

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/320311288>

# Kompensasi Arus Harmonisa Menggunakan Filter Aktif Paralel Berdasarkan pada Teori Daya Sesaat

Article · January 2008

CITATIONS

0

READS

684

1 author:



**Bambang Purwahyudi**

University of Bhayangkara Surabaya

13 PUBLICATIONS 43 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Control Strategy for PWM Voltage Source Converter Using Fuzzy Logic for Adjustable Speed DC Motor [View project](#)



Pengembangan Direct Torque Control (DTC) PWM Inverter untuk Pengemudian Motor Induksi Menggunakan Radial Basis Function (RBF) [View project](#)

## **Kompensasi Arus Harmonisa Menggunakan Filter Aktif Paralel Berdasarkan Pada Teori Daya Sesaat**

**Bambang Purwahyudi**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bhayangkara Surabaya

Jl. A. Yani 114 Surabaya.

E-mail: bmb\_pur@telkom.net.

### **Abstract**

*This paper presents a parallel active filter which employed a three phase voltage source, inverter with six controllable switches, one capacitor in the dc side and three line inductances in the ac side. The representative non-linear load is a diode bridge rectifier to generate load current harmonics. Parallel active filter is used to compensate current harmonics. Control strategy of active filter based on instantaneous power theory is introduced and theoretically analyzed. From result of simulation show that by using active filter the THD of supply current decrease 17.2% from 26.9% to 9.7 % and the PF increase 0.03 from 0.96 to 0.99, respectively.*

*Keywords: parallel active filter, harmonics, instantaneous power theory*

### **1. Pendahuluan**

Di jaman sekarang ini kebutuhan akan kualitas daya listrik sudah sangat mendesak. Kualitas daya yang kurang baik tentu akan merugikan pihak produsen listrik maupun pihak konsumen/pelanggan. Polusi harmonisa dan daya reaktif merupakan permasalahan kualitas daya yang sangat penting. Penggunaan beban-beban nonlinear dalam aplikasi industri dan sistem distribusi tenaga listrik, seperti penyearah, *computer*, *uninterruptable power system* (UPS), pengendali tegangan ac, pengemudian motor-motor listrik dan peralatan elektronika daya lainnya, menyebabkan menurunnya kualitas daya sistem tenaga listrik. Lebih jauh, permasalahan polusi harmonisa menyebabkan peralatan-peralatan listrik menjadi *overheating*, *over voltages* pada sistem tenaga listrik, kesalahan pengukuran, dan lain-lain. Banyak standar internasional (IEEE 519, IEC61000 dll.) sudah mendefinisikan kualitas daya listrik dan batasannya (Key, T.S. dan Lai, J.S, 1998).

Permasalahan-permasalahan kualitas daya dalam sistem tenaga pada umumnya dibagi menjadi dua kelompok, yaitu yang berasal dari sumber daya dan dari beban. Pengelompokan ini dapat dilihat pada Table 1 (Moran, L. A et al 1999).

Tabel 1. Permasalahan kualitas daya di industri

<b>Dari Sumber AC ke Beban</b>	<b>Dari Beban ke Sumber AC</b>
- Voltage sag dan swell	- Current harmonics
- Voltage unbalances	- Reactive current
- Voltage distortions	- Current unbalance
- Voltage interruptions	- Voltage notching
- Voltage oscillations	- Voltage flicker

Beragam-macam metoda diusulkan dalam literatur untuk menyelesaikan permasalahan harmonisa. Salah satu metoda ini adalah teknik filter pasif. Walaupun metoda ini mempunyai keuntungan lebih sederhana, murah dan handal, tetapi mempunyai beberapa permasalahan dalam aplikasinya :

