

Perancangan Inverter Sinusoida 1 Fasa dengan Aplikasi Pemrograman Rumus Parabola dan Segitiga Sebagai Pembangkit Pulsa PWM

Agus Rusdiyanto
P2Telimek, LIPI
riesdian@gmail.com

Bambang Susanto
P2Telimek, LIPI
B3nks@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan inverter saat ini sangat banyak terutama di industri, kantor, maupun di perumahan. Bahkan dengan munculnya energi alternatif seperti solar sel, turbin angin, fuel cell, tidak lepas dari penggunaan inverter. Walaupun inverter kini banyak dipasaran namun keluaran yang dihasilkan masih banyak kelemahan, diantaranya bentuk gelombang yang tidak ideal dan adanya kandungan harmonisa yang justru akan merusak peralatan yang disuplainya.

Inverter jenis True Sine Wave adalah jenis gelombang terbaik yang dapat dihasilkan oleh inverter saat ini. Gelombang yang dihasilkan sangat ideal bahkan mungkin lebih baik dari gelombang yang dihasilkan listrik untuk rumah. Untuk memperoleh hasil tersebut digunakan teknik penghilangan harmonisa yaitu membuat pola gelombang yang diprogram dan didukung dengan adanya komponen daya yang mempunyai kecepatan respon yang tinggi untuk pengaturan pada pembangkit sinyal kendali PWM.

Berdasarkan pola gelombang tersebut dibuat program pembangkit sinyal kendali PWM yang dikendalikan oleh mikroprosesor, kemudian diterapkan pada inverter satu fasa jembatan penuh yang menggunakan komponen daya mosfet.

Kata kunci: inverter, harmonisa, PWM, mikroprosesor

1. Pendahuluan

Banyak sumber-sumber listrik yang tidak terlepas dari penggunaan inverter saat ini antara lain: UPS (Unteruptable Power System) yaitu merupakan sumber listrik cadangan yang berasal dari batere yang memiliki tegangan searah (DC) kemudian diubah melalui inverter menjadi tegangan bolak-balik (AC) sehingga dapat menggantikan energi listrik dari suplai daya utama (PLN).

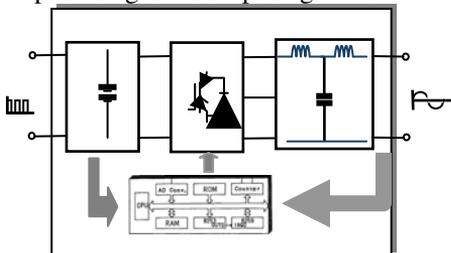
Inverter yang digunakan sebagai suplai daya memberikan keuntungan dibandingkan dengan suplai daya utama (PLN), yaitu membangkitkan tegangan/arus yang konstan serta frekuensi yang konstan pula meski terjadi perubahan beban. Akan tetapi muncul suatu kekurangan yaitu bahwa inverter ini selalu menghasilkan harmonisa yang besar, dibandingkan dengan sumber dari pembangkit (PLN) yang tidak mempunyai

harmonisa karena tegangan/arusnya sudah berupa sinus murni (*Pure Sine Wave*).

Harmonisa inilah yang mempengaruhi kualitas daya (*Energy Quality*) yang dihasilkan inverter dan akan mengganggu dan sekaligus dapat mempercepat umur beban yang disuplainya. Sebagai contoh bila inverter tersebut digunakan untuk menggerakkan motor pada kondisi frekuensi yang diubah-ubah, motor akan mengeluarkan noise karena adanya harmonisa yang terkandung dalam tegangan input. Akibatnya bisa timbul panas dan torsi yang melonjak-lonjak pada kecepatan rendah. Bahkan harmonisa yang dihasilkan inverter yang juga disertai noise, ripple, transient dapat menyebabkan operasi beban tidak efisien dan dapat merusak perangkat. Berdasarkan Tabel 4 Kelas Level Harmonisa SNI 04-7021.2.1-2004, harmonisa yang terjadi pada jaringan listrik tidak boleh melebihi 5%.

