SIMULASI KENDALI BISING AKTIF UNTUK MENGURANGI EFEK HARMONISA PADA TRANSFORMATOR

Abstract

Harmonics distortion is still significant problem in power quality of electrical system. The rapid growths of power electronics give great contributions to harmonics. Thyristor switchings or power electronic converters are example of nonlinear loads that take current from power source nonsinusoidally.
In this research, harmonics minimisation is considered using destructive interferention between source signal and harmonics signals that have difference phase with the source signal. Adaptive filter can generate harmonics signals that phase sensitive and shifting them by 180^0, such that destructive interference can result sinusoidal signal without distortion.

Keywords: Harmonics distortion, nonlinear load, nonsinusoidal signal, Power electrics quality, destructive interferention, adaptive filter.

Ringkasan

Distorsi harmonisa merupakan permasalahan yang masih sangat penting dalam kualitas daya sistem kelistrikan. Perkembangan elektronika daya yang sangat pesat memberikan kontribusi yang besar akan terjadinya harmonisa. Switching thyristor , atau konverter daya elektronik merupakan contoh beban non-linear yang menarik arus dari sumber daya secara nonsinusoidal.
Pada penelitian ini minimisasi harmonisa dilakukan dengan interferensi destruktif sinyal sumber dengan sinyal harmonisa yang berlawanan fasa dengan sinyal sumber. Filter adaptif yang digunakan mampu membangkitkan sinyal harmonisa yang peka terhadap fasa dan menggesernya sebesar 180^0, sehingga interferensi destruktif yang dilakukan akan memberikan hasil sinyal sinusoidal yang tidak terdistorsi.

Kata Kunci: Distorsi Harmonisa, Beban Nonlinear, Sinyal Nonsinusoidal, Kualitas Daya Listrik, Interferensi Destruktif, Filter adaptif

1. Pendahuluan

Harmonisa pada sistem distribusi sangat mengganggu akan kualitas listrik yang diberikan oleh sumber tegangan menengah ke industri. Efek harmonisa ini sangat terasa pada beban nonlinear yang satu fasa terhadap sumber listrik tiga fasa. Beban-beban satu fasa nonlinear pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat dengan trafo tiga fasa yang biasanya mempunyai hubungan delta-wye akan menyebabkan arus netral sekunder lebih besar dari pada arus fasanya. Harmonisa arus ini dapat menyebabkan rugi-rugi trafo meningkat.

Banyak literatur yang telah membahas efek harmonisa ini, begitu pula solusi yang ditawarkan. Dugan[1] menyarankan untuk meminimasi harmonisa dengan menggunakan filter yang dapat memodifikasi respon frekuensi sistem, sedangkan Lowenstein[2] menggunakan induktor yang dipasang secara seri dengan kapasitor, dimana kapasitor difungsikan sebagai filter dan koreksi faktor daya. Untuk tinjauan jangka pendek Mindconnection[6] menyarankan dengan memperbesar ukuran konduktor netral dan melakukan *derating* trafo.

Pada penelitian ini analisa gelombang harmonisa lebih ditekankan pada gelombang arus yang dihasilkan oleh sistem kelistrikan. Metoda analisa deret Fourier terhadap sebuah gelombang arus periodik sangat membantu karena dapat menguraikan gelombang berdasarkan komponen-komponen harmonisanya, yaitu komponen arus fundamental yang memiliki frekuensi sama dengan frekuensi sistem dan komponen-komponen arus harmonisa yang memiliki frekuensi sama dengan kelipatan frekuensi sistem.

Tujuan penelitian ini membahas metoda minimisasi harmonisa dengan sistem kendali bising aktif, dimana dasar dari kendali bising aktif ini adalah interferensi destruktif antara sinyal sumber dengan sinyal bising, dalam hal ini bising yang dimaksud adalah sinyal harmonisa yang tidak diinginkan.. Gelombang harmonisa frekuensi lebih tinggi dari frekuensi fundamental dibangkitkan dengan rangkaian filter yang mampu membalikkan fasa atau menggeser fasa sebesar 180^0. Kemudian gelombang sumber, yaitu gelombang terdistorsi, diinterferensikan secara destruktif dengan gelombang yang dibangkitkan. Filter adaptif yang diterapkan dapat mendeteksi perubahan fasa dari harmonisa agar interferensi destruktif bekerja.

