

SIMULASI ELIMINASI HARMONISA MENGGUNAKAN TEORI DAYA SESAAT P Q (*Instantaneous Power p q theory*) PADA BEBAN SEIMBANG DENGAN MATLAB SIMULINK

Setiyono

Jurusan Teknik Elektro Universitas Gunadarma, Jakarta
Jl. Margonda Raya 100 Pondok Cina Depok, telp 021-78881112 Ext 444
E-mail:
setiyono@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

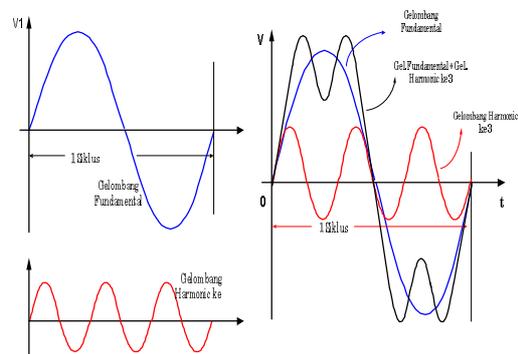
Paper ini berkaitan dengan masalah harmonisa pada jaringan power sistem. Beban non linear seperti diode atau thyristor rectifiers membuat arus yang tidak sinusoidal pada jaringan listrik dan mengakibatkan penurunan power quality pada utility atau pada sistem tenaga listrik di industri. Beberapa standar internasional telah dikeluarkan untuk mengatur masalah perbaikan kualitas daya digambarkan secara terperinci dan beberapa metode penting untuk menganalisa untai listrik dengan bentuk gelombang non sinusoidal. Peredaman harmonisa merupakan pilihan yang tepat untuk mengurangi harmonisa tegangan dan harmonisa arus. Salah satu metode adalah *p q* teori yang digunakan untuk mengimplementasikan kontrol algoritma filter aktif sejajar yang juga dijelaskan pada paper ini.

Kata Kunci : Active Filter, Kompensasi Harmonik , Perbaikan Kualitas Daya

1. PENDAHULUAN

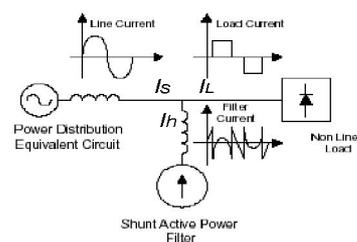
Berkembangnya pemakaian *power converter* dan teknologi elektronika yang bekerja pada pengaturan frekuensi tinggi dalam sistem tenaga maka semakin banyak pula peralatan-peralatan non linier yang dipergunakan di industri. Peralatan non linier ini dapat mempengaruhi kualitas daya di suatu industri, karena beban non linier ini merupakan sumber utama dari gangguan harmonisa. Arus harmonisa dapat dibangkitkan oleh pemakaian peralatan elektronik, misalnya: *converter*, *inverter*, dan beban non linier lainnya. Beban non linier adalah jenis beban dimana arus beban tidak sepadan pada tegangan beban yang dipakai. pada saat itu juga, sering kali arus beban tidak selalu kontinyu. Arus beban non linier tidak sinusoidal meskipun sumber tegangan yang dipakai pada saat itu berbentuk gelombang sinusoidal.

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier, yang merupakan sumber terbentuknya gelombang pada frekuensi-frekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya seperti 100 Hz, 150, Hz, 200 Hz, 300 Hz, dan seterusnya.



Gambar 1. Gelombang Fundamental, harmonik ke 3 & Hasil Penjumlahannya

Hal ini dapat mengganggu sistem kelistrikan pada frekuensi fundamentalnya yaitu 50/60 Hz, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi.



