

ISBN : 978-979-99117-3-5



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKNIK INDUSTRI

WALUYO JATMIKO

**Otomatisasi Teknologi Industri
Untuk Meningkatkan Daya Saing
Industri Nasional**



JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JATIM

Surabaya, 3 Juli 2012

ISBN : 978-979-99117-3-5



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKNIK INDUSTRI "WALUYO JATMIKO V"

*Otomatisasi Teknologi Industri
Untuk Meningkatkan Daya Saing
Industri Nasional*

JURUSAN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UPN "VETERAN" JAWA TIMUR

Surabaya, 3 Juli 2012



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL WALUYO JATMIKO
OTOMATISASI TEKNOLOGI INDUSTRI UNTUK
MENINGKATKAN DAYA SAING INDUSTRI NASIONAL



KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya sehingga kami dapat melaksanakan kegiatan Seminar Nasional Teknik Industri Waluyo Jatmiko V “Otomatisasi Teknologi Industri Untuk Meningkatkan Daya Saing Industri Nasional” ini dengan baik.

Seminar Nasional Teknik Industri Waluyo Jatmiko V merupakan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh Jurusan Teknik Industri UPN “Veteran” Jawa Timur. Seminar ini merupakan forum interaksi antara kalangan akademisi dan praktisi untuk menelaah dan mengkaji tentang otomatisasi teknologi industri untuk meningkatkan daya saing industri nasional.

Kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi sehingga acara ini dapat terlaksana dengan baik, diucapkan terima kasih.

Semoga apa yang tersaji dalam prosiding ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan informasi maupun sumbangan pikiran bagi yang memerlukan.

Surabaya, 3 Juli 2012

Panitia



PROSIDING

SEMINAR NASIONAL WALUYO JATMIKO
OTOMATISASI TEKNOLOGI INDUSTRI UNTUK
MENINGKATKAN DAYA SAING INDUSTRI NASIONAL



| No | Nama Pemakalah | Judul Jurnal | Instansi |
|-----|---|---|---|
| 13. | Krisnadhi Hariyanto | Penentuan Kriteria Pengambilan Keputusan Terhadap Kinerja Karyawan Menggunakan Metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP) | Universitas Wijaya Putra |
| 14. | Lily Puspa Dewi Uce Indahyanti Yulius Hari S | Pemodelan Proses Bisnis Menggunakan <i>Activity Diagram</i> UML Dan BPMN (Studi Kasus FRS Online) | Universitas Kristen Petra |
| 15. | Lily Puspa Dewi Yupit Sudianto | Perancangan Sistem Informasi Dengan Metode <i>Use Case Driven Object Modelling</i> (Studi Kasus : Verifikasi Data Pada Penerimaan Siswa Baru) | Universitas Kristen Petra Surabaya |
| 16. | Muhammad Yusuf | Analisis Faktor Fisik Lingkungan Kerja Terhadap Produktivitas Operator Mesin Jahit | Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta |
| 17. | Nonot Wisnu Karyanto Moch. Hariadi | Pengatur Penempatan Kamera Otomatis Berbasis <i>Finite State Machine</i> | Institut Teknologi Sepuluh Nopember |
| 18. | Ong Andre Wahyu Riyanto | Pengembangan Alogaritma <i>Differential Evolution-Variable Neighborhood Search</i> Untuk Optimasi Multi-Tujuan Pada Penjadwalan Pekerjaan <i>Flow Shop</i> | Universitas Wijaya Putra |
| 19. | Onny Purnamayudhia | Pengendalian Proses Sistem Pemanas Aspal Di Pertamina Pabrik Aspal Gresik | Universitas Wijaya Putra |
| 20. | Retno Indriartiningtias Sulis Tiyowati (Mahasiswa TI) | <i>Asessment</i> Teknologi Dengan Model Teknometrik Pada Sentra Industri Sabit | Universitas Trunojoyo Madura |
| 21. | Ribka Stephani Hanny Hosiana T Daniel Rohi | Mereduksi Harmonisa Arus Pada Sistem Kelistrikan Dengan <i>Transformer Mutli-Winding</i> | Universitas Kristen Petra Surabaya |
| 22. | Rony Prabowo | Analisa Peningkatan Kualitas Produk Keramik Dengan Menggunakan Metode Six Sigma Di CV. <i>Glassmico Tile</i> Tulungagung | Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya |
| 23. | Rony Prabowo | Strategi Peningkatan Kualitas Produk Dengan Metode <i>Quality Function Deployment</i> Di PT. Karya Teknik Persada Surabaya | Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya |
| 24. | Rus Indiyanto Minto Waluyo Dwi Winda Oktavia | Penentuan Rute Distribusi Dengan Metode <i>Savings Matrix</i> Di PT. Sentratek Adiprestasi Surabaya | Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur |
| 25. | Sartin Sumiati Adib Fahrozi | Perencanaan Dan Penjadwalan Akfivitas Distribusi Hasil Perikanan Dengan <i>Distribution Requirement Planning</i> (Studi Kasus Di UD. Retro Gemilang Internasional-Sidoarjo) | Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur |

MEREDUKSI HARMONISA ARUS PADA SISTEM KELISTRIKAN DENGAN TRANSFORMER MULTI-WINDING

Hanny Hosiana Tumbelaka, Ribka Stephani, Daniel Rohi
Jurusan Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra, Surabaya

ABSTRAK

Penggunaan *transformer multi-winding* dalam penelitian ini adalah untuk mereduksi harmonisa akibat penggunaan beban tak-linier. *Transformer multi-winding* memanfaatkan pergeseran fasa pada setiap keluaran sekunder trafo. Hubungan delta digunakan pada sisi primer trafo dan rangkaian zig-zag pada sisi sekunder trafo. Penggunaan metode zig-zag akan menghasilkan pergeseran sudut sesuai kebutuhan. Pada percobaan laboratorium, dianalisa transformer dengan 3 keluaran yang saling bergeser fasa 20° , dimana masing-masing keluaran dibebani rectifier 3 fasa dan 1 fasa. Penurunan THD arus akibat penggunaan alat *transformer multi-winding* dapat mencapai 88%.

Kata Kunci : Harmonisa, Zig-zag Transformer Multi-Winding

I. PENDAHULUAN

Beban *non-linier* merupakan penyebab terjadinya arus harmonisa yang tinggi pada sistem kelistrikan. Harmonisa dapat mengganggu arus dan tegangan pada sistem jaringan listrik di frekuensi fundamentalnya. Bentuk gelombang arus maupun tegangan mengalami cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi. Harmonisa menimbulkan gangguan yaitu panas berlebih, kegagalan operasi peralatan listrik, kegagalan sistem proteksi, sistem pengukuran tidak akurat, kerusakan peralatan elektronik, dll.

Ada beberapa cara untuk mereduksi harmonisa arus pada sistem kelistrikan yaitu dengan menggunakan Fiter Pasif dan Filter Aktif [3][4]. Filter Pasif tersusun dari rangkaian R, L, dan C yang diatur sesuai dengan frekuensi yang diinginkan. Filter pasif memiliki kelemahan yaitu memerlukan sejumlah filter dengan nilai yang berbeda untuk memfilter arus harmonisa pada masing-masing ordenya. Sedangkan filter aktif dapat mereduksi harmonisa arus secara maksimal dengan menginjeksi arus anti harmonisa. Filter aktif menggunakan peralatan elektronika daya yang lebih kompleks, sehingga membuat filter aktif menjadi sangat mahal.

Dalam makalah ini akan dibahas penggunaan transformer *multi winding* untuk mereduksi harmonisa arus. Transformer penggeser fasa ini lebih sederhana dibandingkan filter aktif, namun dapat mereduksi lebih baik dibandingkan filter pasif. Transformer penggeser fasa berkerja dengan memanfaatkan pergeseran fasa pada setiap keluaran di sisi sekunder trafo. Perbedaan fasa antara keluaran satu dengan yang lainnya menyebabkan superposisi komponen harmonisa arus.