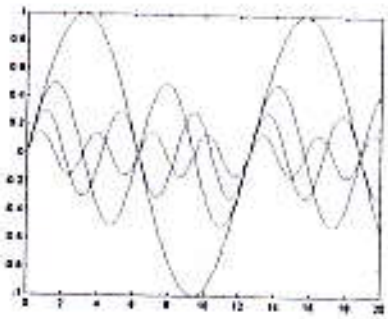
Pengujian terhadap metoda ini dilakukan dengan menganalisanya dan mensimulasikan sistem minimisasi harmonisa tersebut dengan bantuan program Matlab 5.30.

Penulis mengharapkan penelitian ini dapat membantu sistem kelistrikan yang ada sekarang ini di Indonesia khususnya ataupun dapat membantu memberikan alternatif pemecahan masalah dalam konversi energi listrik terutama dengan pengembangan komponen-komponen elektronika yang dapat digunakan sebagai rangkaian yang dapat mengurangi kerugian kelistrikan.

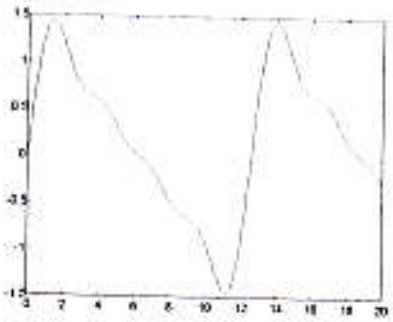
2. Harmonisa

2.1 Gelombang Harmonisa

Tinjau Gambar 1, gelombang terdistorsi merupakan superposisi dari gelombang sinusoid dengan frekuensi yang berbeda. Gelombang terdistorsi dibentuk oleh gelombang fundamental dengan frekuensi terendah, f, dan gelombang sinus lainnya yang frekuensinya kelipatan dari f, yaitu 2f, 3f, 4f, dan seterusnya.



Gambar 1a



Gambar 1b

Gambar 1:1a. Gelombang dasar dan harmonik ke-2, ke-3, dan ke-4
1b. Gelombang terdistorsi dari Gambar 1a

Persamaan gelombang secara umum dengan amplituda dan fasanya adalah sebagai berikut:

$e_1 = E_1 \sin(\omega t + \phi_1)$ gel.dasar (harmonik ke-1)

$e_2 = E_2 \sin(2\omega t + \phi_2)$ gel. harmonik ke-2

$e_3 = E_3 \sin(3\omega t + \phi_3)$ gel. harmonik ke-3

$e_n = E_n \sin(n\omega t + \phi_n)$ gel. harmonik ke-n

sehingga gelombang terdistorsi adalah:

$$e = e_1 + e_2 + e_3 + \ldots + e_n \tag{1}$$

$$e = E_1 \sin(\omega t + \phi_1) + E_2 \sin(2\omega t + \phi_2) + \ldots + E_n \sin(n\omega t + \phi_n) \tag{2}$$

Untuk sistem distribusi tiga fasa empat kawat, harmonisa menyebabkan nilai rms arus yang mengalir di kabel distribusi menjadi lebih besar dibandingkan yang digunakan oleh beban dan faktor daya efektif yang dirasakan sumber akan lebih rendah dibanding apabila arus yang mengalir berbentuk sinusoidal. Tinjau beban satu fasa dengan beban nonlinear, maka arus bebannya mempunyai bentuk nonsinusoidal:

$$i_a = \sqrt{2} \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(n\omega t - \phi_n) \tag{3}$$

dengan I_n adalah nilai arus efektif komponen harmonisa ke-n dan ϕ_n adalah sudut fasa komponen harmonisa ke-n. Nilai rms arus tersebut adalah:

$$I_a = \left[\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2\right]^{1/2} = \left[I_1^2 + \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2\right]^{1/2} \tag{4}$$

Kandungan harmonisa arus dinyatakan dengan THD (*total harmonics distortion*):

$$THD = \frac{\left[\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2\right]^{1/2}}{I_1} \tag{5}$$

Faktor daya PF didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif P dan daya kompleks S yang dinyatakan sebagai:

$$PF = \frac{P}{S} \tag{6}$$

dimana daya aktif didefinisikan sebagai:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)dt = \frac{1}{T}\int_0^T v_S(t).i_s(t)dt \tag{7}$$

atau

$$P = V_s I_1 \cos\phi_1 \tag{8}$$

Daya kompleks S adalah perkalian antara tegangan efektif V_S dan arus efektif I_S, yang dinyatakan sebagai :

$$S = V_s I_s \tag{9}$$

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{I_1}{I_s}\cos\phi_1 \tag{10}$$

$$PF = \frac{\cos\phi_1}{\sqrt{1+THD^2}} \tag{11}$$

Dari Persamaan (11) arus yang nonsinuoidal akan menyebabkan faktor daya sistem menjadi lebih rendah bergantung pada THD yang dimiliki oleh arus yang mengalir.