Gambar 2. Power system dengan beban non linier



Pada Gambar 2 mengilustrasikan sebuah power sistem dengan tegangan sumber sinusoidal beroperasi pada beban non linier. Arus pada beban non linier (I_L) mengandung komponen harmonik. Harmonik pada kawat saluran (I_s) dihasilkan oleh drop tegangan non linier (ΔV) pada impedansi saluran, yang menyimpang pada tegangan beban (V_L). Selama tegangan beban menyimpang maka format dan bentuk arus beban (I_L) akan menjadi non sinusoidal. Kehadiran harmonisa pada saluran power sistem menghasilkan kerugian yang sangat besar pada sistem distribusi, masalah interferensi sistem komunikasi dan, sering terjadi kegagalan dalam kinerja peralatan elektronika yang sangat sensitif termasuk sistem kontrol mikroelektronika yang bekerja pada tegangan rendah. Masalah ini dapat diklasifikasikan ke dalam 2 macam yaitu : pengaruh sesaat dan pengaruh jangka panjang. Pada masalah pengaruh sesaat diasosiasikan dengan interferensi, malfungsi, atau kegagalan dari kinerja peralatan. Pada pengaruh jangka panjang yaitu peningkatan suhu dan pemanasan yang disebabkan oleh redaman kapasitor, putaran mesin dan transformator. Pasive filter telah digunakan sebagai solusi untuk memecahkan masalah arus harmonik, tetapi ia menghadirkan beberapa kerugian, seperti hanya memfilter frekuensi yang sebelumnya ditentukan, adanya resonansi karena interaksi antara pasif filter dengan beban lain dengan hasil yang tak terduga. Untuk mengatasi masalah diatas maka dikembangkanlah sebuah aktif filter seperti tampak pada gambar 2.

Aktif filter adalah perlengkapan khusus yang digunakan konverter elektronik untuk mengkompensasi arus dan atau tegangan harmonik yang dibangkitkan oleh beban non linear. Pada dasarnya ada dua tipe aktif filter, tipe seri dan tipe paralel dan mungkin digabungkan kedua tipe tersebut untuk bekerja bersama sama.

2. TEORI KOMPONEN DAYA P Q

Pada tahun 1983, Akagi telah mengajukan penulisan teori perataan daya reaktif pada untai tiga fasa, yang dikenal dengan teori daya sesaat atau p q teori. Teori ini berdasarkan pada nilai daya sesaat system tiga fasa dengan atau tanpa kawat netral. Teori p q berisi transformasi aljabar

koordinat abc arus dan tegangan sistem tiga fasa ke dalam koordinat $\alpha - \beta$. Langkah ini digunakan untuk mendapatkan nilai arus harmonik yang diinjeksikan ke power sistem melalui aktif filter sehingga arus yang diinjeksikan tersebut akan membentuk suatu hubungan yang saling meniadakan dengan arus harmonik dasarnya karena perbedaan fasa 180 derajat. Adapun algoritma untuk mendapatkan arus injeksi tersebut adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Dari persamaan 1 dan 2 daya sesaat p_L dan daya reaktif sesaat q_L yang melalui beban diperoleh :

$$\begin{bmatrix} p_L \\ q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Daya yang melewati beban dapat dituliskan sebagai :

$$p_L = \bar{p}_L + \hat{p}_L + \tilde{p}_L \quad (4)$$

\bar{p} = komponen dc,

Dimana \hat{p}_L = komponen frekuensi rendah,

\tilde{p}_L = komponen harmonik

Demikian juga

$$q_L = \bar{q}_L + \hat{q}_L + \tilde{q}_L \quad (5)$$

Arus referensi kompensasi

$$\begin{bmatrix} i_{fa}^* \\ i_{fb}^* \\ i_{fc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix} \quad (6)$$

Dengan

$$p^* = \tilde{p}_L \quad q^* = \tilde{q}_L$$

Daya nyata yang dikonsumsi beban



$$p = \begin{bmatrix} v_a & v_b & v_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Nilai daya rata rata Pdc diperoleh dari daya nyata oleh Lowpass filter

$$p_a = \frac{P_{dc} V_a}{V_{Tot}} \quad (8)$$

$$p_b = \frac{P_{dc} V_b}{V_{Tot}} \quad (9)$$

$$p_c = \frac{P_{dc} V_c}{V_{Tot}} \quad (10)$$

Dimana V_a, V_b, V_c adalah amplitudo tegangan saluran dan V_{tot} adalah jumlah dari $V_a, V_b,$ dan V_c

