



PENGATURAN ARUS KOMPENSASI UNTUK PEMBEBANAN NONLINIER PADA SISTEM FILTER AKTIF TIGA FASE

Indriarto Yuniantoro & Rudy S. Wahyudi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

Jalan Kiai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta Barat

E-mail: indriarto@trisakti.ac.id, rswahjudi@trisakti.ac.id

ABSTRACT

The nonlinear load connected to a three-phase currents source will cause distortion. In order to reduce the distortion, a three-phase active filter system is used. Reduction is carried by the compensation current. The proportional integral (PI) control is often used to control the compensation current. Development of pulse width modulation rectifiers connected to the PI control can produce a pure sinusoidal current source. Compensating current control is also done by Akagi instantaneous power theory approach.

Keywords: *distortion, PI control, pulse width modulations*

ABSTRAK

Beban nonlinier yang dihubungkan dengan arus sumber tiga fase akan mengakibatkan distorsi. Untuk dapat mereduksi distorsi tersebut digunakan filter aktif sistem tiga fase. Reduksi dilakukan dengan mengkompensasi arus. Dalam pengaturan arus kompensasi digunakan kendali proporsional integral (PI). Pengembangan kendali PI terhubung penyearah modulasi lebar pulsa (MLP) menghasilkan arus sumber sinusoida murni. Pengendalian arus kompensasi dilakukan juga dengan pendekatan teori daya sesaat Akagi.

Kata Kunci: *distorsi, kendali PI, modulasi lebar pulsa*

1. PENDAHULUAN

Arus sumber arus sinusoida tiga fase bila terhubung dengan beban nonlinier berupa penyearah akan mengalami distorsi (gangguan) yang berasal dari arus frekuensi tinggi. Untuk mereduksi distorsi tersebut dapat digunakan filter aktif atau filter pasif. Filter aktif berfungsi sebagai kompensator untuk mereduksi riak-riak harmonik dan filter pasif mereduksi distorsi pada harga frekuensi tertentu. Filter aktif dan filter pasif dipasang secara paralel sebagai isolator antara sumber dan beban nonlinier. Pengaturan arus kompensasi dilakukan dengan menggunakan modulasi lebar pulsa (MLP). Reduksi dilakukan dengan menginjeksi arus kompensasi ke dalam jala-jala sehingga distorsi dapat dieliminasi [1].

2. KAJIAN PUSTAKA

Filter aktif dapat dikendalikan melalui modul pengatur (modulator) agar menghasilkan luaran berupa arus kompensasi yang memiliki amplitudo sama dan polaritas berlawanan dengan arus beban terdistorsi. Superposisi antara arus kompensasi dan arus beban terdistorsi menghasilkan arus sumber sinusoida. Filter aktif sistem tiga fase dapat digunakan untuk mereduksi distorsi (gangguan) dengan mengatur *duty cycle* dan durasi waktu *switching* masing-masing lengan agar mempunyai nilai sebesar V_{dc} [2], [3].

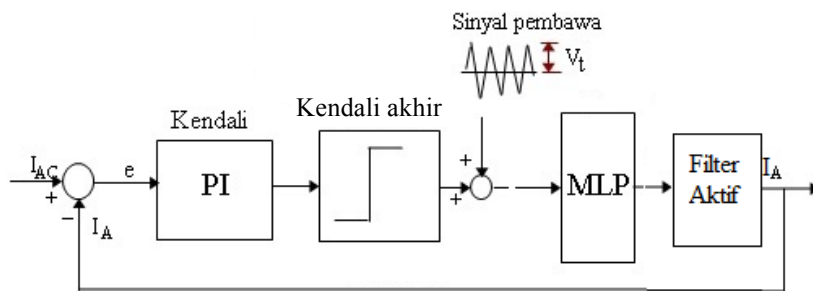
Pada Gambar 1 diberikan rangkaian uji yang digunakan untuk mereduksi distorsi (gangguan). Rangkaian uji terdiri dari filter aktif sistem tiga fase empat lengan dengan induktor tersambung dengan beban nonlinier. Terlihat bahwa sumber tegangan tiga fase PLN (380/220V, 50Hz) diberikan pada beban nonlinier yang berupa penyearah diode dengan pembebanan berupa rangkaian RC. Untuk beban tambahan pada penyearah diode bisa digunakan rangkaian RL atau RLE. Penyearah diode ini menyebabkan distorsi pada sumber arus sehingga perlu dikompensasi oleh filter aktif yang tersambung secara paralel. Sensor tegangan dan arus sebagai referensi diletakkan pada titik-titik tertentu. Filter aktif berfungsi menginjeksi arus kompensasi ke dalam jala-jala sehingga distorsi dapat diperbaiki. Arus sumber oleh proses kompensasi diubah menjadi sinusoida. Karena sumber dan beban terhubung