2.2 Harmonisa Pada Transformator Distribusi

Harmonisa menyebabkan rugi-rugi inti dan tembaga transformator meningkat. Peningkatan rugi-rugi ini terutama terjadi pada rugi-rugi tembaga karena resistansi kawat transformator akan meningkat dengan tingginya frekuensi harmonisa arus.

Pengaruh utama dari rugi-rugi transformator yang disebabkan oleh harmonisa adalah panas tambahan. Panas tambahan ini akan membutuhkan penurunan rating transformator terhadap beban. Hal ini diperlukan untuk menjamin transformator bekerja pada temperatur ratingnya. Waktu hidup transformator akan berkurang ketika bekerja di atas temperatur ratingnya.

Pada transformator ada rugi-rugi yang disebabkan oleh kebocoran fluks magnetik. Arus induksi karena kebocoran fluks magnetik ini disebut arus Eddy. Arus Eddy ini mengalir pada belitan, inti, dan bagian konduktor lain. Komponen rugi-rugi transformator karena arus Eddy ini disebut *Stray losses* dan meningkat dengan kuadrat arus Eddy. Kemampuan transformator dalam menerima rugi-rugi yang disebabkan oleh harmonisa disebut faktor K.

$$K = \frac{I_1^2 + 2^2 I_2^2 + 3^2 I_3^2 + \ldots + n^2 I_n^2}{I_s^2} \tag{12}$$

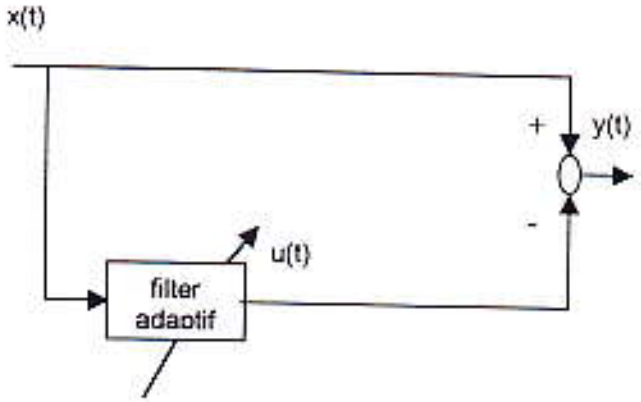
dengan n = orde dari harmonisa. Terlihat bahwa faktor K ini menyatakan potensi dari efek pemanasan karena adanya arus harmonisa.

3. Sistem Kendali Bising Aktif

Sistem kendali bising aktif untuk minimisasi harmonisa menggunakan prinsip interferensi destruktif antara sinyal bising (dalam hal ini adalah arus harmonisa ke-n, dengan n = 2,3,4,...) dan sinyal antibising (dalam hal ini arus harmonisa yang dibangkitkan filter adaptif dengan fasa berbeda 180^0). Metoda interferensi destruktif ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 2.

Pada Gambar 2 Blok Filter Adaptif menggambarkan pendekatan estimasi filter yang digunakan untuk mendeteksi Amplitudo dan fasa dari arus harmonisa. Estimasi parameter lebih ditekankan pada fasa dari arus harmonisa, karena pada interferensi destruktif bila dua sinyal yang sama akan dihilangkan harus memiliki beda fasa 180^0. Bila beda fasa tidak 180^0, sinyal yang dihasilkan tidak sama dengan nol. Algoritma filter adaptif yang digunakan berdasarkan analisis deret Fourier seperti pada Wildi[3].