Arus arus dasar atau fundamental yang diinginkan dapat dihitung :

$$i_{la} = \frac{2v_a p_a}{v_a^2} \quad (11)$$

$$i_{lb} = \frac{2v_b p_b}{v_b^2} \quad (12)$$

$$i_{lc} = \frac{2v_c p_c}{v_c^2} \quad (13)$$

Arus kompensasi dapat ditentukan dengan persamaan

$$i_{fa}^* = i_{La} - i_{la} \quad (14)$$

$$i_{fb}^* = i_{Lb} - i_{lb} \quad (15)$$

$$i_{fc}^* = i_{Lc} - i_{lc} \quad (16)$$

3. FILTER AKTIF

Filter adalah rangkaian elektronik yang dirancang untuk meneruskan isyarat sinusoida dalam daerah frekuensi tertentu. Ada dua macam jenis filter, yaitu filter aktif dan filter pasif. Sebuah filter dikatakan filter aktif jika menggunakan komponen aktif dan jika sebaliknya filter tersebut dikatakan filter pasif. Untuk membuat filter pasif orde satu kita dapat menggunakan rangkaian RC, dan untuk membuat filter

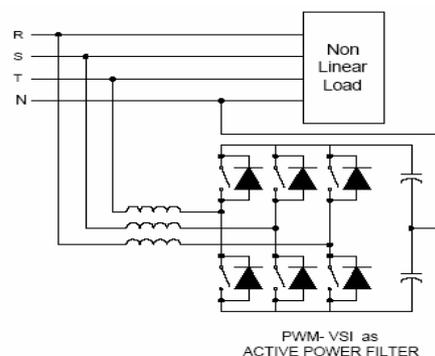
pasif orde dua kita dapat menggunakan R, L, dan C. Sedangkan untuk membuat filter aktif menggunakan komponen-komponen aktif seperti transistor atau op-amp.

Pada rangkaian dibagian listrik sering disebut rangkaian seleksi frekuensi untuk melewatkan band frekuensi tertentu dan menahannya dari frekuensi diluar band itu.

Penggunaan filter aktif mempunyai keuntungan dibandingkan filter pasif yaitu :Penguatan dan frekuensinya mudah diatur, selama devais elektronika transistor ataupun op amp masih memberikan penguatan dan sinyal input tidak sekaku seperti pada filter pasif. Pada dasarnya filter aktif lebih mudah diatur antara lain.

1. Tidak ada masalah beban, karena tahanan input tinggi dan tahanan output rendah. Filter aktif tidak membebani sumber input.
2. Harga, umumnya filter aktif lebih ekonomis dari pada filter pasif, karena pemilihan variasai dari transistor atau op-amp yang murah dan tanpa induktor yang biasanya harganya mahal.

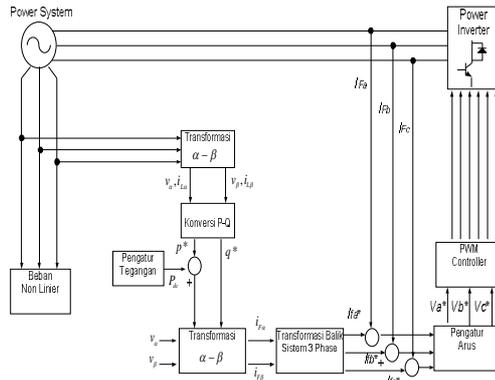
Untuk itu pemecahan gangguan yang disebabkan oleh kehadiran harmonisa ini dapat diambil dengan penambahan kompensator harmonisa yang umumnya berupa filter aktif dalam sistem. Umumnya kompensator harmonisa bekerja secara paralel. Pada gambar 3 ditunjukkan prinsip kerja kompensator paralel. Dan tampak bahwa arus yang ditarik dari jala-jala dapat dikembalikan menjadi bentuk sinusoidal dengan cara menginjeksikan arus kompensasi.



