dan beban 2

2) Beban Adjustable Speed Drive



Gambar 14. Tipe harmonik beban 3

3) Beban AC :



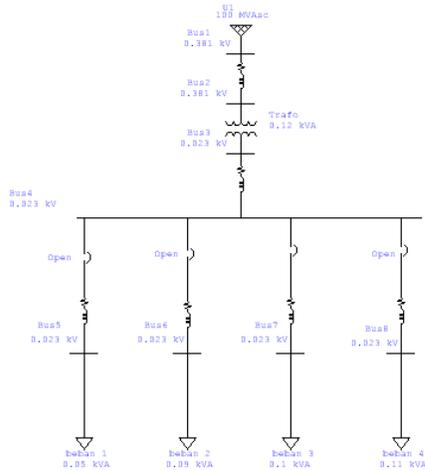
Gambar 15 Tipe harmonik beban 4

3.4 Perancangan Simulasi

Pada penelitian ini akan dibuat dan disimulasikan setiap hubungan belitan transformator 3 fasa. Pembuatan simulasi ini menggunakan sebuah transformator 3 fasa yang akan diubah hubungan belitannya sesuai dengan beberapa skenario simulasi dengan tujuan untuk mendapatkan nilai *total harmonic distortion* (THD) di setiap

hubungan belitannya. Dari beberapa nilai THD tersebut, akan didapatkan hubungan belitan mana yang paling baik ketika dihubungkan dengan beban non linier.

Secara umum, simulasi yang akan dijalankan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 16 Simulasi transformator 3 fasa menggunakan ETAP 11.0

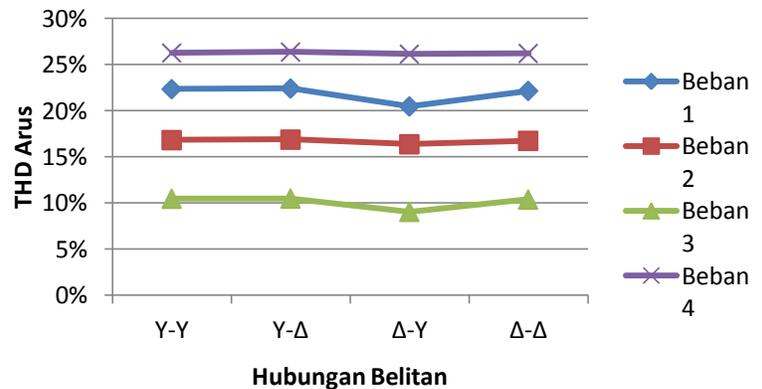
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Transformator

Setelah semua prosedur simulasi berhasil dijalankan, tahapan selanjutnya adalah *run harmonic load flow*. Setiap hubungan belitan diuji dengan dihubungkan ke masing-masing beban. Keluaran data yang didapatkan pada pengujian ini berupa nilai *total harmonic distortion* (dalam bentuk %) untuk setiap hubungan belitan transformator. Data selengkapnya tertera pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Hasil pengujian transformator pada berbagai hubungan belitan berdasarkan THD Arus

No	Pengujian	Beban 1	Beban 2	Beban 3	Beban 4
		(%)	(%)	(%)	(%)
1	Y-Y	22.35	16.83	10.48	26.27
2	Y-Δ	22.42	16.88	10.50	26.37
3	Δ-Y	20.48	16.38	9.06	26.15
4	Δ-Δ	22.16	16.75	10.39	26.22



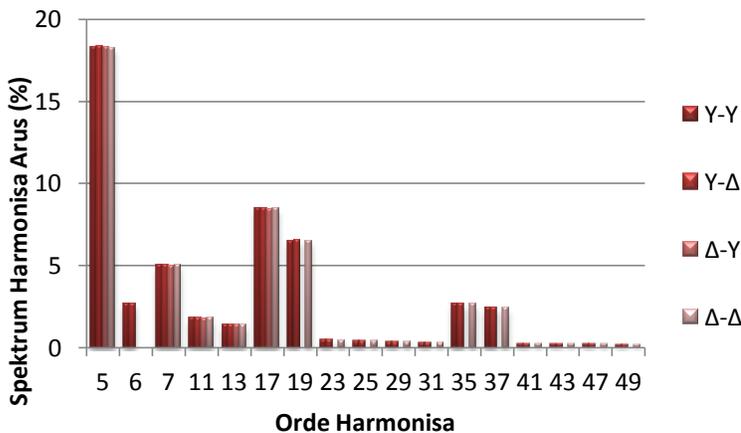
Gambar 17 Kurva perbandingan THD arus pada masing-masing hubungan belitan

Dari gambar diatas menunjukkan persentase THD arus paling kecil terjadi pada hubungan Δ-Y. Pada hubungan Δ-Y, THD arus dapat berkurang sampai 2% pada beban 1. Persentase THD paling besar terjadi pada hubungan Y-Δ. Dari hasil pengujian tersebut menunjukkan hubungan belitan yang cocok untuk transformator yaitu hubungan Δ-Y.