3. METODE PENELITIAN

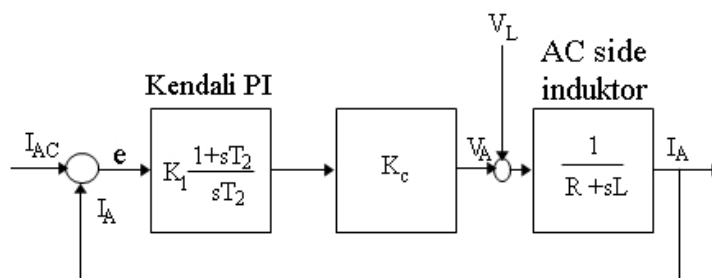
3.1 Pengaturan Arus Kompensasi dengan Modul Kendali Proporsional Integral

Modul kendali umpan balik atau dikenal secara umum sebagai sistem kendali bekerja berdasarkan *error* dan berusaha mereduksi *error* tersebut sehingga menghasilkan selisih harga mendekati nol. Kendali proporsional integral (PI) sebagai gabungan antara kendali proporsional dan kendali integral bertujuan untuk mendapatkan gabungan kelebihan dari masing-masing kendali tersebut. Luaran yang dihasilkan adalah penjumlahan semua luaran dari masing-masing sehingga *error* dapat dihilangkan dan keadaan menjadi stabil

Disamping sederhana, kendali PI juga mempunyai respon cepat dan tidak memerlukan informasi mengenai parameter beban. Dalam pengaturan arus kompensasi berdasarkan modulasi arus terkendali histeresis maka kendali PI sering digunakan dan dapat mereduksi distorsi harmonik [4]. Pada Gambar 2 diberikan diagram blok dari kendali PI dan pengatur MLP. Dalam bentuk transformasi Laplace, diagram blok kendali PI tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2 Diagram Blok dari Kendali PI



Gambar 3 Diagram Blok Kendali PI dalam Transformasi Laplace



Induktor (L) adalah resistor (R) pada Gambar 3 adalah bagian yang dipasang pada luaran filter aktif.

Fungsi alih kendali PI dapat dituliskan sebagai $G(s)$ pada Rumus (1) berikut.

$$G(s) = K_1 \frac{1+sT_2}{sT_2} \quad (1)$$

Fungsi alih dalam kendali tertutup K_c dituliskan seperti Rumus (2) berikut.

$$K_c = \frac{(V_{dc})}{2V_L} \quad (2)$$

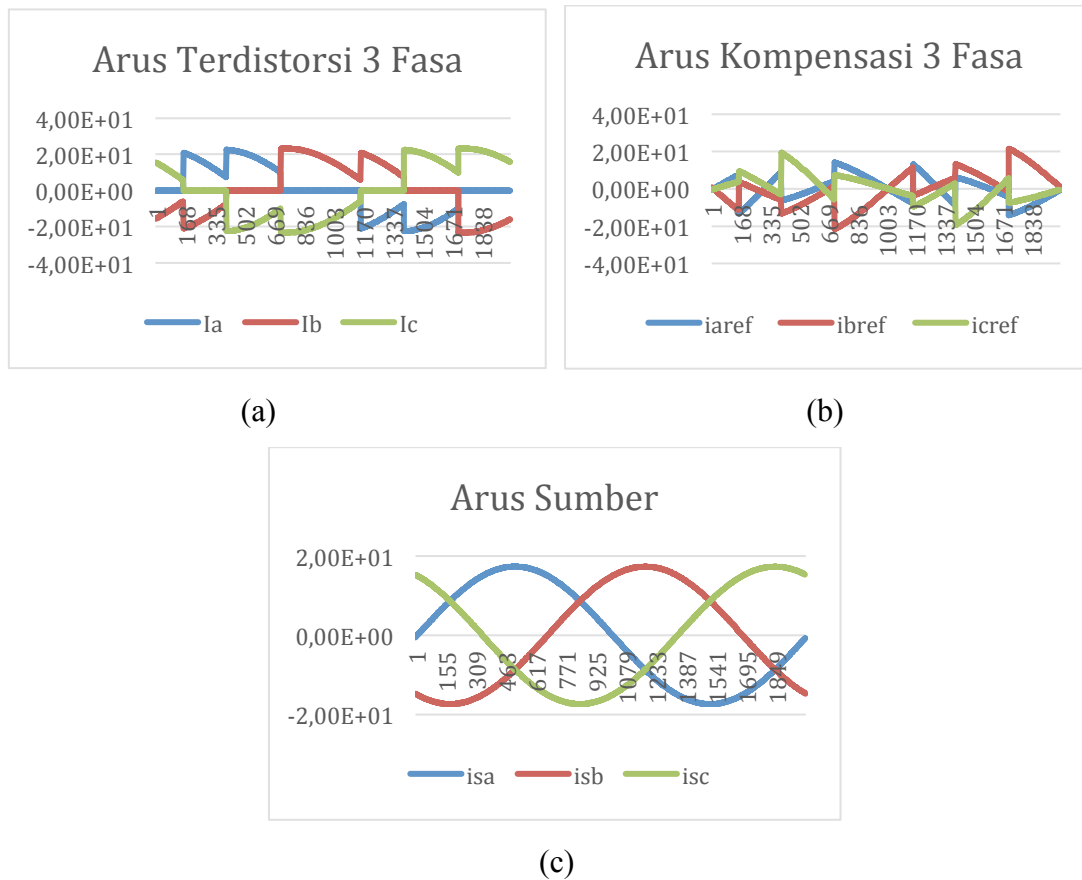
3.2 Pengaturan Arus Kompensasi dengan Teori Daya Sesaat Akagi