Gambar. 3 Prinsip Kerja Kompensator Paralel Aktif Filter

4. METODOLOGI PENELITIAN

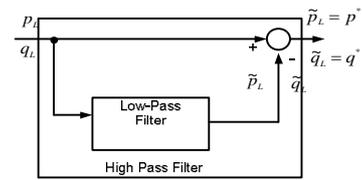
Metode riset yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu dibangun suatu konsep power sistem yang dilengkapi dengan unit perbaikan kualitas daya menggunakan rangkaian shunt aktif filter berdasarkan teori daya sesaat melalui beberapa tahap kalkulasi atau langkah langkah transformasi sebagai berikut :



Gambar 4. Kontrol Diagram

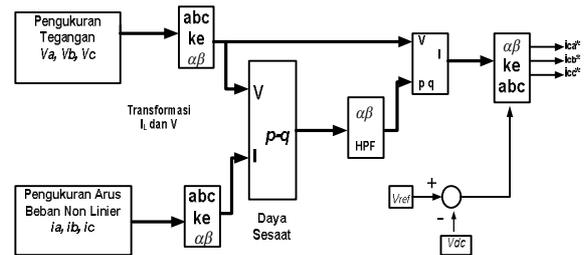
Eliminasi harmonik

Menurut teori Akagi, terlebih dahulu ditentukan nilai tegangan masukan V_a, V_b, V_c dan arus beban I_{La}, I_{Lb} dan I_{Lc} . Untuk mempermudah perhitungan dilakukan transformasi dari sistem tiga fasa menuju satu fasa melalui transformasi koordinat d q baik tegangan masukan maupun arus beban. Setelah didapatkan parameter $v_\alpha i_\alpha$ dan $v_\beta i_\beta$ kemudian ditentukan nilai p dan q. Karena nilai p dan q mengandung komponen bolak balik maka komponen ini harus dihilangkan dengan sebuah filter High Pass Filter yang diperoleh dengan membangun filter buterworth low pass filter. Arus i_{ca} dan i_{cb} diperoleh setelah didapatkan nilai p^* dan q^* dan melalui transformasi balik ke sistem tiga fasa maka nilai arus kompensasi i_{ca}^*, i_{cb}^* dan i_{cc}^* dapat diperoleh melalui persamaan 6.



Gambar 5 Perhitungan p^* dan q^*

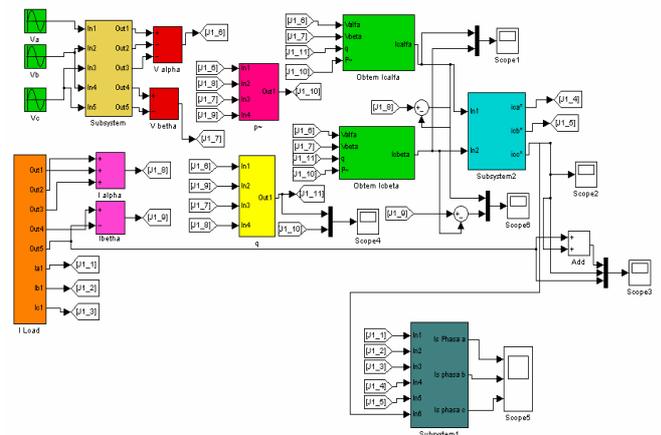
Adapun Algoritma kalkulasi pembangkitan arus kompensasi melalui mekanisme seperti tampak pada gambar 6 sebagai berikut :



Gambar 6 Blok Sistem Kontroller dan Kalkulasi Dengan Teori $p - q$

5. BLOK SISTEM SIMULASI DENGAN MATLAB SIMULINK

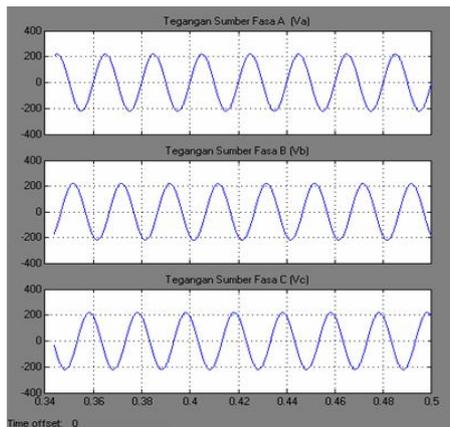
Rancangan power sistem yang telah dibangun kemudian direalisasikan dengan membuat model simulasi menggunakan Tools Matlab Simulink 7.1. Adapun model simulasi yang telah dibangun seperti tampak pada gambar 7.



