

Reduksi Harmonisa Pada Saluran Distribusi Tenaga Listrik Dengan Filter Daya Aktif

Fitriadi^{1*}, Muh. Imran Hamid², Herisajani³, Firmansyah⁴ dan Zulka Hendri⁵

^{1,3,4,5} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang

² Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang, Indonesia

*Corresponding Author, email: fitriadichng@gmail.com

Abstrak– Pada paper ini dilakukan simulasi perbaikan kualitas daya melalui reduksi harmonisa menggunakan filter daya aktif paralel. Filter daya aktif bekerja dengan teknik pengontrolan yang berdasarkan konsep daya sesaat untuk menentukan besarnya arus kompensasi yang harus dibangkitkan oleh rangkaian daya kompensator daya. Referensi arus kompensasi yang dihasilkan oleh rangkaian pengendali digunakan oleh kontroler arus tipe histerisis untuk memberikan kompensasi harmonik yang timbul. Dari simulasi yang dilakukan dengan menggunakan Simulink MATLAB, diperoleh penurunan nilai harmonik yang diakibatkan oleh beban rektifier 3 fasa pada sebuah jaringan distribusi yang dijadikan sebagai contoh kasus. Kandungan harmonik sebelum dikompensasi pada jaringan adalah sebesar 27,85% pada setiap fasanya, sementara setelah dikompensasi nilai harmonik jaringan turun menjadi 1,43% pada fasa R, 1,49% pada fasa S dan 1,34% pada fasa T.

Kata kunci: harmonisa, filter daya aktif, daya sesaat, kompensasi

Abstract – In this paper had been done a simulation of power quality improvement through harmonic reduction using parallel active power filter. Active power filters work with control techniques based on the concept of instantaneous power to determine the amount of compensation currents that must be generated by the power compensator power circuit. The compensating current references generated by the control circuit are used by the hysteresis type controller to provide harmonic compensation arising. From the result of simulation using Simulink MATLAB, the harmonic value (THD) decrease caused by the 3 phase rectifier load on a distribution network which is used as case example. The harmonic value before compensated on the network is 27.85% at each phase, while after computing the harmonic value of the network decreases to 1.43% in R phase, 1.49% in S phase, and 1.34% in T phase.

Keywords : harmonics, power active filter, instantaneous power, compensation

© 2023 Elektron Jurnal Ilmiah

I. PENDAHULUAN

Penggunaan *power converter* dan teknologi elektronika daya dalam sistem tenaga listrik saat ini berkembang sangat pesat. Aplikasinya terbentang dari sistem pembangkitan, penyaluran, hingga sistem penggunaan tenaga listrik. Di sisi penggunaan tenaga listrik, konverter daya yang bekerja berdasarkan prinsip pensaklaran (*switching*) frekuensi tinggi digunakan pada peralatan-peralatan penerangan, sistem konversi listrik-mekanik, dan penggunaan lainnya. Dalam beroperasi, konverter daya memperlihatkan fenomena *non linear* antara tegangan suplai dan arus yang ditariknya, sehingga pada umumnya peralatan yang tersusun dari konverter daya digolongkan sebagai beban-beban *non linear*. Peralatan atau beban *non linier* merupakan jenis beban yang menghasilkan arus yang tidak sebanding atau tidak *linier* dengan tegangan yang diterima beban tersebut. Arus beban *non linier* menarik arus yang tidak berbentuk *sinusoidal* meskipun sumber tegangan yang dipakai pada beban itu berbentuk gelombang *sinusoidal*.

Peralatan *non linier* yang beroperasi pada suatu instalasi konsumen dapat mempengaruhi kualitas daya sistem tenaga listrik yang mensuplai konsumen tersebut. Selanjutnya, buruknya kualitas daya sistem tersebut mengakibatkan konsumen lain yang terhubung pada sistem yang sama akan mendapatkan dampak buruk dari kondisi tersebut [1].

Salah satu bentuk dari kualitas daya yang buruk adalah tingginya kandungan harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik yang timbul akibat pengoperasian peralatan listrik non linier, bentuknya berupa adanya gelombang-gelombang daya pada frekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamental sistem tersebut [2]. Untuk sistem 50 Hz, maka frekuensi gelombang harmonisanya adalah 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz, dan seterusnya [10]. Keberadaan gelombang-gelombang harmonisa akan mengganggu bentuk gelombang fundamental sistem kelistrikan, bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya berbentuk *sinusoidal* murni akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi [3].