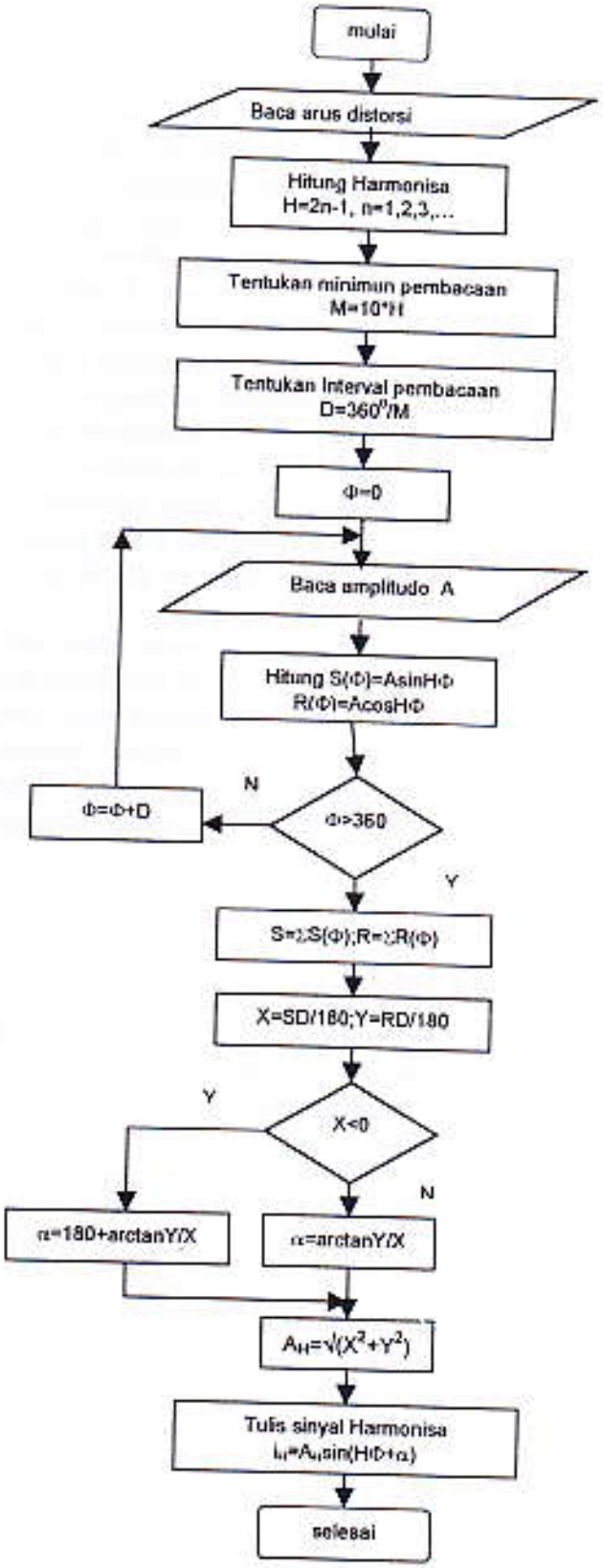
Dalam analisi deret Fourier diketahui bahwa sinyal periodik terdistorsi ada yang memiliki sifat simetris, baik simetris ganjil ataupun simetris genap. Pada sistem kelistrikan yang ditinjau, sinyal terdistorsi merupakan superposisi antara sinyal fundamental dengan sinyal-sinyal harmonisanya. Kita ketahui bahwa sinyal fundamental yang disuplai oleh Sumber listrik adalah sinusoidal ataupun cosinusoidal. Oleh karena sinyal sinusoidal memiliki sifat simetris ganjil atau genap maka harmonisa yang muncul pada koefisien analisis deret Fourier adalah harmonisa ganjil, yaitu harmonisa ke-(2n-1), dengan n > 0.



Gambar 2 Blok Diagram Peredaman

Dimana :
x(t): sinyal terdistorsi
u(t): sinyal harmonisa dengan sudut fasa + 180^0
y(t): sinyal output hasil interferensi destruktif antara sinyal terdistorsi dan sinyal harmonisa.

Algoritma filter adaptif dapat dilihat pada Gambar 3. Dari algoritma tersebut dapat dilihat bahwa minimum pembacaan amplitudo arus terdistorsi bergantung pada orde harmonisa. Bila harmonisa ganjil terkecil adalah H = 3, maka pembacaan minimum adalah M = 10H = 30. Pada sistem kelistrikan harmonisa di atas harmonisa ke-31 dapat diabaikan, sehingga pembacaan minimum tertinggi adalah M = 10H = 310. Jumlah pembacaan minimum tersebut masih dalam batas kemampuan algoritma untuk mengestimasi fasa secara cukup teliti. Penggunaan program Matlab untuk mengestimasi fasa arus harmonisa tersebut dilakukan secara *off-line*. Dari algoritma ini diperoleh sinyal harmonisa berbentuk $I_H = A_H \sin(H\theta + \alpha)$. Sinyal harmonisa ini diumpanbalikkan oleh kontroller ke penjumlah sinyal setelah sinyal harmonisa ini digeser fasanya sebesar 180^0. Apabila hasil penjumlahan sinyal harmonisa dengan sinyal sumber tidak menghasilkan sinyal sinusoidal, maka algoritma filter adaptif diulangi kembali.