2. TRANSFORMER PENGGESER FASA

Transformer tiga fasa dapat disusun dari tiga buah transformer satu fasa atau sebuah transformer tiga fasa. Kumparan primer ataupun sekunder dari transformer tiga fasa dapat dihubungkan secara bintang, delta atau segitiga, atau zig-zag.

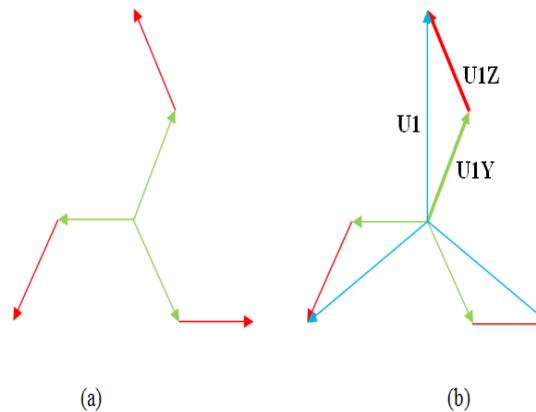
Kelompok hubungan (angka lonceng) dan pergeseran fasa yang lazim digunakan menurut VDE 0532 [5] yaitu:

- Pergeseran fasa sejauh 0° dengan kelompok hubungan Dd0, Yy0, dan Dz0.

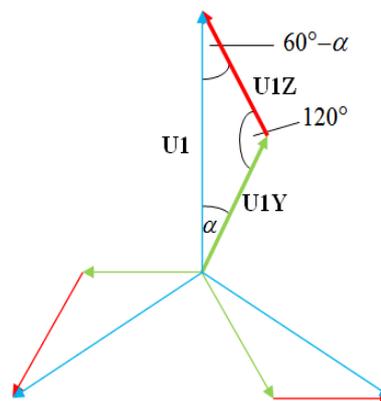
- Pergeseran fasa sejauh 180° dengan kelompok hubungan Dd6, Yy6, dan Dz6.
- Pergeseran fasa sejauh 150° dengan kelompok hubungan Dy5, Yd5, Yz5.
- Pergeseran fasa sejauh 30° dengan kelompok hubungan Dy11, Yd11, Yz11.

2.1 Hubungan Zig-Zag

Transformer *multi winding* membutuhkan pergeseran fasa sejauh sudut tertentu yang tidak hanya terbatas seperti yang lazim digunakan. Hal ini berarti membutuhkan kelompok hubungan yang dapat menggeser fasa untuk berbagai sudut fasa. Maka diperlukan modifikasi pada kelompok hubungan yaitu dalam hal ini menggunakan metode zig-zag. Rangkaian dasar zig-zag untuk kelompok hubungan (angka lonceng) nol terlihat pada Gambar 1. Resultan U1Y dan U1Z adalah U1 yang besarnya 1 per-unit dan sefasa dengan sumbu vertikal. Bila dibutuhkan pergeseran fasa untuk berbagai sudut, maka U1Y dan U1Z harus diubah-ubah besarnya (Gambar 2) yang berarti merubah nilai α , sehingga U1 nilainya tetap 1 per-unit tetapi bergeser sudutnya (positif atau negatif) dari nol derajat (sumbu vertikal).



Gambar 1. (a) Rangkaian Zig-Zag (b) Resultan 0° Pada Rangkaian Zig-Zag



Gambar 2. Rangkaian Zig-Zag Dengan Pergeseran Berbagai Sudut Fasa

Melalui Gambar 2, maka dapat ditemukan rumus perhitungan sebagai berikut [2] :

$$\frac{U1}{\sin 120^\circ} = \frac{U1Z}{\sin \alpha} = \frac{U1Y}{\sin(60^\circ - \alpha)} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