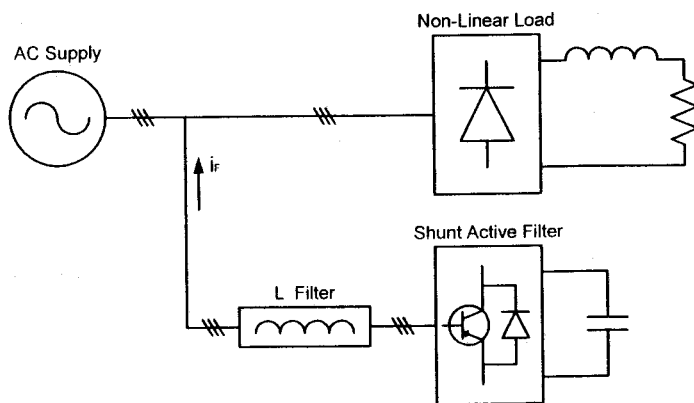
- Filter pasif hanya bekerja pada frekwensi yang se-belumnya ditentukan.
- Impedansi sumber harus diketahui dengan teliti, karena kenyataannya hal ini betul-betul mempengaruhi unjuk kerja kompensasi filter pasif. Sebaliknya konfigurasi sistem bervariasi.
- Permasalahan resonansi dapat disebabkan dengan interaksi antara filter pasif dan beban-beban lain atau sumber (Marks, J.H. dan Green, T.C, 2001).

Oleh karena kerugian dan keterbatasan filter pasif, filter aktif telah dipelajari dan dikembangkan pada tahun-tahun terakhir untuk menyelesaikan permasalahan harmonisa. Dalam paper ini, prinsip filter aktif paralel berdasarkan pada *instantaneous power theory* dianalisa dan diperkenalkan untuk mengkompensasi arus harmonisa yang diakibatkan oleh beban. Unjuk kerja filter aktif paralel ditunjukkan dengan hasil simulasi.

## 2. Topologi Filter Daya Aktif

Filter daya aktif mempunyai tiga atau empat kaki. Dalam makalah ini filter daya aktif mempunyai tiga kawat yang meliputi enam saklar (tiga kaki), satu kapasitor di bagian dc dan tiga induktansi di bagian ac. Gambar 1 menunjukkan diagram blok hubungan filter aktif paralel. Filter aktif paralel terdiri dari inverter dan bagian filter, controller, serta signal umpan balik. Induktor filter digunakan untuk mengkonversikan output inverter sumber tegangan ke sumber arus yang mampu menginjeksikan arus harmonisa ( $i_f$ ) ke beban (Marian Gaicean, 2005).

Konfigurasi yang diperlihatkan dalam Gambar 1 menggunakan umpan balik arus beban. Sistem mampu menggunakan umpan balik arus sumber utiliti dimana arus harmonisa diperkecil. Filter daya aktif membangkitkan arus harmonisa untuk mengkompensasi arus harmonisa dari total beban, sehingga sumber hanya menyalurkan komponen fundamental.



