

ISBN : 978-979-99117-3-5



# **PROSIDING**

## **SEMILAR 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  $20^\circ$ , 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.

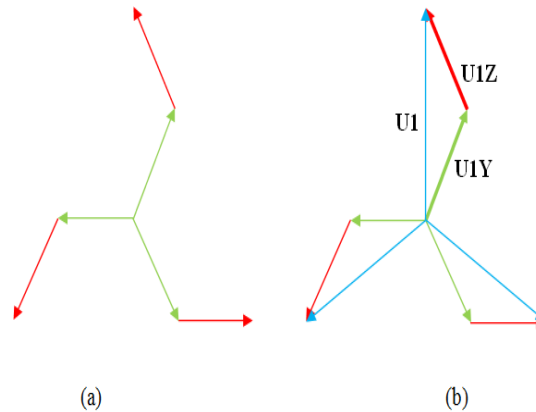
Kelompok hubungan (angka lonceng) dan pergeseran fasa yang lazim digunakan menurut VDE 0532 [5] yaitu:

- Pergeseran fasa sejauh  $0^\circ$  dengan kelompok hubungan Dd0, Yy0, dan Dz0.

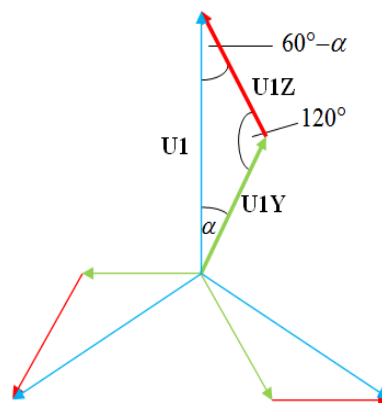
- Pergeseran fasa sejauh  $180^\circ$  dengan kelompok hubungan Dd6, Yy6, dan Dz6.
- Pergeseran fasa sejauh  $150^\circ$  dengan kelompok hubungan Dy5, Yd5, Yz5.
- Pergeseran fasa sejauh  $30^\circ$  dengan kelompok hubungan Dy11, Yd11, Yz11.

## 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  $\alpha$ , 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  $0^\circ$  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] :

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

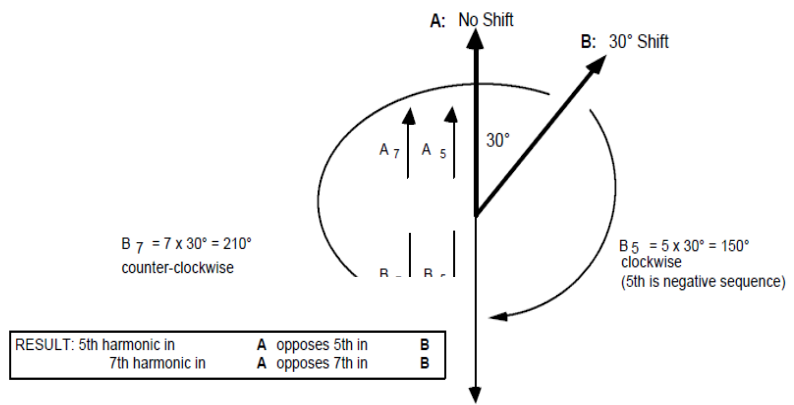
$$U1Z = \frac{U1 \sin \alpha}{\sin 120^\circ} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

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

**2.2 REDUKSI HARMONISA DENGAN TRANSFORMER PENGGESER FASA**

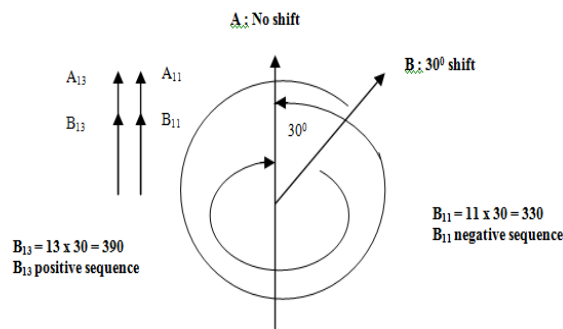
Untuk mereduksi harmonisa yang terjadi, maka dapat digunakan transformer dengan sebuah kumparan pada sisi primer dan beberapa kumparan pada sisi sekunder (atau boleh juga disebut kumparan sekunder, tersier dst.). Kumparan primer dihubungkan secara delta untuk menahan harmonisa kelipatan tiga bila terdapat 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 A<sub>5</sub> dan B<sub>5</sub> 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 A<sub>7</sub> dan B<sub>7</sub> 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  $330^\circ$  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  $390^\circ$  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  $20^\circ$ . 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.