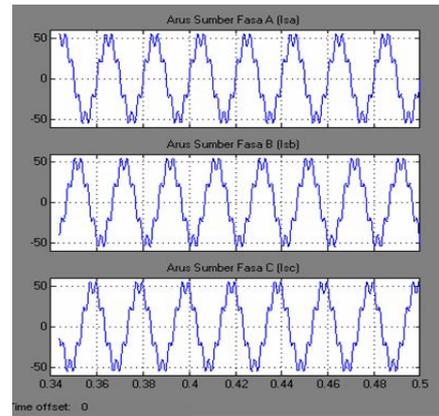
Gambar 7. Model Simulasi Sistem Seimbang dengan Matlab Simulink 7.1.

6. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

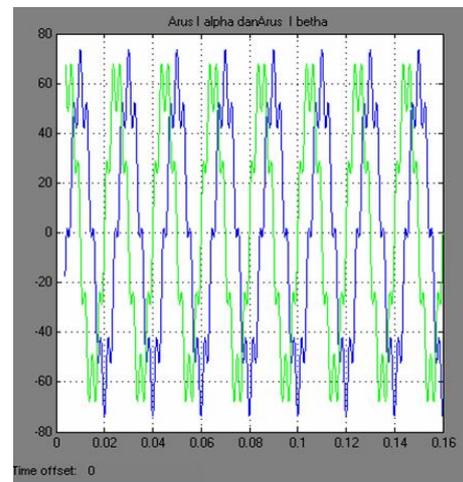
Pengamatan tegangan masukan jala jala berupa gelombang sinusodal dengan nilai puncak 220 V frekuensi 50 Hz dan mempunyai perbedaan susd fasa 120^0 nampak pada gambar 8. Ke tiga arus masukan beban sebelum dikompensasi identik dengan tegangan yaitu mempunyai frekuensi 50 Hz, amplitudo 50 A perbedaan sudut 120^0 . Pada gambar 9 distorsi gelombang diperoleh dengan menambahkan suatu gelombang sinus dengan amplitudo 10 V dengan frekuensi 350 Hz pada masing masing fasa sama. Ini artinya percobaan dilakukan dengan mengamati perubahan format gelombang pada harmonik ke tujuh ($h = 7$). Gambar 10 adalah nilai transformasi arus pada sistem tiga fasa yang akan dihitung ke dalam sistem satu fasa. Gambar 11 adalah daya sesaat yang dikonsumsi oleh beban. Gambar 12 menunjukkan nilai arus yang akan diinjeksikan ke fasa a b dan c dalam sistem satu fasa. Pada gambar 13 terlihat nilai transformasi balik arus yang diinjeksikan ke masing masing fasa besarnya sama. kalkulasi arus transformasi Injeksi arus harmonik yang dilakukan oleh aktif filter terlihat pada frekuensi kelipatan tujuh untuk menutup distorsi gelombang arus masukan dengan amplitudo 10 V. Gambar 14 terlihat bahwa arus beban sudah kembali berbentuk sinusoidal murni dan distorsi gelombang telah ditiadakan.



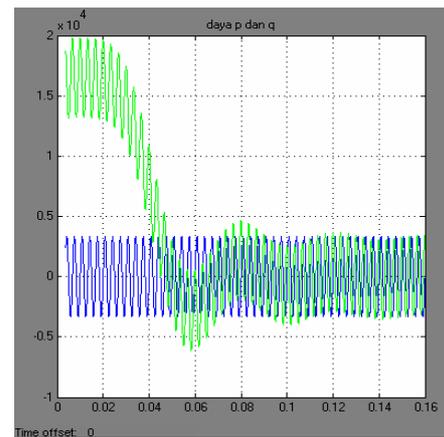
Gambar8 Tegangan masukan fasa a b dan c



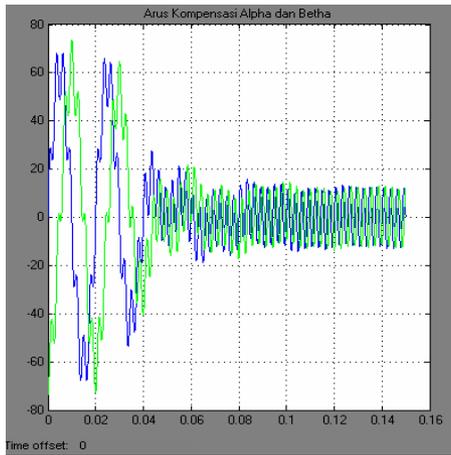
Gambar 9 Arus Masukan A B C yang Terdistorsi