2. Perancangan sistem

Dalam penelitian ini akan dirancang inverter 1 fasa dengan spesifikasi : $V_{in} = 12$ Vdc, $V_{out} = 220$ Vac, $P = 1$ KW, bentuk gelombang outputnya sinus murni (*Pure Sine Wave*) dengan menggunakan komponen utama mikroprosesor sebagai pembangkit sinyal kendalinya. Secara keseluruhan sistem perancangan inverter satu fasa dapat dilihat pada diagram blok pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram blok inverter PWM 1 Fasa dengan kendali mikrokontroler

Dari gambar 1, secara garis besar dapat dijelaskan prinsip kerja inverter sebagai berikut :

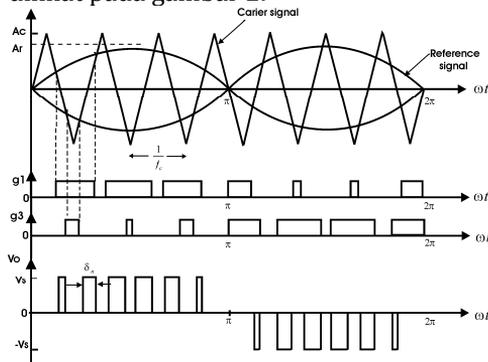
- Batere mensuplai tegangan DC yang nantinya diubah ke bentuk tegangan AC, batere ini juga digunakan untuk mensuplai mikroprosesor.
- Dalam mikroprosesor dilakukan pemrograman untuk menghasilkan PWM.
- PWM Sebagai penghasil pulsa tegangan yang digunakan untuk mendriver mosfet dengan duty cycle yang berubah-ubah.
- Mosfet sebagai swithcing, dipilih karena memiliki waktu swithcing yang cepat.
- Kapasitor sebagai filter untuk mengurangi ripple tegangan.
- Induktor digunakan untuk mengurangi ripple arus.
- Keluaran dari filter, PWM tadi diharapkan sudah berubah bentuk menjadi tegangan AC yang sinusoida.

3. Proses pembangkitan PWM

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa pembangkitan PWM dilakukan melalui pemrograman dalam mikroprosesor. Mikroprosesor yang digunakan adalah jenis AT89C51. Kecepatan kerja sistem mikroprosesor merupakan pembatas dalam desain sistem. Oleh karena itu, sinyal kendali inverter dibangkitkan dengan cara mengambil data yang disimpan sebagai pola gelombang dalam memori. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa sinyal PWM tersebut dibentuk dari 2 buah sinyal sinus dan 1 sinyal segitiga atau dengan menggunakan 1 buah sinyal sinus dan 2 buah sinyal segitiga.

Untuk menghasilkan sinyal PWM tersebut dapat menggunakan 2 buah sinyal sinus dan 1 sinyal segitiga atau dengan menggunakan 1 buah sinyal sinus dan 2 buah sinyal segitiga.

Pada proses pembangkitan SPWM dengan menggunakan 2 buah sinyal sinus dan sebuah sinyal segitiga, dilakukan perbandingan amplitudo antara sinyal segitiga dengan sinyal sinus. Sinyal penggerak akan dibangkitkan apabila amplitudo sinyal sinus lebih besar daripada amplitudo sinyal segitiga. Masing-masing sinyal penggerak digunakan untuk penyaklaran sehingga diperoleh sinyal PWM. Proses pembangkitan SPWM tersebut dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Proses pembangkitan sinyal PWM

Dari gambar 2 diatas dapat digambarkan sebagai berikut:

Proses pembangkitan SPWM secara digital dapat dilakukan dengan membangkitkan gelombang segitiga dan gelombang sinus secara diskret dengan metode *look up table*. Kemudian dilakukan perbandingan untuk masing-masing nilai amplitudo gelombang sinus dan segitiga. Cara ini sama halnya dengan membangkitkan gelombang sinus analog dan gelombang segitiga analog secara digital. Dengan mencari terlebih dahulu waktu (perpotongan) untuk setiap pulsa masing-masing sinyal penggerak, untuk dijadikan data dalam proses pembangkitan sinyal penggerak secara *look up table*.