Teori daya aktif-reaktif sesaat dikembangkan Akagi untuk melakukan eliminasi atau reduksi harmonisa pada filter aktif sistem tiga fase. Teori ini dikembangkan untuk menjelaskan distorsi pada arus urutan-nol yang mengalir pada kawat netral. Pengaturan arus kompensasi menggunakan modulasi arus terkendali histeresis dilakukan Akagi ketika menjelaskan teori daya aktif reaktif sesaat pada filter aktif sistem tiga fase [5], [6].

Transformasi koordinat dari sistem tiga fase (koordinat abc) menjadi sistem dua fase (koordinat $\alpha\beta$) untuk vektor tegangan dan vektor arus dilakukan Akagi dalam teori pq-pqr untuk mendapatkan sinyal referensi luaran filter aktif sistem tiga fase tiga kawat dan tiga fase empat kawat dalam rangka melakukan kompensasi arus. Arus kompensasi terkendali $i_{ca}^*, i_{cb}^*, i_{cc}^*$, yang digunakan sebagai arus referensi luaran dari filter aktif sistem tiga fase empat kawat menurut teori Akagi adalah

$$\begin{bmatrix} i_{ca}^* \\ i_{cb}^* \\ i_{cc}^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -i_a \\ i_{c\alpha} \\ i_{c\beta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Sebagai contoh, beban nonlinier penyearah dioda dengan pembebanan RLC masing-masing berbeda harganya, menghasilkan arus beban tiga fase yang terdistorsi sehingga terjadi cacat gelombang yang diilustrasikan pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Arus Beban Tiga Fase Terdistorasi Menghasilkan Cacat Gelombang
 (a) Arus Terdistorasi, (b) Arus Kompensasi, dan (c) Arus Sumber