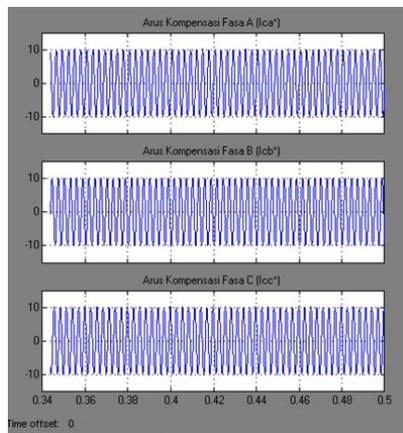
Gambar 10 Arus Ialpha dan Ibeta



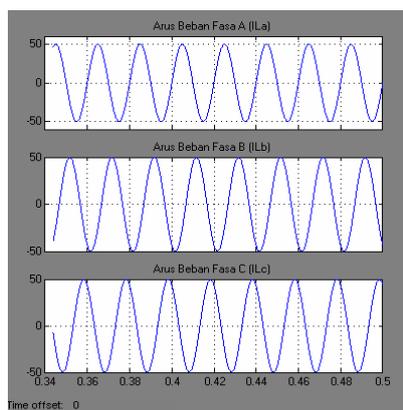
Gambar 11 Komponen daya p q



Gambar 12 Arus Kompensasi I_c alpha dan I_c betha



Gambar 13 Arus Kompensasi I_{ca}^* , I_{cb}^* dan I_{cc}^*



Gambar 14 Arus Beban Saluran A B C yang dihipkan

7. KESIMPULAN

Beban-beban pada utiliti moderen merupakan gabungan beban linier dan beban non-linier. Beban utiliti moderen tersebut lebih didominasi oleh beban non-linier (peralatan elektronik) yang menimbulkan permasalahan atau gangguan oleh pengaruh harmonisa yang memperburuk kualitas power sistem. Gangguan distorsi gelombang terutama disebabkan pada harmonik ganjil, 5, 7, 9 dan seterusnya dan untuk riset ini dilakukan pada hamonisa ke 7.

Teori daya sesaat p q yang diajukan telah berhasil diujikan pada pembuatan model simulasi menggunakan Matlab simulink 7.1 untuk mengkompensasi daya aktif pada beban seimbang sehingga distrosi gelombang pada arus masukan dapat dihilangkan.

PUSTAKA

- [1] H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits", IPEC'83 - Int. Power Electronics Conf., Tokyo, Japan, 1983, pp. 1375-1386.
- [2] H. Akagi Y. Kanazawa, A. Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices without Energy Storage Components", IEEE Trans. Industry Applic., vol. 20, May/June 1984.
- [3] H. Watanabe, R. M. Stephan, M. Aredes, "New Concepts of Instantaneous Active and Reactive Powers in Electrical Systems with Generic Loads", IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, no. 2, April 1993, pp. 697-703.
- [4] M. Aredes, E. H. Watanabe, "New Control Algorithms for Series and Shunt Three-Phase Four- Wire Active Power Filters", IEEE Trans. Power Delivery, vol 10, no. 3, July 1995, pp. 1649-1656.
- [5] J. L. Afonso, C. Couto, J. S. Martins, "Active Filters with Control Based on the p - q Theory", IEEE Industrial Electronics Society Newsletter, vol. 47, no 3, Set. 2000, pp. 5-10.
- [6] J. L. Afonso, H. R. Silva, J. S. Martins, "Active Filters for Power Quality Improvement", IEEE Power Tech'2001, Porto, Portugal, 10-13 Set. 2001.
- [7] Simulink – Model-Based and System-Based Design, Modelling, Simulation, Implementation, version 5, The MathWorks, July 2002.