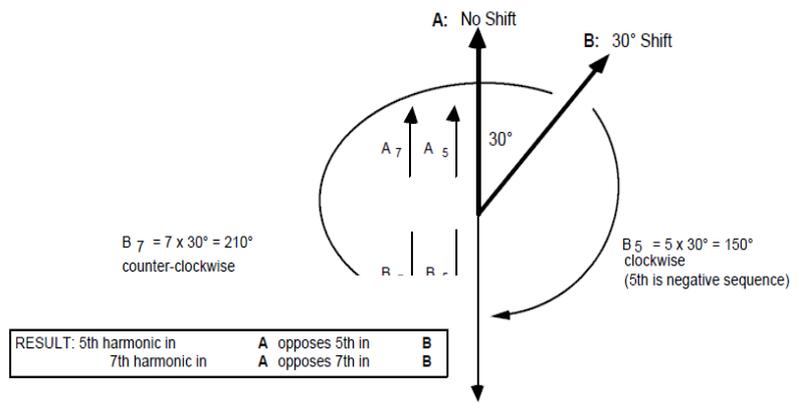
$$U1Z = \frac{U1 \sin \alpha}{\sin 120^\circ} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$U1Y = \frac{U1 \sin(60^\circ - \alpha)}{\sin 120^\circ} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

2.2 REDUKSI HARMONISA DENGAN TRANSFORMER PENGGESER FASA

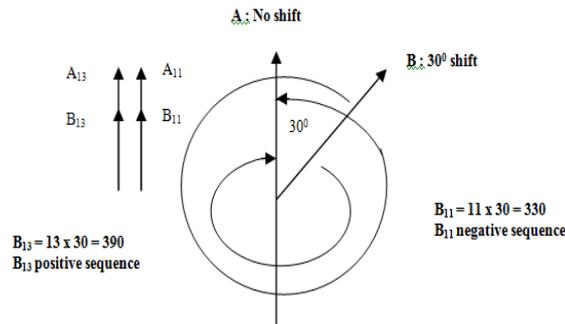
Untuk mereduksi harmonisa yang terjadi, maka dapat digunakan transformer dengan sebuah kumparan pada sisi primer dan beberapa kumparan pada sisi sekunder (atau boleh juga disebut kumparan sekunder, tersier dst.). Kumparan primer dihubungkan secara delta untuk menahan harmonisa kelipatan tiga bila terdapat beban tak-linier satu fasa. Kumparan sekunder transformer berupa keluaran 1, keluaran 2 dan selanjutnya yang dihubungkan dengan beban tak-linier pada masing-masing keluaran.

Sebuah transformer tiga fasa memiliki dua keluaran dengan masing-masing diberi beban tak-linier yang seimbang, yang mana keluaran pertama tidak bergeser fasanya, sedangkan keluaran kedua bergeser 30°. Superposisi komponen harmonisa arus ke 5 dan ke 7 dengan pergeseran sudut fasa 30° dapat dilihat pada Gambar 3. Seperti diketahui bahwa menurut komponen simetri, maka harmonisa ke 5 adalah urutan negatif dan harmonisa ke 7 adalah urutan positif. [1]



Gambar 3. Pergeseran fasa 30° Menghilangkan Harmonisa Arus ke 5 dan ke 7

Pada gambar 3, ditunjukkan vektor A tidak bergeser dengan arah vektor keatas sedangkan vektor B bergeser sebesar 30°. Harmonisa arus ke 5 vektor B memiliki pergeseran sudut sebesar 5 x 30° = 150° dan karena harmonisa arus ke 5 merupakan urutan negatif maka arah vektor B bergeser sebesar 150° kekanan dan arah vektor menjadi ke bawah. Resultannya ialah vektor A₅ dan B₅ saling meniadakan pada harmonisa arus ke 5. Begitupula halnya dengan harmonisa arus ke 7 vektor B yang berarti memiliki pergeseran sudut 7 x 30° = 210° dan karena harmonisa arus ke 7 merupakan urutan fasa positif, maka arah vektor B bergeser sebesar 210° ke kiri sehingga arah vektor menjadi ke bawah. Resultannya ialah vektor A₇ dan B₇ saling meniadakan pada harmonisa arus ke 7.



Gambar 4. Analisa Vektor pada Harmonisa ke 11 dan ke 13 dengan Pergeseran Fasa 30°.