Sinyal sinus (*reference signal*) diperoleh dari hasil pemrograman dalam mikroprosesor dengan rumus persamaan parabola yaitu :

$$y = m (x - p) (x - q) \quad (1)$$

dimana :

y = amplitudo

x = periode

m = gradien

p & q = titik potong parabola pada sumbu x untuk setengah periode. Sinyal segitiga (*carier signal*) dihasilkan dari persamaan segitiga yaitu :

$$y = mx \pm c \quad (2)$$

dimana :

y = amplitudo

x = periode

m = gradien

c = konstanta

Masing-masing sinyal penggerak digunakan untuk penyaklaran sehingga diperoleh sinyal PWM. Diagram alir proses pembangkitan PWM dapat dilihat pada gambar 3.

3.1 Filter pasif

Filter Pasif tersusun dari kapasitor dan induktor dengan satu frekuensi yang disetting pada frekuensi tegangan harmonisa dan ripple tegangan yang akan dihilangkan.

$$f_f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

dimana:

fr = Frekuensi setting.

L = Induktansi.

C = Kapasitansi.

Karakteristik susunan frekuensi setting filter:

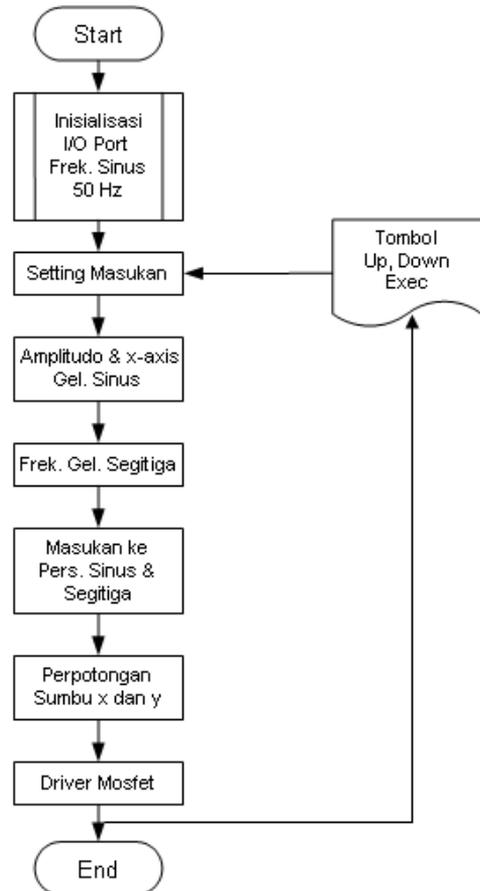
$$n_r = f_r / f_1 \quad (4)$$

dimana:

nr = Orde dari resonansi.

fr = Frekuensi setting.

f1 = Frekuensi fundamental.



Gambar 3 Diagram alir proses pembangkitan PWM

Karakteristik kompensasi daya reaktif:

$$Q_{var} = \frac{n_r^2}{n_{r-1}^2} U_1^2 C 2\pi f_1 \quad (5)$$

dimana:

Q_{var} = Daya reaktif untuk kompensasi.

U1 = Tegangan fasa-fasa.

C = Kapasitansi.

f1 = Frekuensi fundamental.

Karakteristik impedansi:

$$X_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (6)$$

dimana:

X_o = Impedansi filter.

Karakteristik faktor kualitas:

$$q = X_o/r$$

dimana:

q = Faktor kualitas dari reaktor.

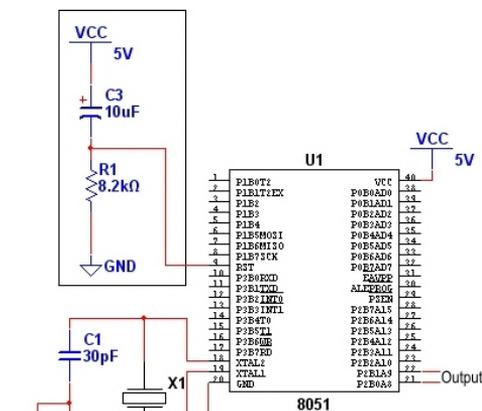
X_o = Impedansi filter.

r = Tahanan reaktor.

4. Pengujian dan analisa

4.1 Pengujian pembangkit sinyal sinus dan sinyal segitiga

Untuk melakukan pengujian pembangkit gelombang sinus dan gelombang segitiga memerlukan oscilloscop untuk dapat mengetahui bentuk gelombang keluaran rangkaian tersebut. Melalui pemrograman dengan menggunakan rumus parabola dan rumus segitiga kemudian hasil pemrograman tersebut kita download ke dalam chip mikroprosesor.