Gambar 1. Hubungan Filter Aktif Parelel

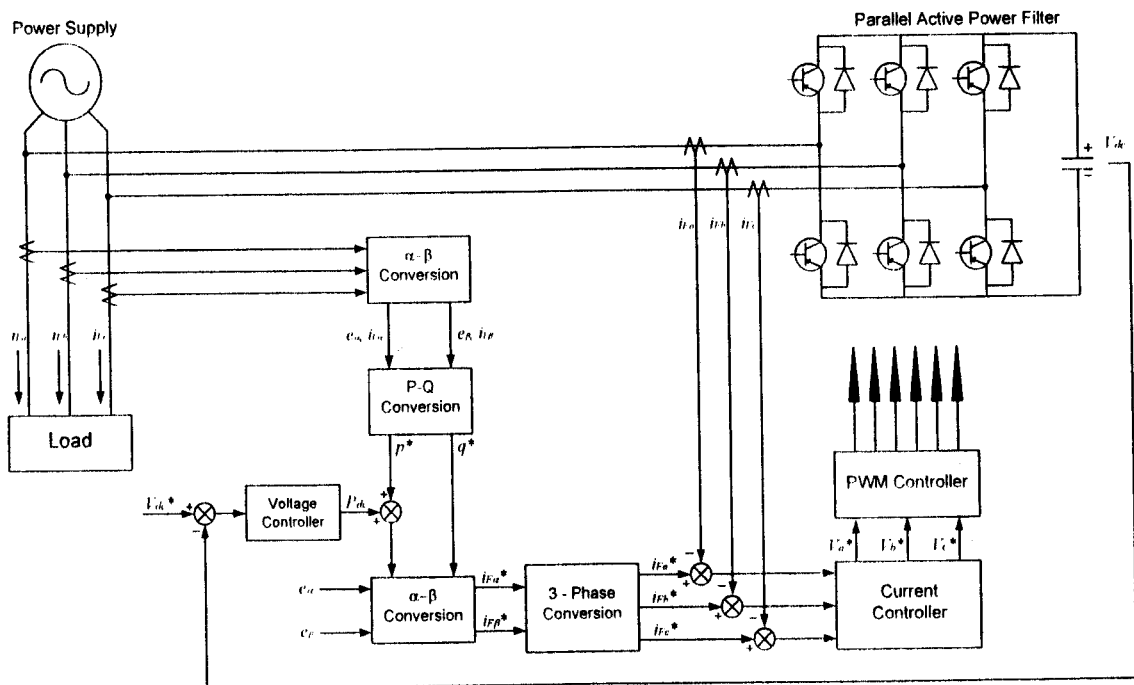
## 3. Sistem Kendali

Teknik kendali yang terkenal dan banyak digunakan adalah teori daya sesaat (*instantaneous power theory (IPT)*) atau terkenal seperti teory pq (Akagi,H., Y. Kanazawa dan A. Nabae, 1983)-(Akagi,H., Y. Kanazawa, K. Fujita dan A. Nabae, 1983). Struktur sistem kendali untuk filter daya aktif ditunjukkan dalam Gambar 2. Dimulai dari nilai-nilai sesaat

*Kompensasi Arus Harmonisa Menggunakan Filter Aktif Paralel Berdasarkan Pada Teori Daya Sesaat (Bambang Purwahyudi)*

tegangan fasa ( $e_a, e_b, e_c$ ) dan arus beban ( $i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc}$ ) sistem tiga fasa untuk menghitung daya nyata sesaat beban  $p_L$  dan daya reaktif sesaat beban  $q_L$  (Peng, F. Z., G.W. Ott dan D.J. Adams, 1987). Untuk mengkompensasi harmonisa, daya sesaat dipisahkan menjadi dua bagian, yaitu komponen dc dan komponen ac, sehingga sumber hanya menyuplai daya nyata yang konstan.

Sistem kendali tercapai karena terdapat dua loop, yaitu loop tegangan dan loop arus. Sistem kendali arus dilakukan dalam sistem koordinat  $a-b-c$ . Pembangkitan referensi dilakukan sesuai dengan metoda Akagi (Akagi, H., Y. Kanazawa, dan A. Nabae, 1984). Logika kendali pada dasarnya didasarkan pada perhitungan daya aktif dan reaktif sesaat beban, oleh karena itu arus harmonisa harus dibangkitkan dalam sistem dari filter aktif untuk mengkompensasi arus harmonisa yang dibangkitkan oleh beban. Perhitungan referensi arus filter ditunjukkan juga dalam Gambar 2. Daya nyata sesaat  $p_L$  dan daya reaktif sesaat  $q_L$  yang mengalir ke beban dapat dihitung menggunakan blok konversi P-Q.



Gambar 2. Sistem Kendali Filter Aktif Paralel

Sebelum masuk ke blok konversi P-Q, tegangan dan arus beban sesaat dirubah dahulu dalam sistem koordinat  $\alpha$ - $\beta$  menggunakan transformasi Clarke seperti persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} e_\alpha \\ e_\beta \end{bmatrix} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

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

Dalam blok P-Q daya nyata sesaat  $p_L$  dan daya reaktif sesaat  $q_L$  dihitung menggunakan persamaan berikut:

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

Dari persamaan (3) daya nyata sesaat  $p_L$  dan daya reaktif sesaat  $q_L$  dipisahkan menjadi dua nilai daya:

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

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

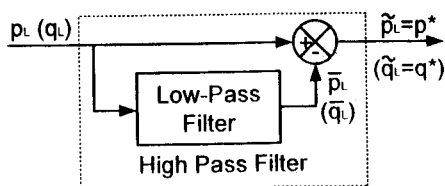
dimana  $\bar{p}$  dan  $\bar{q}$  adalah komponen dc arus beban dan  $\tilde{p}$  dan  $\tilde{q}$  adalah komponen ac arus beban yang diartikan sebagai komponen harmonisa.