Pada Gambar 3 ditunjukkan penerapan vektor A dan B tersebut pada Gambar 4 untuk harmonisa ke 11 dan ke 13. Harmonisa arus ke 11 memiliki pergeseran sudut sebesar $11 \times 30^\circ = 330^\circ$ dan karena harmonisa arus ke 11 merupakan urutan negatif maka arah vektor B bergeser sebesar 330° kekanan dan arah vektor menjadi ke atas. Resultannya ialah vektor A_{11} dan B_{11} saling menjumlahkan pada harmonisa arus ke 11. Harmonisa arus ke 13 memiliki pergeseran sudut sebesar $13 \times 30^\circ = 390^\circ$ dan karena harmonisa arus ke 13 merupakan urutan positif maka arah vektor B bergeser sebesar 390° kekiri dan arah vektor menjadi ke atas. Resultannya ialah vektor A_{13} dan B_{13} saling menjumlahkan pada harmonisa arus ke 13. Dengan demikian, harmonisa ke 11 dan ke 13 tetap muncul.

Untuk mengurangi lebih banyak orde harmonisa, dapat dilakukan dengan menggunakan lebih dari dua keluaran atau lebih banyak kumparan sekunder pada transformer yaitu menggunakan transformer multi winding.

Setiap n keluaran memiliki pergeseran sudut fasa tertentu untuk dapat mereduksi harmonisa secara maksimal. Untuk menentukan besar sudut pergeseran fasa yang dibutuhkan agar dapat meminimalkan atau menghilangkan harmonisa arus, maka digunakan beban tak-linier *6-pulse converter* tiga fasa sebagai dasar penentuan. Bila transformer mempunyai n keluaran, maka besarnya pergeseran sudut fasa antara satu keluaran terhadap keluaran yang lain adalah $\frac{60^\circ}{n}$; dimana n adalah banyaknya keluaran transformer. Dengan kondisi ini, harmonisa yang tetap muncul adalah $6n \pm 1$.

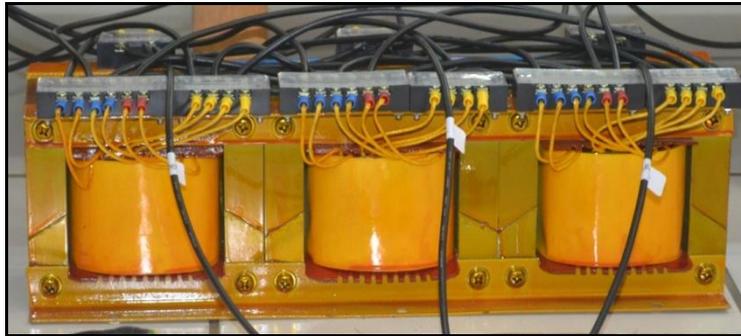
Bila transformer dirancang dengan 3 keluaran, maka pergeseran fasa antara satu keluaran dengan yang lain sejauh 20° . Pergeseran fasa tersebut membuat terjadinya superposisi pada harmonisa arus di masing-masing keluaran, yang kemudian mereduksi harmonisa hingga orde ke 15, dan muncul kembali pada orde 17 dan ke 19.

Bila transformer dirancang dengan 4 keluaran, maka terjadi pergeseran fasa sejauh 15° . Pergeseran fasa tersebut membuat terjadinya superposisi pada harmonisa arus di masing-masing keluaran, yang kemudian mereduksi harmonisa hingga orde ke 21, dan muncul kembali pada orde ke 23 dan ke 25. Begitu seterusnya untuk n keluaran. Semakin banyak keluaran, maka semakin banyak orde harmonisa yang tereduksi.

3. PERCOBAAN LABORATORIUM DAN DISKUSI

Transformer dibuat adalah sebesar 1000VA, 3x1 phasa, dengan tiga keluaran di sisi sekunder trafo. Kumparan primer terhubung delta dan tiga keluaran sekunder masing-masing terhubung zig-zag yang sesuai dengan Gambar 2. Tegangan U_1 sebesar 220V. Pergeseran fasa satu keluaran terhadap keluaran yang lain (beda fasa antar U_1) sebesar 20° . Gambar transformer