Gambar 3 Diagram alir algoritma filter adaptif

4. Simulasi dan Analisa

Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar 4a merupakan sinyal terdistorsi dari penjumlahan harmonisa pertama (sinyal fundamental) dengan harmonisa ketiga dan harmonisa kelima. Untuk harmonisa ketiga amplitudo yang diterapkan sebesar 65% dari amplitudo fundamental dan fasanya 60^0, sedangkan untuk harmonisa kelima amplitudo sebesar 40% dan fasanya 90^0. Gambar 4b memperlihatkan pendekatan ideal dari filter adaptif dimana sinyal-sinyal harmonisa yang akan dihilangkan memiliki amplitudo dan fasa yang sama dengan harmonisa dari sinyal sumber. Gambar 4c dan 4d merupakan hasil interferesi destruktif dengan sinyal harmonisa yang memiliki fasa dan amplituda yang hampir mendekati komponen harmonisa dari sinyal sumber.

Kepekaan fasa dan amplituda harmonisa yang diestimasi akan semakin baik apabila pembacaan data minimum diperbesar. Dari algoritma yang dipakai terlihat apabila pembacaan data minimum diperbesar maka proses numerik akan menjadi besar. Hal ini akan membebani prosessor dalam menyelesaikan numeriknya terutama apabila semua harmonisa ganjil dari harmonisa ke-3 sampai ke-31 diestimasi. Oleh karena itu metoda yang diteliti ini masih dalam pengendalian harmonisa secara *off-line*.

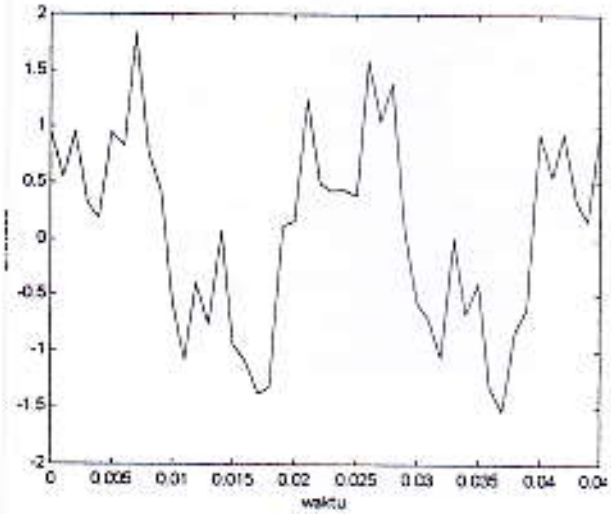
Untuk memperoleh suatu pengendali harmonisa yang dapat diterapkan secara *on-line* dibutuhkan suatu rangkaian filter adaptif yang dikontrol dengan prosessor yang mampu menyampling data dengan kecepatan tinggi dimana prosessor ini dapat disisipkan secara kompak dengan rangkaian filter. Dari literatur yang ada diketahui bahwa mikrokontroller dengan DSP (digital signal processing) dapat dijadikan alternatif untuk pengendali secara *on-line*.

5. Kesimpulan

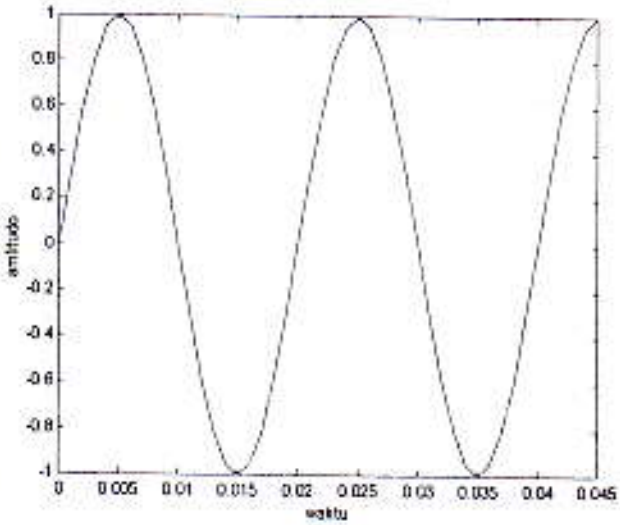
Pada penelitian ini telah dibahas penggunaan filter adaptif yang peka terhadap fasa. Metoda kendali bising aktif dengan berdasarkan interferensi destruktif sinyal untuk meminisasi harmonisa dapat dilakukan dengan menambahkan fasa harmonisa sebesar 180^0 dengan catatan bahwa fasa harmonisa yang ingin dihilangkan dapat diestimasi. Untuk menambah performance yang sangat tinggi dapat digunakan Pemproses Sinyal Digital yang andal untuk mengestimasi fasa lebih peka lagi.