Dalam filter aktif untuk mengkompensasi arus harmonisa, komponen-komponen daya  $p^*$  dan  $q^*$  yang dihasilkan oleh rangkaian konversi P-Q adalah komponen-komponen harmonisa dari daya nyata sesaat beban  $p_L$  dan daya reaktif sesaat  $q_L$ , sehingga diperoleh persamaan berikut:

$$p^* = \tilde{p}_L \quad (6)$$

$$q^* = \tilde{q}_L \quad (7)$$

Rangkaian perhitungan  $p^*$  dan  $q^*$  dapat dilihat pada Gambar 3 yang terdiri dari filter *low-pass* dengan frekuensi *cutoff* sama dengan frekuensi fundamental. Rangkaian perhitungan sebenarnya dapat menggunakan filter *high-pass*, tetapi respon filter *high-pass* kurang baik dalam keadaan *transient* dan *steady state*, sehingga filter *high-pass* diperoleh dari filter *low-pass* dengan frekuensi *cutoff* sama.

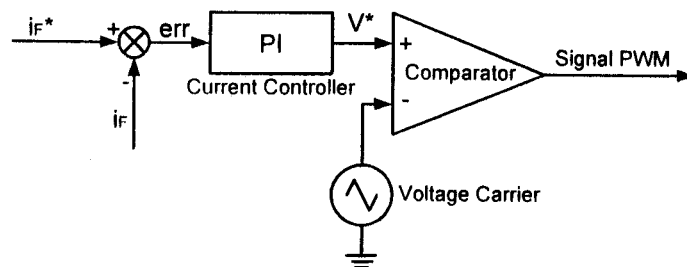


Gambar 3. Rangkaian Perhitungan  $p^*$  dan  $q^*$

Dari Gambar 2 juga terlihat bahwa daya nyata sesaat kapasitor  $P_{dc}$  dihitung dari *loop* tegangan diperlukan untuk memaksa tegangan kapasitor  $V_{dc}$  mengikuti tegangan referensinya  $V_{dc}^*$ . Pengaturan tegangan (*voltage controller*) menggunakan *proportional integral* (PI). Daya nyata sesaat  $P_{dc}$  ditambahkan ke komponen harmonisa daya beban  $p^*$  untuk menghitung arus referensi filter aktif. Arus referensi filter aktif dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} i_{Fa}^* \\ i_{Fb}^* \\ i_{Fc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_\alpha & e_\beta \\ -e_\beta & e_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p^* + P_{dc} \\ q^* \end{bmatrix} \quad (8)$$

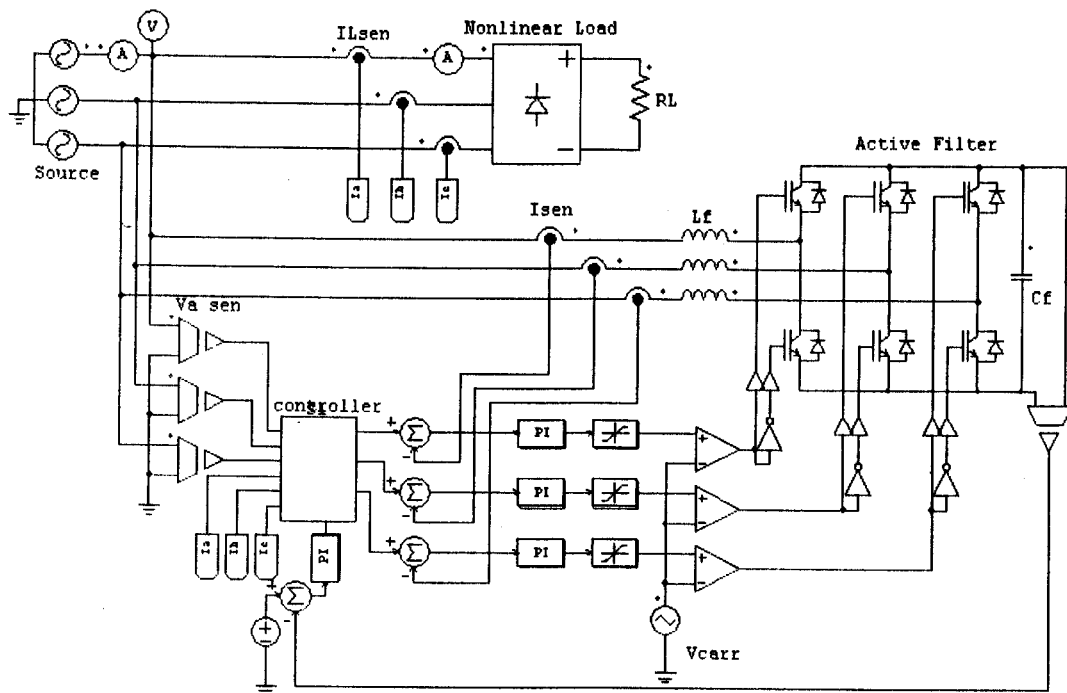
Persamaan (8) menghasilkan arus referensi filter aktif dalam sistem koordinat  $a-b-c$  yang digunakan untuk memaksa filter aktif membangkitkan arus harmonisa ke dalam sistem, sehingga arus harmonisa yang dihasilkan oleh beban dapat dikompensasi. Pengaturan arus (*current controller*) dalam *loop* arus ini menggunakan *proportional integral* (PI). Gambar 4 menunjukkan pengaturan arus PI dan pembangkitan signal PWM. Signal PWM diperoleh dengan membandingkan atarara signal keluaran pengaturan arus dengan tegangan pembawa (*voltage carrier*) menggunakan komparator. Signal PWM ini digunakan sebagai *driver* filter aktif.