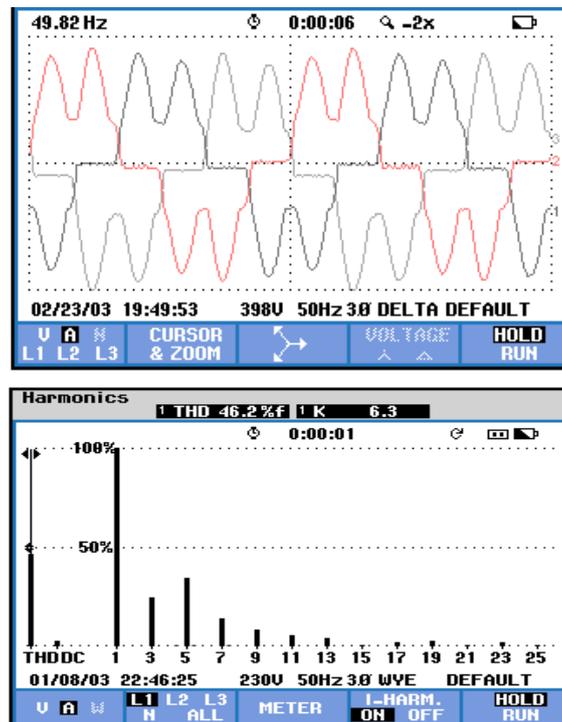
multi winding dapat dilihat pada Gambar 5. Beban yang dipasang pada setiap keluaran adalah beban rectifier 3 fasa dan beban 3 x rectifier 1 fasa.



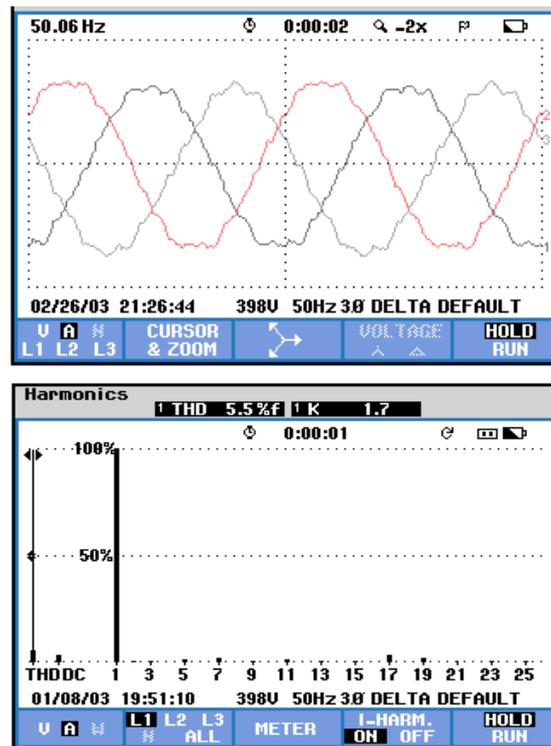
Gambar 5. Transformer Penggeser Fasa 1000 VA dengan 3 Keluaran di Sisi Sekunder

Gambar 5 merupakan gelombang arus dan spektrumnya yang mengalir ke sumber listrik yang dihasilkan oleh beban rectifier tiga fasa dan satu fasa, sebelum menggunakan transformer penggeser fasa *multi winding*. Terlihat bahwa gelombang arus terdistorsi sehingga menjadi tidak sinusoidal. Harmonisa yang timbul tampak pada spektrum arusnya. Arus ini mengalir ke sumber dan akan mengganggu sistem kelistrikan.

Gambar 6 menunjukkan gelombang arus dan spektrumnya setelah beban-beban taklinier tersebut melalui transformer penggeser fasa.



Gambar 6. Gelombang Arus Beban dan Spektrum Harmonisa Arus yang Dihasilkan Beban Rectifier Tiga Fasa dan Rectifier Satu Fasa



Gambar 7 .Gelombang Arus dan Spektrum Harmonisa setelah Menggunakan Transformmer Penggeser Fasa

Spektrum harmonisa yang dihasilkan pada Gambar 7, setelah menggunakan transformmer *multi winding*, menunjukkan bahwa harmonisa tereduksi dan muncul kembali pada orde ke 17 dan 19. Tentunya reduksi harmonisa ini tidak sempurna karena besarnya beban antara satu keluaran dan keluaran yang lain belum benar-benar seimbang. Bentuk gelombang arus menjadi lebih baik dan mendekati sinusoidal dibandingkan Gambar 6 yaitu sebelum menggunakan transformmer *multi winding*.