Ucapan Terimakasih

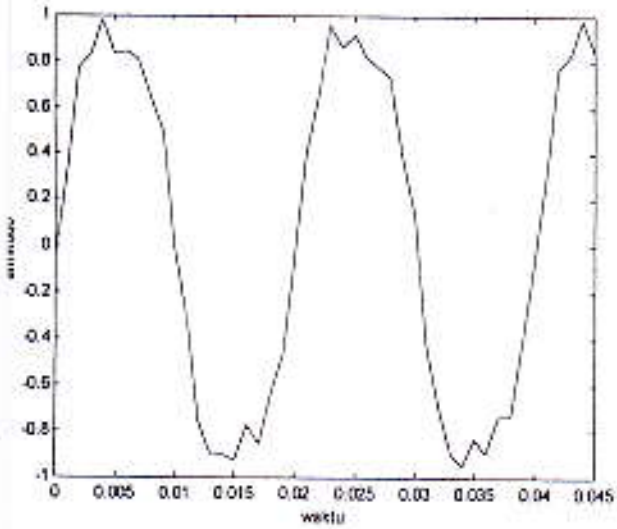
Pada kesempatan ini pun penulis mengucapkan terimakasih kepada Pak Refdinal Nazir sebagai pembimbing pada penelitian ini, juga kepada Ikhwan Yelfianhar sebagai asisten di Lab. Elektronika yang mempersiapkan simulasi Matlab. Ucapan terimakasih kami sampaikan pada Lembaga Penelitian Universitas Andalas yang telah membiayai penelitian ini melalui dana SPP/DPP kontrak no. 58/LP-UA/SPP-DPP/K/V/2001.



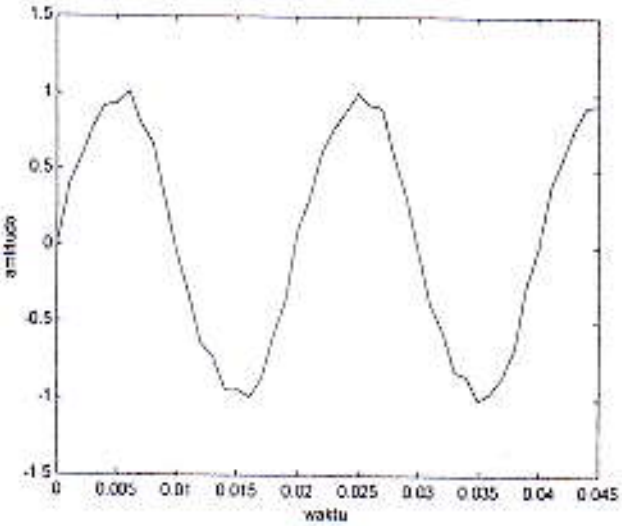
Gambar 4a



Gambar 4b



Gambar 4c



Gambar 4d

Gambar 4

Daftar Pustaka

[1] Dugan, R.C, et all., "*Electrical Power System Quality*", McGraw-Hill, 1996.

[2] Lowenstein, M.Z., "*Improving Power Factor in the Presence of Harmonics Using Low-Voltage Tuned Filters*", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol 29, No. 3, May/June 1993, pp. 528-535.

[3] Wildi, T," *Electrical Machines Drivers, and Power System*", Prentice Hall, New Jersey, 2000.

[4] Theraja, B.L., and Theraja, A.K, "*A Text Book of Electrical Technology*", Nirja Construction and Development, New Delhi, 21st Ed, 1988.

[5] Rashid Muhammad," *Power Electronics Circuit,Devices and Applications*", Prentice Hall, 1993.

[6] Mindconnection's Electrical Connection: Case Study, Harmonics Distortion of Current, http://www.dranetz-bmi.com/, 23rd August 2001

[7] Mindconnection's Electrical Connection: Harmonic Power Flow Direction by Rich Bingham, http://www.dranetz-bmi.com/, 23rd August 2001.

[8] Kuo, S.M, and Morgan, D.R., '*Adaptive Noise Control Systems*', Willey series in Telecomunications and Signal Processing, John Wiley and sons, 1996