Kehadiran harmonisa pada saluran distribusi sistem tenaga menghasilkan kerugian yang sangat besar pada system tersebut. Sebagai contoh adalah: panas lebih (*overheating*) dan kerusakan/ kegagalan penghantar netral, panas lebih dan kerusakan/ kegagalan terhadap saluran penghubung PHB-TR, distorsi saluran jala-jala, tegangan bermuara sama (*common mode*) yang lebih tinggi, gangguan *tripping* pada *circuit breaker*, panas lebih dan kegagalan prematur pada trafo distribusi, dan sebagainya [4].

Karena efek yang merugikan pada harmonisa daya, maka dikembangkan suatu skema untuk pengontrolan harmonisa [5]. Dalam penelitian ini reduksi harmonisa dari aspek peralatan dapat ditekan dengan penggunaan filter

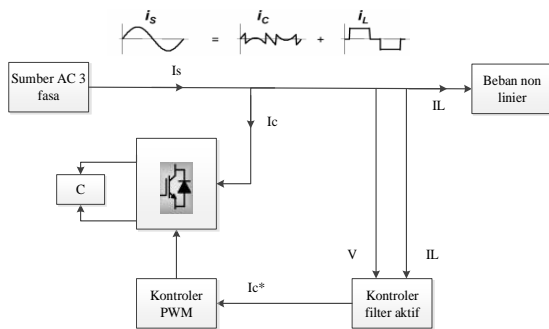
aktif dan penggunaan konsep daya sesaat pada sistem kontrolnya.

Filter aktif pada dasarnya terdiri dari 2 komponen, yaitu komponen rangkaian daya dan kontroler. Rangkaian daya pada filter aktif terdiri dari perangkat *switching* berupa komponen-komponen elektronika daya. Komponen elektronika daya ini bekerja dengan mode *switching* yang diperoleh dari pengatur modulasi lebar pulsa tegangan atau arus yang disebut *Pulse Width Modulation*. Teknik pengontrolan pada filter aktif banyak digunakan berdasarkan teori daya sesaat (*Instantaneous Power Theory*) atau dikenal dengan teori P-Q.

Maka tujuan dari penelitian ini menunjukkan secara simulasi efektivitas penggunaan teori daya sesaat kompensator pada arus dan tegangan harmonisa yang dibangkitkan oleh beban *non linier* dengan menggunakan filter aktif paralel dengan MATLAB *Simulink*.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan simulasi untuk mengurangi harmonisa arus atau tegangan yang terjadi pada saluran distribusi sistem tenaga listrik menggunakan filter aktif dengan memanfaatkan teori daya sesaat. Dimana pemodelan rancangan *single line diagram power system* yang terdistorsi kemudian nantinya diparalelkan dengan filter aktif seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Sistem konfigurasi dasar filter daya aktif paralel[2]

Teori daya sesaat atau *p-q theory* merupakan teori yang ditulis oleh Akagi pada tahun 1983 untuk mengontrol filter aktif. Metode teori p-q mengandung transformasi aljabar tegangan dan arus sistem tiga fasa dari koordinat a-b-c ke koordinat α - β -0 yang diikuti oleh perhitungan komponen teori daya sesaat. Teori p-q didasarkan pada sekumpulan teori daya sesaat yang didefinisikan berdasarkan domain waktu [6]-[9] yang dikenal dengan transformasi Clarke.

Pada sistem tiga fasa transformasi Clarke untuk algoritma kontrol tegangan dan arus ditampilkan dalam persamaan (1) dan (2).

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \tag{2}$$

Dari persamaan (1) dan (2) diatas daya sesaat pL dan daya reaktif sesaat qL yang melalui beban diperoleh :