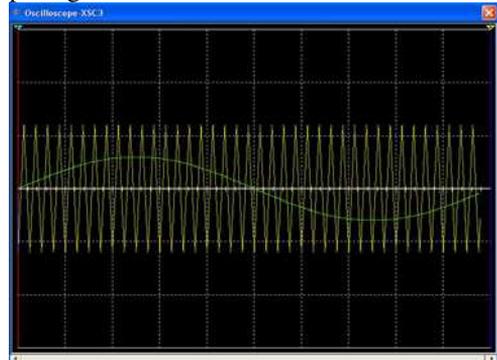


Gambar 4 Minimum sistem mikroprosesor penghasil sinyal sinus dan segitiga

Pada gambar 4 diatas output dari hasil pemrograman dapat diukur melalui 2 port, yaitu port (P2.0 dan P2.1) pada kaki 21 dan 22 IC mikroprosesor. Port P2.0 merupakan alamat yang berisikan data-data penghasil

sinyal sinus, dan port P2.1 merupakan alamat yang berisikan data-data penghasil sinyal segi tiga.

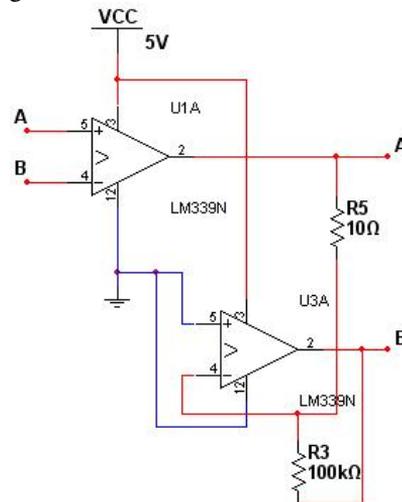
Hasil pengujian kedua sinyal melalui pengukuran kedua port tersebut dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5 Gambar gelombang sinus dan gelombang segitiga

4.2 Pengujian komparator LM339N

Rangkaian komparator LM 393 berfungsi untuk membandingkan gelombang sinus dan gelombang segitiga keluaran dari mikroprosesor port P2.0 dan P2.1 (titik A dan B input komparator), seperti pada gambar 6.

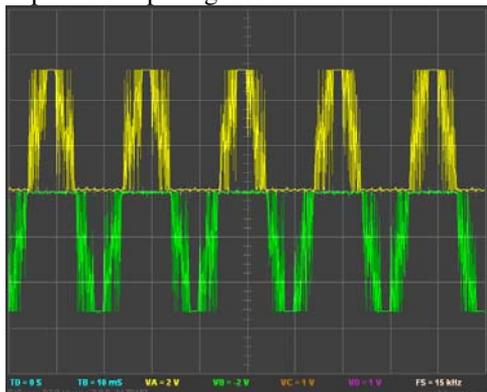


Gambar 6 Komparator sebagai pembanding antara dua sinyal pembentuk PWM

Proses pembangkitan PWM dapat dilakukan dengan membangkitkan gelombang sinus dan gelombang segi tiga secara diskret dengan metode *look up table*.

Kemudian dilakukan perbandingan untuk masing-masing nilai amplitudo gelombang sinus dan segitiga.

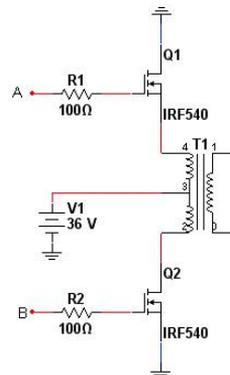
Hasil perbandingan kedua sinyal melalui pengukuran output komparator tersebut dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7 Sinyal PWM keluaran komparator