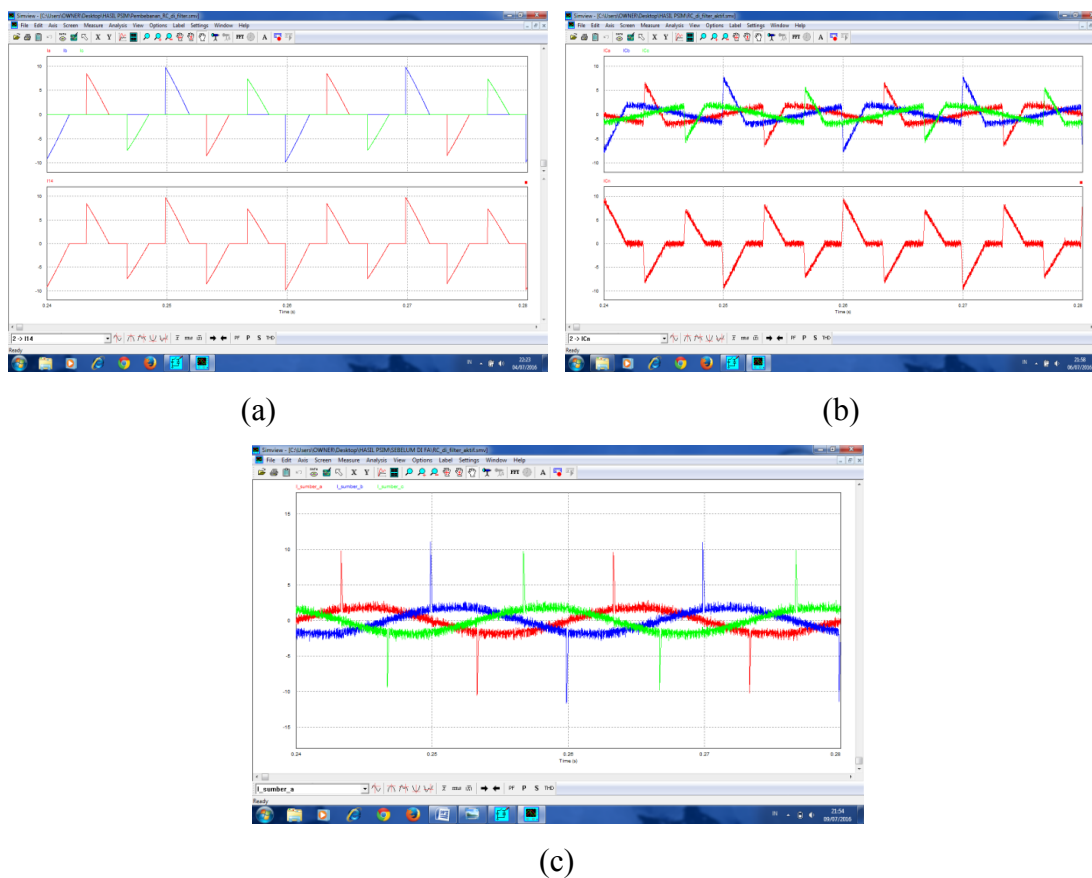
Pada Gambar 4(a) diperlihatkan arus terdistorasi oleh pembebanan RLC. Dengan menggunakan Rumus (3) teori pq-pqr maka cacat gelombang tersebut akan diinjeksi dengan arus kompensasi terkendali i_{Ca}^* , i_{Cb}^* , i_{Cc}^* dan bentuknya diperlihatkan pada Gambar 4(b). Lalu kedua gelombang tersebut mengalami superposisi sehingga arus sumber kembali berbentuk sinusoida seperti tampak pada Gambar 4(c).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Cara menentukan arus kompensasi adalah dengan menentukan arus sumber cacat sebelum dan setelah melalui filter sehingga hasilnya menjadi bentuk sinusoida. Pengaturan dilakukan dengan kendali PI dalam penyearah MLP.

4.2 Arus Sumber dengan Beban RC Sebelum dan Sesudah Melalui Filter Aktif

Pada rangkaian uji sistem tiga fase empat kawat, beban nonlinier berupa penyearah dioda dengan tambahan berupa rangkaian RC yang berbeda-beda menyebabkan arus beban terdistorsi. Pembebanan dilakukan dengan harga $C_a = 220 \mu\text{F}$ dan $R_a = 250 \Omega$, $C_b = 240 \mu\text{F}$ dan $R_b = 200 \Omega$, dan $C_c = 200 \mu\text{F}$ dan $R_c = 300 \Omega$ sehingga untuk masing-masing fase diperoleh hasil seperti pada Gambar 6.

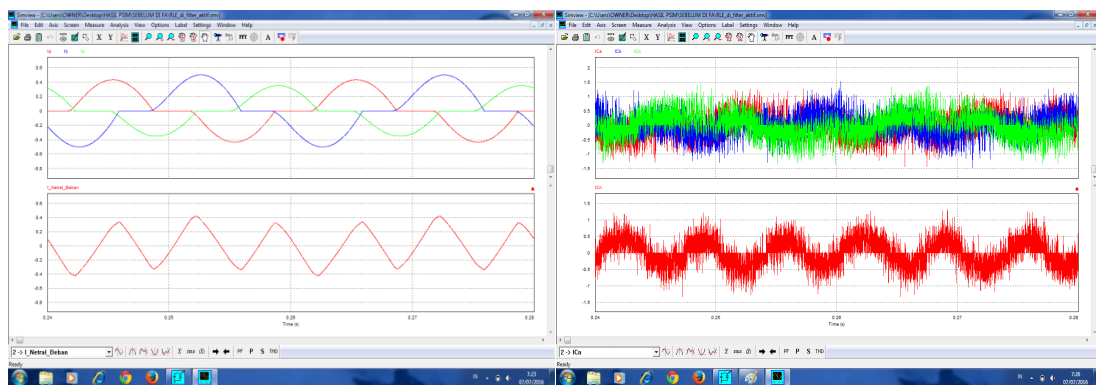


Gambar 6(a) Arus Beban RC dan Arus Netral Terdistorsi, (b) Arus Kompensasi, dan (c) Arus Sumber Sesudah Melalui Filter Aktif

Pada Gambar 6(a) dan 6(b) terlihat arus kompensasi dan arus netral kompensasi untuk beban RC yang dihasilkan oleh filter aktif. Sedangkan arus sumber untuk beban RC sesudah di filter aktif diperlihatkan pada Gambar 6(c) yang merupakan superposisi dari arus beban dan arus kompensasi tersebut.