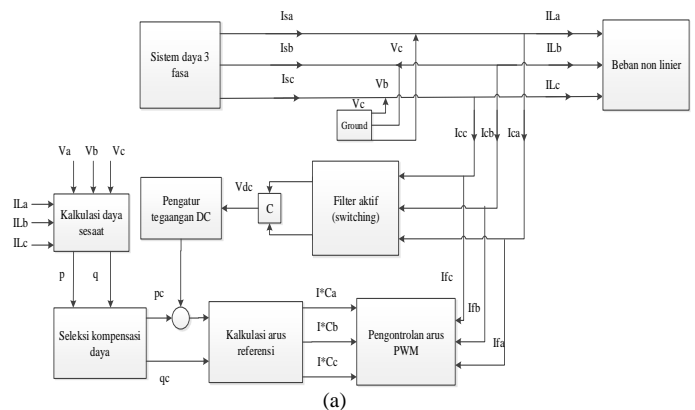
$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p_L \\ q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & v_\beta - v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_{L\alpha} \\ i_{L\beta} \end{bmatrix} \tag{3}$$

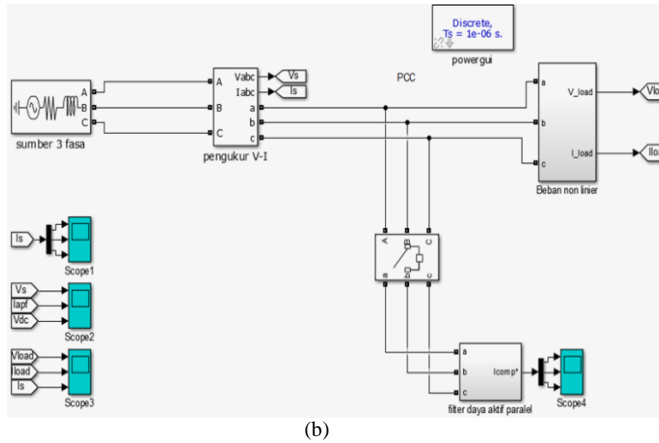
Tahapan rancangan simulasi

1. Perancangan power sistem tenaga listrik

Pada gambar 2 di ilustrasikan sebuah *power sistem* dengan tegangan sumber sinusoidal beroperasi pada beban *non linier*. Arus pada beban non linier (IL) mengandung komponen harmonik. Harmonik pada kawat saluran (Is) dihasilkan oleh *drop* tegangan *non linier* (ΔV) pada impedansi saluran yang menyimpang pada tegangan beban (VL). Selama tegangan beban menyimpang maka format dan bentuk arus beban (IL) akan menjadi non sinusoidal.

Konsep *power system* yang dilengkapi dengan unit perbaikan kualitas daya menggunakan rangkaian aktif filter paralel berdasarkan teori daya sesaat melalui beberapa tahapan transformasi yang dapat dilihat pada gambar 2 (a), dimana pada gambar dapat dilihat perhitungan referensi arus filter saat daya nyata sesaat pL dan daya reaktif qL yang mengalir ke beban dapat dihitung menggunakan blok konversi P-Q. Sebelum masuk ke blok konversi P-Q, tegangan dan arus beban sesaat dirubah dahulu dalam sistem koordinat α - β menggunakan transformasi Clarke pada persamaan (1) dan (2) yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

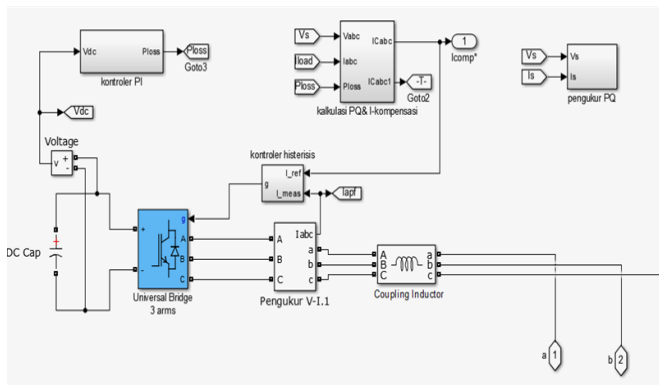




(b)

Gambar 2. Rangkaian sistem tiga kawat filter daya aktif paralel; (a) Blok diagram system tiga kawat filter daya aktif paralel, (b) Rangkaian simulasi pengujian harmonisa menggunakan beban non linier menggunakan filter daya aktif paralel dengan MATLAB Simulink

2. *Pemodelan simulasi kompensator harmonisa menggunakan filter aktif dengan sistem kontrol berdasarkan teori daya sesaat*



Gambar 3. Rangkaian simulasi pengontrolan filter daya aktif paralel

Filter daya aktif paralel memperoleh masukan dari sumber tegangan dan arus beban yang digunakan untuk memperoleh arus referensi harmonisa pada sistem kontrol. Teori daya aktif-reaktif (p-q) digunakan sebagai kontrol untuk mendapatkan arus referensi. Arus referensi tersebut akan digunakan untuk referensi pembangkit PWM yang akan dibandingkan dengan *sinyal carrier* yang akan menghasilkan pulsa. Pulsa tersebut digunakan untuk pemacu *inverter* yang kemudian digunakan untuk membangkitkan gelombang arus filter untuk diinjeksikan ke dalam sistem.