Gambar 4. Pembangkitan Signal PWM

#### 4. Simulasi dan Analisa

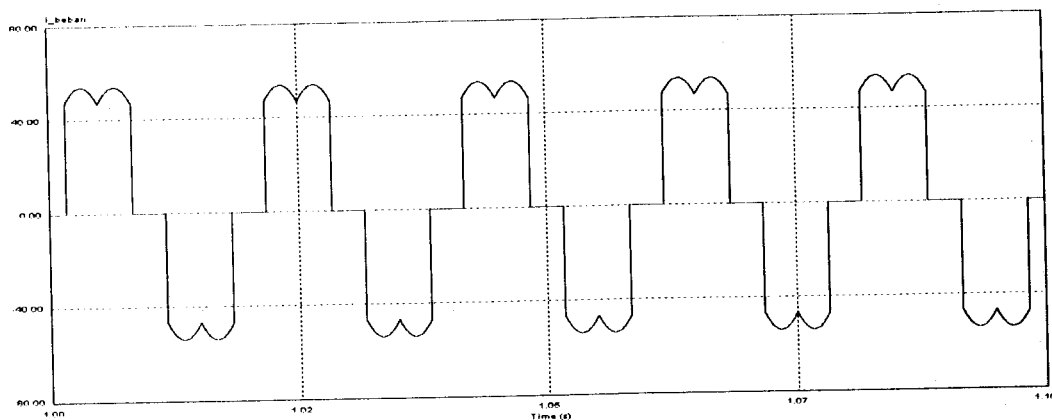
Simulasi dilakukan dengan bantuan *software* PSIM. Simulasi dilakukan dengan membandingkan arus sumber pada saat tanpa menggunakan filter aktif dan menggunakan filter aktif. Perbandingan tersebut didasarkan pada nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) dan faktor kerja (PF) yang dihasilkan.