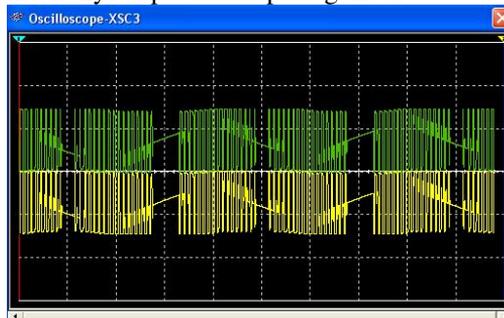
4.3 Pengujian rangkaian Mosfet

Sebagai mana telah dijelaskan bahwa inverter ini menggunakan konfigurasi tap tengah, maka rangkaian daya mosfet ini digunakan sebagai switching terhadap terminal negatif (ground) batere terhadap sisi primer trafo. Sedangkan tegangan positifnya mendapat suplay secara kontinyu dari terminal positif batere. Mosfet harus dapat dengan cepat memberikan arus dan membuang arus pada saat berada pada switching frekuensi tinggi (50 – 100 ns). Rangkaian daya mosfet ini sebelumnya diisolasi dengan rangkaian optokopler agar tidak terjadi gangguan yang dapat mempengaruhi rangkaian kontrol saat dilakukan pembebanan. Dengan daya maksimum 40 ampere (IRF540) dan kecepatan switching yang tinggi, komponen ini sangat efektif untuk digunakan. Konfigurasi rangkaian dayanya dapat dilihat pada gambar 8.



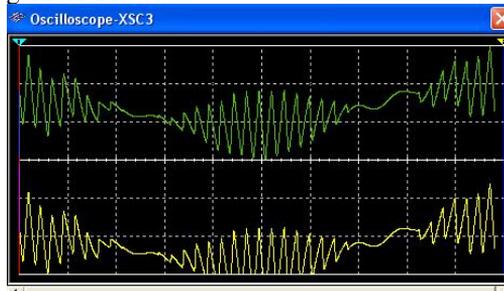
Gambar 8 Konfigurasi Mosfet pada Inverter Tap tengah

Hasil pengujian rangkaian daya mosfetnya dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9 Pengujian rangkaian daya Mosfet

Sedangkan hasil pengujian daya mosfet dengan filter kapasitor dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Pengujian rangkaian daya Mosfet dengan filter kapasitor

4.4 Pengujian rangkaian filter Harmonisa dan ripple pada sisi sekunder trafo (beban)

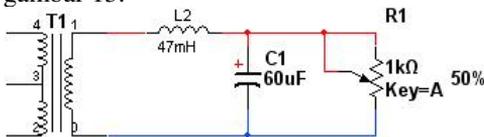
Rangkaian filter ini terdiri dari induktor (L) yang dipasang seri terhadap beban dan kapasitor(C) yang dipasang paralel terhadap

beban. Rangkaian LC filter ini digunakan untuk menghilangkan ripple tegangan dan arus akibat pembebanan pada sisi sekunder trafo. Fungsi lain dari rangkaian LC filter ini juga dapat mengurangi harmonisa orde tinggi pada keluaran trafo, sehingga dengan berbagai kombinasi L dan C dapat dicari faktor kualitas/bentuk yang mendekati ideal.

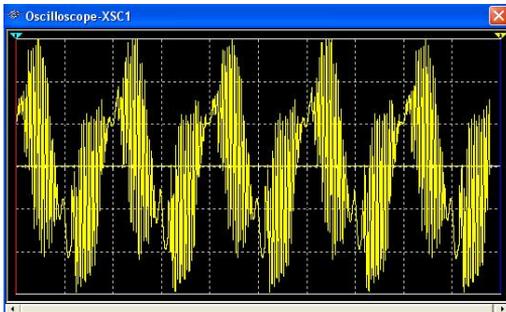
Konfigurasi rangkaian LC filter dapat dilihat pada gambar 11.

Hasil pengujian keluaran inverter pada sisi sekunder trafo sebelum dipasang LC filter adalah seperti pada gambar 12.

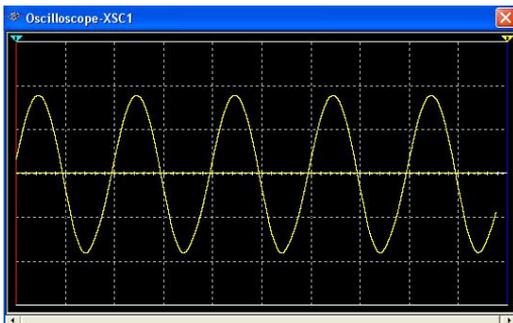
Sedangkan hasil pengujian keluaran inverter pada sisi sekunder trafo setelah dipasang LC filter adalah seperti pada gambar 13.