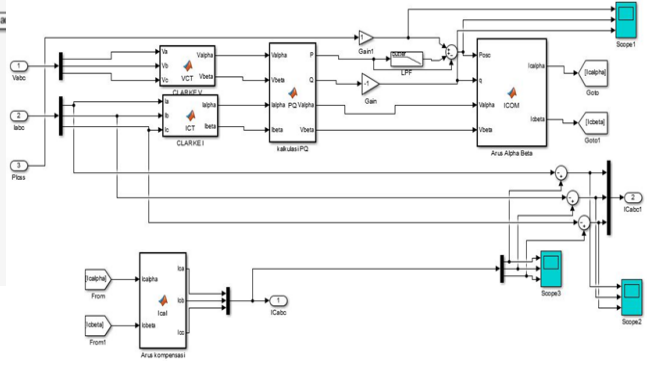
Pada gambar 3. dapat dilihat rangkaian simulasi pengontrol filter aktif paralel yang terdiri dari subsistem-subsistem kalkulasi PQ & arus kompensasi, pengukuran PQ, kontroler PI dan kontroler histerisis. Pada rangkaian juga terdapat komponen pengukur Tegangan-Arus, kopling induktor, kapasitor DC, dan *universal bridge*.

Perhitungan strategi pengontrolan teori daya sesaat ini berdasarkan pada transformasi Clarke yang telah dijelaskan pada persamaan (1) dan (2). Selanjutnya untuk mengkalkulasi daya aktif –reaktif menggunakan persamaan (4), rangkaian simulasi kalkulasi p-q teori daya sesaat dengan menerapkan transformasi Clarke dapat dilihat pada gambar 4.

$$p = v_{\alpha} i_{\alpha} + v_{\beta} i_{\beta}$$

$$q = v_{\beta} i_{\alpha} + v_{\alpha} i_{\beta}$$

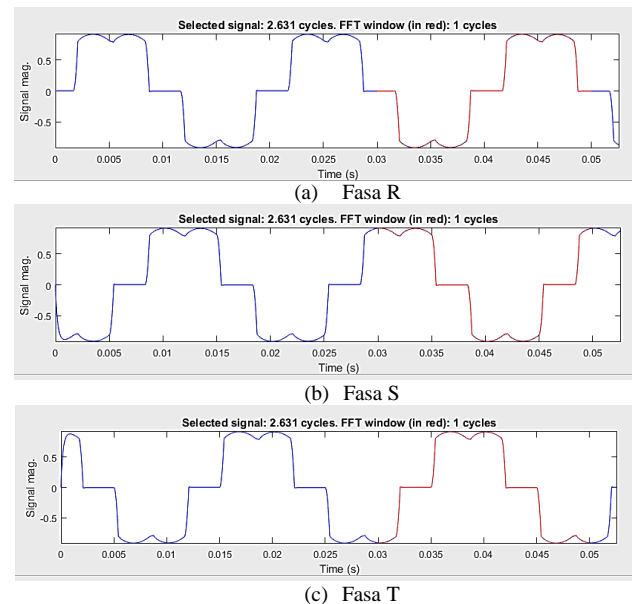
(4)