Perbandingan level distorsi (THD) arus yang mengalir ke sumber listrik antara sebelum dan sesudah penggunaan transformmer penggeser fasa dapat dilihat pada Tabel 1 Dari Tabel 1 terlihat bahwa THD arus turun dengan sangat tajam. Hal ini berarti penggunaan transformmer penggeser fasa berhasil menurunkan tingkat harmonisa.

Tabel 1. Perbandingan I_{THD} (%): Sebelum dan Sesudah Penggunaan Transformmer Penggeser Fasa

| Fasa | Sebelum Menggunakan Transformmer | Setelah Menggunakan Transformmer | Penurunan |
|-----------|----------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Harmonisa | $I_{THD}\%$ | $I_{THD}\%$ | $I_{THD}\%$ |
| R | 46.4 | 5.5 | 88.146 |
| S | 39.3 | 5.8 | 85.241 |
| T | 37.8 | 6.3 | 83.333 |

4. KESIMPULAN

Transformer penggeser fasa multi winding dapat digunakan untuk mengatasi harmonisa yang mengganggu sistem kelistrikan akibat penggunaan beban tak-linier. Pergeseran fasa pada transformer dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah rangkaian Δ pada sisi primer dan beberapa rangkaian zig-zag pada sisi sekunder trafo. Pada rangkaian zig-zag, besar setiap lengan dapat diatur sedemikian untuk menghasilkan pergeseran fasa sesuai kebutuhan. Melalui hasil percobaan pada laboratorium untuk transformer penggeser fasa tiga keluaran dengan beban campuran berupa rectifier tiga fasa dan rectifier satu fasa di sisi sekunder, % THD arus sesudah menggunakan alat transformer penggeser fasa turun secara tajam. Hal ini berarti penggunaan transformer penggeser fasa berhasil menurunkan tingkat harmonisa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ling, Philip J.A., Cyril J. Eldridge, B. Sc. *Designing Modern Electrical Systems With Transformers That Inherently Reduce Harmonic Distortion In A PC-Rich Environment*, Powersmiths International Corp, 2004.
- [2] Hoidalén, H.K, Sporild, R., *Using Zigzag Transformers with Phase-shift To Reduce Harmonics in AC-DC System*, IPST'05, Montreal, Canada, 2005
- [3] Sangkan, C., *Power Quality*. USA: CRC, 2002.
- [4] Tumbelaka, H.H., L.J. Borle, C.V. Nayar, and S.R.Lee, *A Grid Current-controlling Shunt Active Power Filter*, ICPE'07, Daegu, Korea, 2007
- [5] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB, 1991.



YAYASAN KESEJAHTERAAN PENDIDIKAN DAN PERUMAHAN
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN" JAWA TIMUR
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI



Sertifikat

Diberikan kepada :

Wenny Haniama Tumbelaka

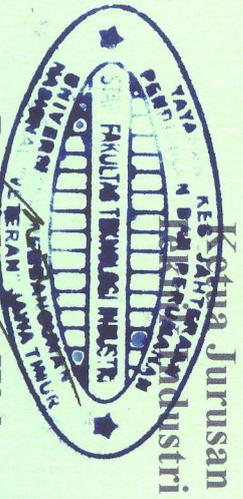
Atas Partisipasinya Sebagai :

Semakabab

Seminar Nasional Waluyo Jatmiko

"Otomatisasi Teknologi Industri Untuk Meningkatkan Daya Saing Industri Nasional"

Surabaya, 03 Juli 2012



Kesatuan Jurusan
Kesejahteraan Industri

Dr. Ir. Wito Waluyo, MM.

NIP. 19611130 199003 1 001

Ketua Panitia
Seminar Nasional Waluyo Jatmiko



Emny Ariyanti, ST., MT.

NPY. 3700 9950 0411