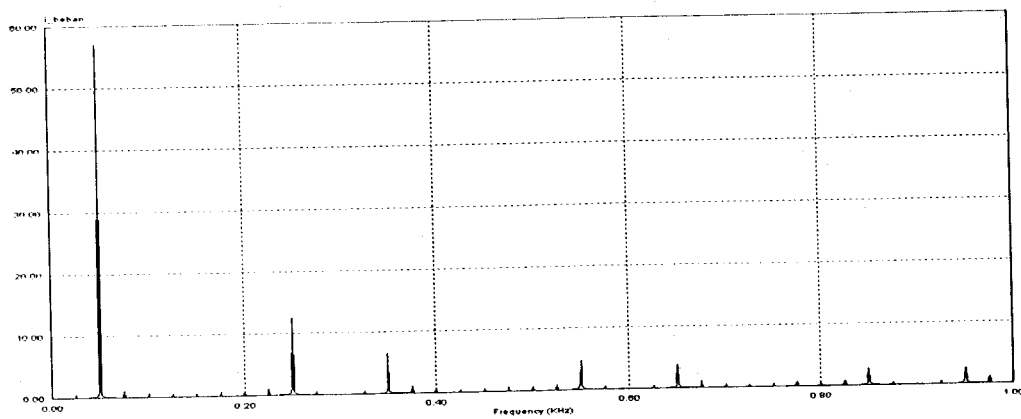
Gambar 5. Rangkaian Simulasi

Rangkaian simulasi filter daya aktif parallel ditunjukkan pada Gambar 5. Penyearah jembatan dioda digunakan sebagai pembangkit harmonisa idial. Filter dihubungkan parallel dengan beban yang dikompensasi, sehingga disebut filter parallel/shunt. Filter ini menggunakan dc capacitor sebagai suplai dan inverter yang dapat dioperasikan pada frekuensi tinggi untuk membangkitkan signal yang akan mengkompensasi arus harmonisa dari beban nonlinear (penyearah jembatan dioda). Sedangkan nilai-nilai parameter yang digunakan dalam simulasi adalah  $V_{S(L-L)} = 380$  V, 50 Hz,  $R_L = 20$  ohm,  $C_F = 1,5$  mF dan  $L_F = 1$  mH,  $f_s = 20$  kHz dan  $V_{dc}$  ref = 600 V.

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan arus sumber dan spektrumnya tanpa filter aktif parallel. Dari hasil simulasi tersebut terlihat bahwa beban nonlinear menarik arus harmonisa dari sumber.

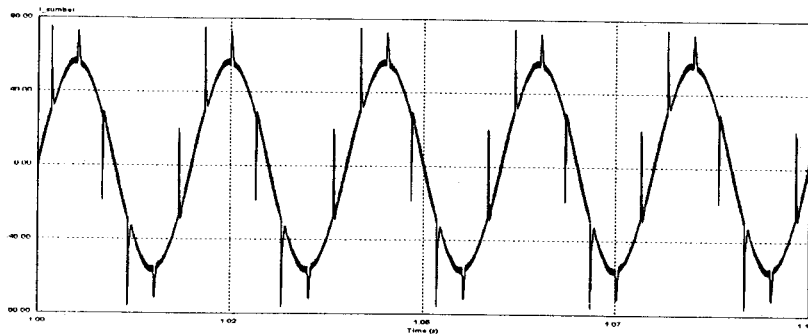


Gambar 6. Bentuk Gelombang Arus Sumber Tanpa Filter Aktif .

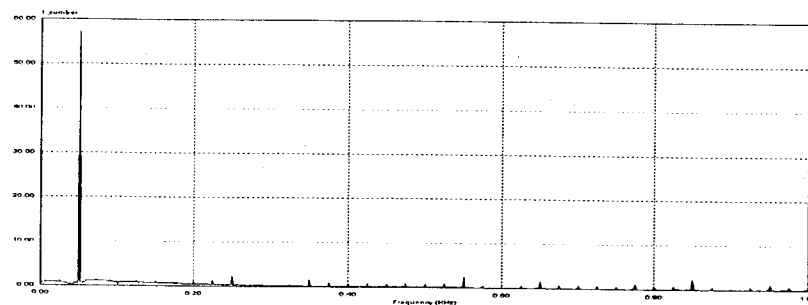


Gambar 7. Spektrum Arus Sumber Tanpa Filter Aktif.

Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan bahwa filter aktif parallel mengkompensasi arus harmonisa beban, sehingga diperoleh arus sumber mendekati sinusoidal murni.

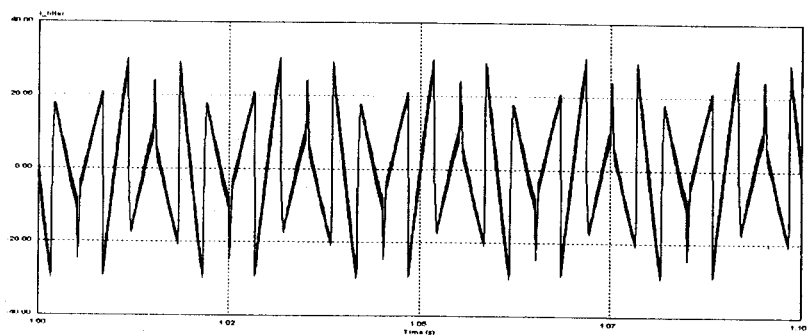


Gambar 8. Bentuk Gelombang Arus Sumber Dengan Filter Aktif.