Tabel 3. Hasil pengujian transformator pada berbagai hubungan belitan berdasarkan THD Tegangan

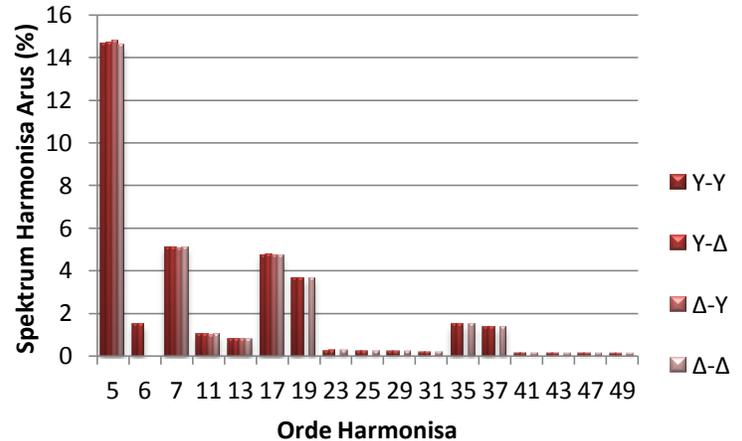
No	Pengujian	Beban 1 (%)	Beban 2 (%)	Beban 3 (%)	Beban 4 (%)
1	Y-Y	0.00	0.02	0.00	0.01
2	Y- Δ	0.00	0.00	0.00	0.01
3	Δ -Y	0.00	0.01	0.01	0.02
4	Δ - Δ	0.01	0.01	0.00	0.00

Berdasarkan data diatas, sesuai dengan standard IEEE 519-1992 yang ada pada tabel 3 dapat dilihat bahwa THD tegangan sudah sangat baik, maka fokus pembahasan dan analisa hanya pada bagian THD arus. Berikut ini adalah data orde harmonisa dari THD arus pada masing-masing hubungan belitan.



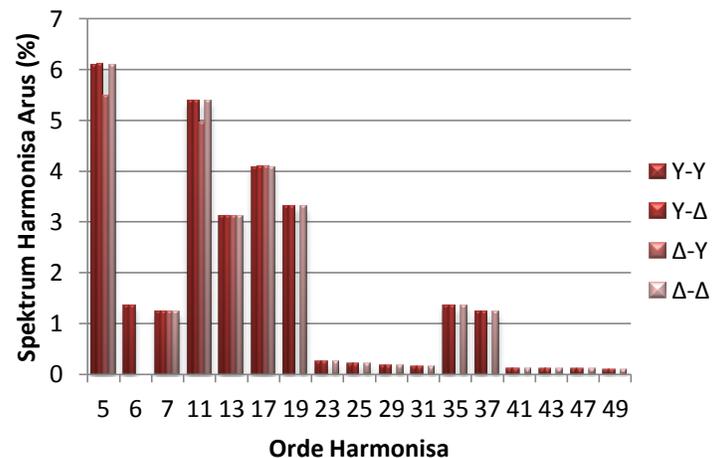
Gambar 18 Kurva orde harmonisa transformator ketika dihubung ke beban 1

Dari gambar diatas menunjukkan ketika transformator dihubung ke beban 1, pada hubungan Δ -Y, orde harmonisa ke-19 dan seterusnya telah dihilangkan.



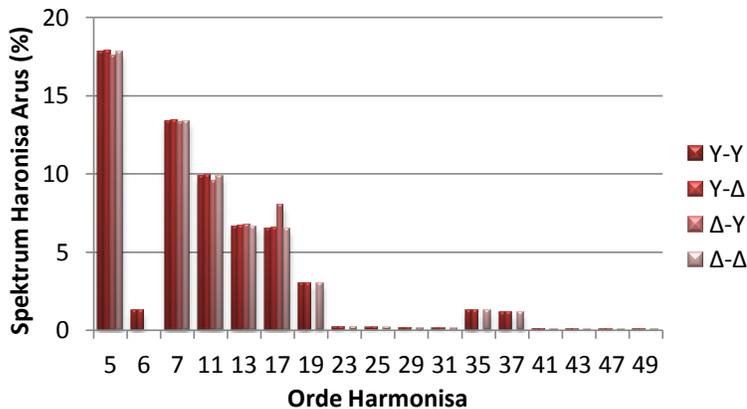
Gambar 19 Kurva orde harmonisa transformator ketika dihubung ke beban 2

Dari gambar diatas menunjukkan ketika transformator dihubung ke beban 2, pada hubungan Δ -Y, orde harmonisa ke-19 dan seterusnya telah dihilangkan.