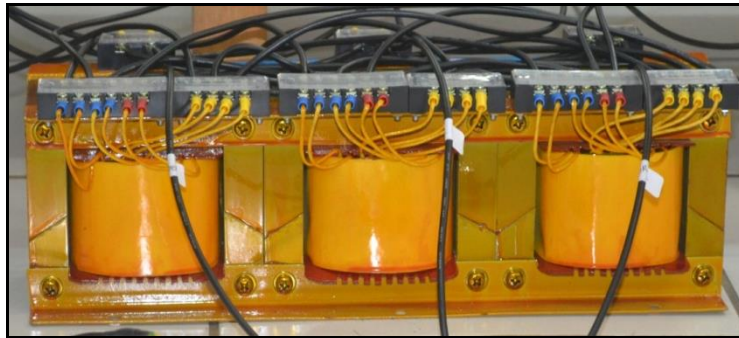
Bila transformer dirancang dengan 4 keluaran, maka terjadi pergeseran fasa sejauh  $15^\circ$ . Pergeseran fasa tersebut membuat terjadinya superposisi pada harmonisa arus di masing-masing keluaran, yang kemudian mereduksi harmonisa hingga orde ke 21, dan muncul kembali pada orde ke 23 dan ke 25. Begitu 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  $20^\circ$ . Gambar transformer



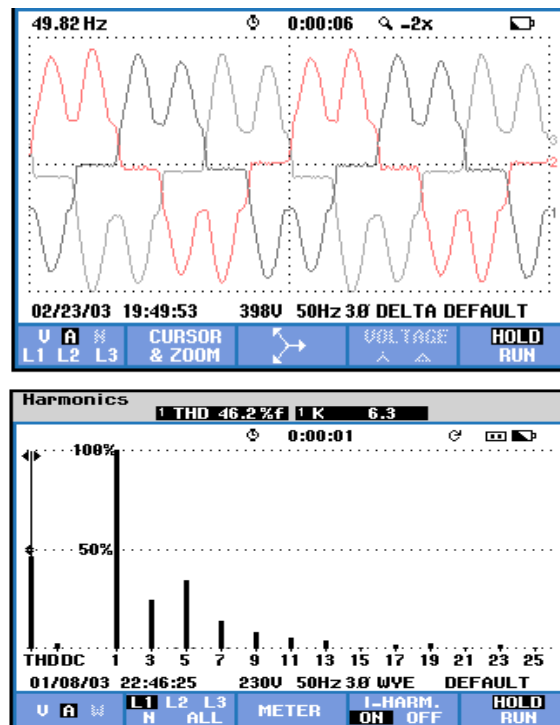
*multi winding* dapat dilihat pada Gambar 5. Beban yang dipasang pada setiap keluaran adalah beban rectifier 3 fasa dan beban 3 x rectifier 1 fasa.



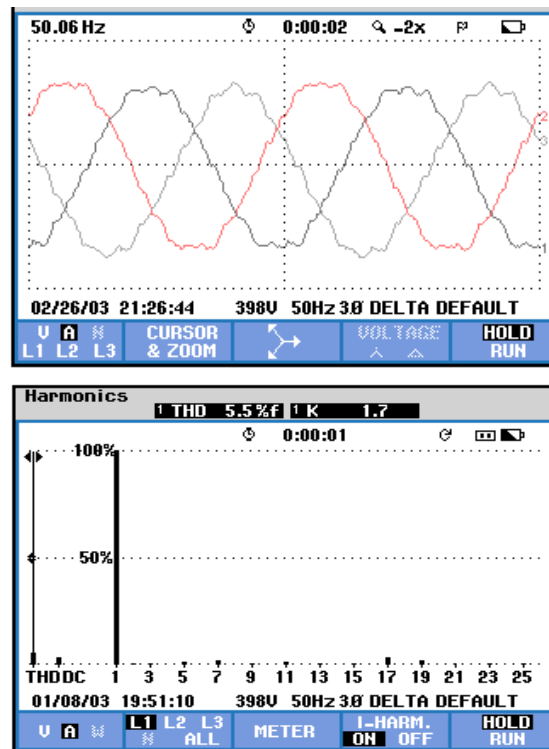
Gambar 5. Transformer Penggeser Fasa 1000 VA dengan 3 Keluaran di Sisi Sekunder

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  $\Delta$  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] Sangkaran, 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 Haryana Tumbelaka*

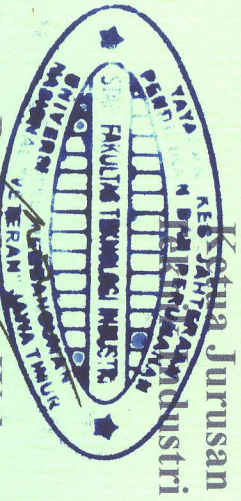
Atas Partisipasinya Sebagai :

*Semakabab*

## Seminar Nasional Waluyo Jatmiko

"Otomatisasi Teknologi Industri Untuk Meningkatkan Daya Saing Industri Nasional"

Surabaya, 03 Juli 2012



Kesatuan Jurusan  
Kesejahteraan Industri

Dr. Ir. Wihito Waluyo, MM.

NIP. 19611130 199003 1 001



Ketua Panitia  
Seminar Nasional Waluyo Jatmiko

Emny Ariyani, ST., MT.

NPY. 3700 9950 0411