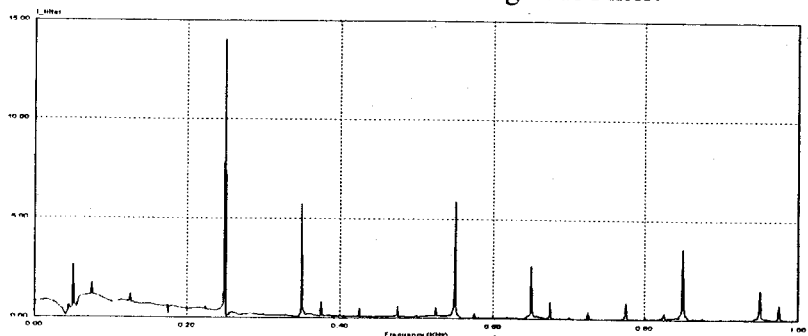


Gambar 9. Spektrum Arus Sumber Dengan Filter Aktif.

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa filter aktif paralel membangkitkan arus harmonisa yang diinjeksikan ke sistem untuk mengkompensasi arus harmonisa yang diakibatkan beban non-linear.



Gambar 10. Bentuk Gelombang Arus Filter.



Gambar 11. Spektrum Arus Filter.



Tabel 2 menunjukkan erbandingan nilai THD, TDD dan PF sebelum dan sesudah dikompensasi. Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai THD turun 17,2% dari 26,9% menjadi 9,7% dan nilai faktor daya (PF) naik 0,03 dari 0,96 menjadi 0,99. Hal ini menunjukkan arus harmonisa telah dikompensasi dan terjadi perbaikan faktor daya (PF).

Tabel 2. Nilai THD dan PF

Uraian	THD (%)	PF
Tanpa Filter	26,9	0,96
Dengan Filter Aktif	9,7	0,99

## 5. Kesimpulan

Penyebab dan pengaruh harmonisa telah dibahas. Filter aktif parallel dan prinsip kompensasi juga telah dijelaskan serta strategi kendalinya dianalisa. Dari hasil simulasi diperoleh filter aktif paralel membang-kitkan arus harmonisa untuk mengkompensasi arus harmonisa yang disebabkan oleh beban nonlinear, sehingga diperoleh arus sumber mendekati sinusoid-dal. Dari hasil simulasi diperoleh juga nilai THD mengalami penurunan sebesar 17,2% dari 26,9% menjadi 9,7% dan faktor daya (PF) naik sebesar 0,03% dari 0,96 menjadi 0,99. Hal ini menunjukkan bahwa arus harmonisa telah dikompensasi dan juga terjadi perbaikan faktor daya (PF).

## Daftar Pustaka

- Akagi,H., Y. Kanazawa dan A. Nabae, 1983, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits", *Proc. IPEC-Tokyo '83 Int. Conf. Power Electrincs*, Tokyo, hal. 1375-1386.
- Akagi,H., Y. Kanazawa, dan A. Nabae,1984, "*Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices Without Energy Storage Components*", *IEEE Trans. On Industial Appl.*, vol. IA-20, no. 3, hal. 625-630.
- Akagi,H., Y. Kanazawa, K. Fujita dan A. Nabae, 1983, "*Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power and Its Aplication*", *Electrical Engineering in Japan*, vol. 103, no. 4, hal. 58-66.
- Key,T.S. dan Lai,J.S., 1998, "*IEEE and international harmonic standards impact on power electronic equipment design*", *IEEE IECON'98*, hal. 430-436, New Orleans, LA.
- Moran, L. A., Dixon, J. W., Espinoza, J. R., dan Wallace, R. R., 1999, "*Using active power filters to improve power quality*", *Inteligencia'99*, hal. 1-20.
- Marks, J.H. dan Green, T.C., 2001, "*Rating analysis of active power filters*", *IEEE 32nd Annual Power Electronics Specialists Conference, PESC'2001*, vol. 3, pp. 1420-1425
- Marian Gaicean, 2005, "Active power compensator of the current harmonics based on the instantaneous power theory", *The Annuals of "Dunarea De Jos" University of Galati*, Fasciclee III.
- Peng, F. Z., G.W. Ott dan D.J. Adams, 1997, "Harmonic And Reactive Power Compensation Based on The Generalized Instantaneous Reactive Power Theory For 3-Phase 4-Wire System", *IEEE, PESC 97*, St. Louis, Mo, USA, hal. 1089-1095.