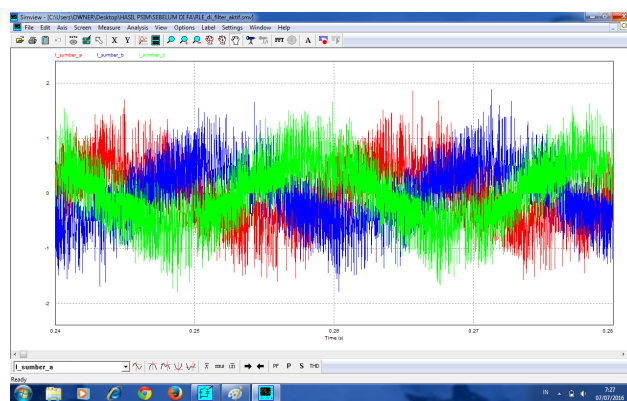
4.3 Arus Sumber dengan Beban RLE Sebelum dan Sesudah Melalui Filter Aktif

Beban nonlinier berupa penyearah diode dengan tambahan rangkaian R, L dan E (DC) = $\frac{1}{2}V_{\max}$ (AC) yang berbeda-beda menyebabkan arus beban terdistorsi. Pembebanan dilakukan dengan harga $L_a = 100$ mH, $R_a = 250 \Omega$, $E = 110$ V, $L_b = 210$ mH, $R_b = 200 \Omega$, $E = 110$ V, $L_c = 200$ mH, $R_c = 300 \Omega$, $E = 110$ V, sehingga diperoleh hasil untuk masing-masing fase dan fase netral seperti pada Gambar 7.



(a)

(b)



(c)

Gambar 7(a) Arus Beban RLE dan Arus Netral Terdistorsi, (b) Arus Kompensasi, dan (c) Arus Sumber Sesudah Melalui Filter Aktif

Arus kompensasi dan arus netral kompensasi untuk beban RLE yang dihasilkan oleh filter aktif terlihat seperti pada Gambar 7(a) dan 7(b). Sedangkan arus sumber untuk beban RLE sesudah melalui filter aktif diperlihatkan pada Gambar 7(c).

5. KESIMPULAN

Pengaturan arus kompensasi dengan kendali PI dapat memperbaiki cacat gelombang akibat distorsi yang disebabkan oleh RL, RC dan RLE sehingga arus sumber terdistorsi menjadi bentuk sinusoida kembali.

Penggunaan kendali PI dalam format standar belum menghasilkan arus sumber sinusoida murni. Perlu dilakukan pengembangan berupa kendali PI yang terhubung penyearah MLP untuk dapat menghasilkan sinyal modulasi. Sinyal modulasi digunakan sebagai sinyal kendali pada filter aktif untuk menghasilkan arus kompensasi yang mempunyai amplitudo sama dan polaritas berlawanan dengan arus beban terdistorsi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Akagi. "Active Harmonic Filters". *Proc. of the IEEE*, Vol. 93, No. 12, hlm. 2128- 2141, Desember 2005.
- [2] Tri Desmana Rachmildha, Ana Llor, Maurice Fadel, Pekik A. Dahono, Yanuarsyah Haroen."Comparison of Direct Power Control with Hybrid Approach on 3-Phase 4-Wire Active Power Filter between p-q-0 and p-q-r Power Theory". *Prosiding 2008 IEEE ISIE*, hlm. 2270-2275.
- [3] I. Yudiantoro, R. Setiabudy dan R. Gunawan. "Comparison of Voltage Vector Control Based on Duty Cycle Analysis in Three Phase Four Leg System of Active Filter". *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Vol. 6, No. 4, hlm. 1395-1405, Agustus 2016.
- [4] M.P. Kazmierkowski, R. Krishnan, F. Blaabjerg. *Control in Power Electronics: Selected Problems*, Chap 4, 11. Academic Press. 2002.
- [5] H.Akagi, E.H. Watanabe dan M. Aredes. *Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning*. J. Wiley-IEEE, 2007.
- [6] H. Kim dan H. Akagi. "The Instantaneous Power Theory on the Rotating p-q-r Reference Frames". *Proc. on 1999 IEEE International Conf. on PEDS*.