Gambar 11 Konfigurasi rangkaian LC filter



Gambar 12 Pengujian keluaran inverter pada sisi sekunder trafo sebelum dipasang LC filter



Gambar 13 Pengujian keluaran inverter pada sisi sekunder trafo setelah dipasang LC filter

4.5 Analisa harmonisa keluaran inverter

Dari hasil pengujian keluaran inverter sebelum di filter terdapat distorsi harmonik (THD) sebesar 12,6%. Pemasangan Pasif Filter terbukti dapat meredam ripple dan harmonisa orde tinggi tegangan keluaran inverter. Hasil dari beberapa percobaan pemasangan filter di sisi sekunder trafo dengan kombinasi nilai L dan C yang berubah-ubah, maka dengan nilai $L=47\text{mH}$, dan $C = 60\mu\text{F}$, mampu meredam harmonisa sebesar 12% menjadi 0.6%.

Penambahan pemasangan kapasitor di sisi primer trafo dilakukan untuk mengatasi tegangan jatuh pada batere saat pembebanan awal, juga untuk meredam distorsy harmonisa PWM yang timbul dari system kendali yang terdiri dari komponen-komponen semikonduktor dan komponen elektronika daya.

Sedangkan untuk menghilangkan harmonisa orde rendah dilakukan dengan mengatur ulang waktu dan jumlah pemberian pulsa pembawa ke PWM. Teknik ini dapat menentukan waktu dan jumlah pulsa yang tepat yang harus diberikan ke PWM inverter sehingga menghasilkan harmonisa yang minimal dari keluaran inverter. Frekuensi sinyal pembawa harus merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya sehingga akan berpengaruh pada faktor bentuk gelombang keluaran serta untuk mengantisipasi timbulnya harmonisa.

5. Kesimpulan

- Penggunaan mikroprosesor sangat efektif digunakan sebagai pembangkit sinyal PWM pada inverter, dimana setting waktu dan jumlah sinyal dapat ditentukan sesuai keinginan hanya dengan merubah program.
- PWM dihasilkan dengan membandingkan gelombang fundamental (sinus) dan gelombang pembawa (segitiga) secara diskret dengan metode *look up table*. Kemudian dari titik potong kedua gelombang tersebut akan dihasilkan

deretan pulsa dengan *duty cycle* yang berbeda.

- Frekuensi sinyal pembawa haruslah kelipatan dari frekuensi sinyal fundamentalnya agar dihasilkan PWM yang simetris.
- Mosfet sebagai switching dipilih karena memiliki waktu switching yang cepat, dengan mempertimbangkan kapasitas daya inverter dan tegangan batere yang digunakan maka akan didapat rating arus yang diinginkan.
- Pemasangan pasif filter berhasil meredam ripple dan harmonisa orde tinggi tegangan keluaran inverter, sedangkan untuk meredam harmonisa orde rendahnya dilakukan mengatur ulang waktu dan jumlah pemberian pulsa pembawa ke PWM.

10. Daftar pustaka

- [1] Yanuarsyah Haroen, "Elektronika Daya Lanjut, EL 642", Jurusan Teknik Elektro – FTI, Institut Teknologi Bandung, 1998.
- [2] Tole Sutikno, "Pembangkit Sinyal PWM Sinusoida Dua Fasa Berbasis FPGA", Program Studi Teknik Elektro, Program Pasca Sarjana, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 2004.
- [3] Francisco C. De La Rosa, "Harmonics And Power Systems, Distribution Control Systems", Inc., Taylor and Francis Group, Hazelwood, Missouri, USA, 2006.
- [4] National Instruments, "Multisim User Guide", Electronics Workbench Group, Texas, USA, 2007.
- [5] Yusak Tanoto, et. al, "Simulasi Filter Pasif dan Perbandingan Unjuk Kerjanya dengan Filter Aktif Hibrid dalam Meredam Harmonisa pada Induction Furnace", Jurnal Teknik Elektro, Vol. 5, UK Petra, Surabaya, 2005