Gambar 20 Kurva orde harmonisa transformator ketika dihubung ke beban 3

Dari gambar diatas menunjukkan ketika transformator dihubung ke beban 3, pada hubungan Δ -Y, orde harmonisa ke-19 dan seterusnya telah dihilangkan.



Gambar 21. Kurva orde harmonisa transformator ketika dihubung ke beban 4

Dari gambar diatas menunjukkan ketika transformator dihubung ke beban 4, pada hubungan Δ -Y, orde harmonisa ke-19 dan seterusnya telah dihilangkan.

Dari hasil pengujian tersebut, menunjukkan hubungan Δ -Y dapat menurunkan THD arus atau memiliki THD arus yang paling rendah dibandingkan dengan hubungan belitan transformator lainnya. Dari tabel dan kurva diatas menunjukkan bahwa hubungan Δ -Y mampu menghilangkan beberapa orde harmonisa yang ada pada hubungan Y-Y, hubungan Y- Δ dan hubungan Δ - Δ .

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian pada masing-masing hubungan belitan transformator, maka penulis dapat menyimpulkan:

1. Berdasarkan hasil pengujian terhadap keempat beban, hubungan Δ -Y mampu menurunkan THD harmonisa mencapai 2% pada beban 1 bila dibandingkan dengan hubungan belitan transformator lainnya.
2. Persentase THD arus pada transformator hubungan Y- Δ lebih besar dibandingkan hubungan belitan transformator yang lainnya.

3. Hubungan Δ -Y mampu menghilangkan orde harmonisa yang ada pada hubungan belitan transformator lainnya, yaitu orde ke 19 sampai orde ke 49.

5.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan masih terdapat kekurangan. Salah satu kekurangan adalah nilai THD arus yang masih melebihi standard. Kekurangan ini dapat dijadikan sebagai bahan penelitian lanjutan yaitu cara mengurangi harmonisa pada transformator. Diharapkan dengan penelitian itu akan didapatkan cara metode pengurangan harmonisa yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Irianto, C.G., M. Sukmawidjaja, dan A. Wisnu. 2008. Mengurangi Harmonisa pada Transformator 3 Fasa. *Jurnal JETri* 7(2): 53-68.
- Kadir, A. 1989. *Transformator*, PT Elex Media Komputindo-Kelompok Gramedia, Jakarta
- Lumbanraja, H. 2008. Pengaruh beban tidak seimbang terhadap efisiensi transformator 3 fasa hubungan open-delta. *Skripsi*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU). Medan.
- Nainggolan, E.P. 2010. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi (Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Cabang Medan, Rayon Medan Kota). *Skripsi*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU). Medan.
- Peranginangin, R.H. 2011. Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap

- Transformator Distribusi (Aplikasi Pada PT. PLN (Persero) Cabang Medan, Rayon Medan Kota). *Skripsi*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU). Medan.
- Setiawan, A. 2007. Kajian Pengaruh Harmonisa terhadap Sistem Tenaga Listrik. *Jurnal Eltek* 5(2).
- Syahrudin, M. 2012. Perancangan Filter Pasif Orde Tiga Untuk Mengurangi Harmonisa Akibat Beban Non Linear (Studi Kasus Pada Transformator 400 kVA Di Politeknik Negeri Medan). *Skripsi*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU). Medan.
- Warman, Eddy. 2013. Penentuan Faktor Pengali Sistem Pengukuran Analog Untuk Beban Non Linear. *Skripsi*. Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU). Medan.
- Wijanarko, R. S., O. Penangsang, dan D. F. U. Putra. 2014. Penentuan Peralatan Untuk Meredam Harmonisa Berdasarkan Jenis Sumber Harmonisa, Orde dan Magnitude Harmonisa dengan Memperhitungkan Biaya Investasi di PT. Wilmar Nabati, Gresik. *Jurnal Teknik Pomits* 2(1).