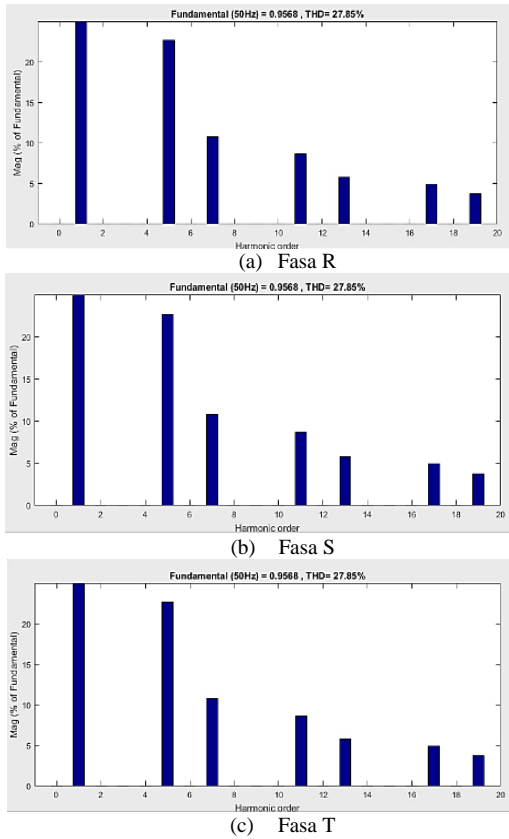
Gambar 4. Rangkaian simulasi kalkulasi p-q dan arus kompensasi

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian simulasi dilakukan untuk melihat bagaimana hasil harmonisa yang ditimbulkan oleh beban non linear, baik setelah menggunakan filter maupun tanpa filter. Dimana pemodelan rangkaian dengan tegangan 40 Volt sistem 3 fasa dengan beban *rectifier* gelombang penuh tanpa diparalelkan dengan filter daya aktif, maka dapat dilihat bentuk gelombang arus harmonisa dari simulasi seperti yang terlihat pada gambar 5. Pada gambar terlihat pada setiap fasa mengalami distorsi sehingga merusak bentuk dari gelombang tersebut menjadi tidak sinusoidal murni. Untuk spektrum dan persentase harmonisa dapat dilihat pada gambar 6 berikut

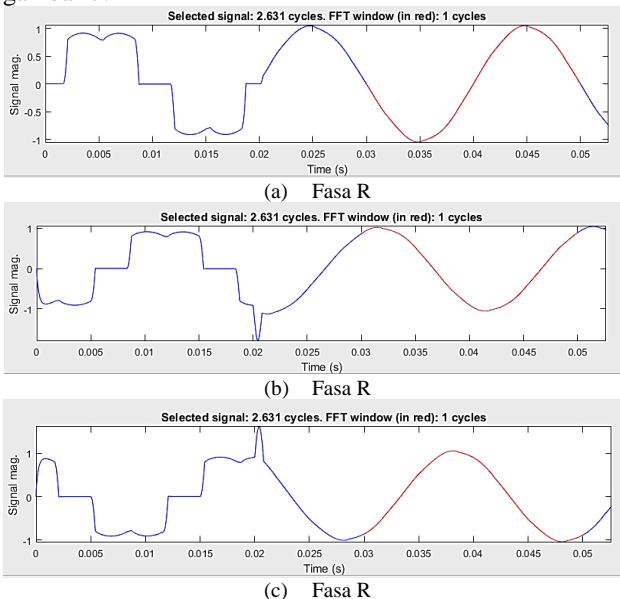


Gambar 5. Bentuk gelombang harmonisa arus (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T tampilan FFT window sebelum filter daya aktif.



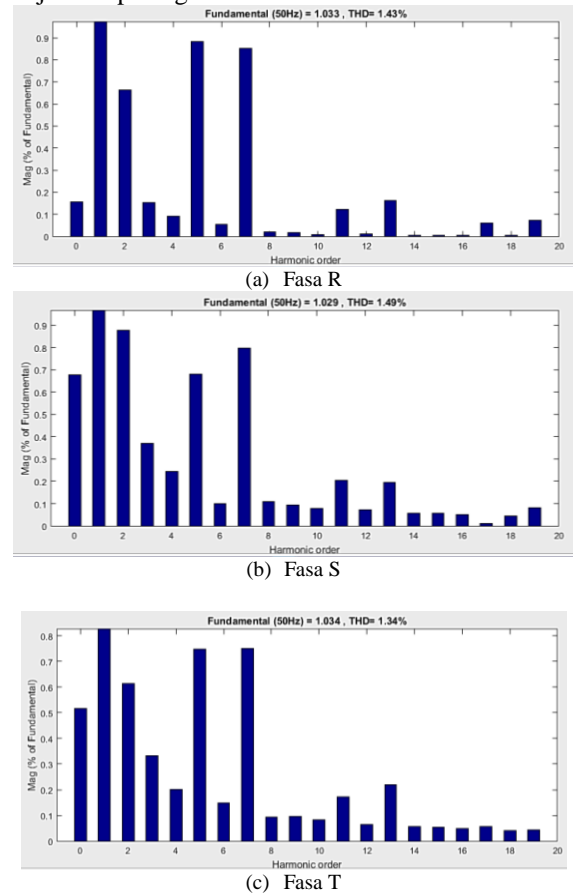
Gambar 6. Bentuk Spektrum harmonisa (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T sebelum filter daya aktif

Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai yang didapatkan dari simulasi ini menunjukkan nilai THDi yang sangat tinggi yaitu sebesar 27,85% pada Fasa R, 27,85% pada Fasa S dan 27,85% pada Fasa T, dengan nilai THD tertinggi terdapat pada orde ke-5 di masing-masing fasanya. Pengujian simulasi selanjutnya beban *rectifier* gelombang penuh diparalelkan dengan filter aktif. Bentuk gelombang harmonisa yang didapatkan dari hasil simulasi setelah pemasangan filter daya aktif dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Bentuk gelombang harmonisa arus (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T tampilan FFT window setelah filter daya aktif paralel.

Pada gambar 7 dapat dilihat bentuk gelombang arus pada fasa R, S, T setelah pemasangan filter daya aktif. Bentuk gelombang yang terlihat perbaikan bentuk yang cukup signifikan mendekati sinusoida murni dibandingkan sebelum pemasangan filter daya aktif. Sedangkan penurunan IHD arus dan THD hasil simulasi pada spektrum orde harmonisa setiap fasa R, S, dan T ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. Bentuk Spektrum harmonisa (a) fasa R, (b) fasa S, (c) fasa T setelah filter daya aktif

Setelah dilakukan simulasi dengan pemasangan filter, menunjukkan pada fasa R terlihat perbedaan persentase nilai IHD arus yang sangat signifikan pada orde ke 5 yaitu dari 22,68% menjadi 0,88% dan orde ke 7 yaitu dari 10,77% menjadi 0,85%, sedangkan THD arus pada fasa R dari 27,85% turun menjadi 1,43%. Pada fasa S terlihat penurunan IHD arus yang signifikan pada orde ke 5 yaitu dari 22,68% menjadi 0,68%, dan orde ke 7 dari 10,77% menjadi 0,80%, sedangkan THD arus pada fasa S turun dari 27,85% menjadi 1,49%. Dan untuk fasa T penurunan IHD arus pada orde ke 5 dari 22,68% turun menjadi 0,75% dan orde ke 7 dari 10,77% turun menjadi 0,75%, sedangkan THD arus pada fasa T mengalami penurunan dari 27,85% menjadi 1,34%. Perbandingan presentase hasil IHDi sebelum dan setelah pemasangan filter daya aktif paralel dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Perbandingan IHDi sebelum dan setelah pemasangan filter daya aktif paralel

Orde	IHDi(%)					
	R		S		T	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
1	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	0,00%	0,66%	0,00%	0,88%	0,00%	0,61%
3	0,00%	0,15%	0,00%	0,37%	0,00%	0,33%
4	0,00%	0,09%	0,00%	0,25%	0,00%	0,20%
5	22,68%	0,88%	22,68%	0,68%	22,68%	0,75%
6	0,00%	0,05%	0,00%	0,10%	0,00%	0,15%
7	10,77%	0,85%	10,77%	0,80%	10,77%	0,75%
8	0,00%	0,02%	0,00%	0,11%	0,00%	0,09%
9	0,00%	0,02%	0,00%	0,09%	0,00%	0,10%
10	0,00%	0,01%	0,00%	0,08%	0,00%	0,08%
THDi(%)	27,85%	1,43%	27,85%	1,49%	27,85%	1,34%

Berdasarkan tabel 1, menunjukkan persentase penurunan THDi sebelum dan sesudah pada setiap fasa yaitu, 27,85% untuk fasa R menjadi 1,43% , 27,85% untuk fasa S menjadi 1,49%, dan 27,85% untuk fasa T menjadi 1,34%. Sedangkan bentuk gelombang sudah mendekati sinusoidal murni pada setiap fasanya, ini menunjukkan bahwa pemasangan filter daya aktif paralel dengan memanfaatkan teori daya sesaat dapat memperbaiki gelombang pada arus listrik yang mengalami distorsi karena arus harmonisa.

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan analisa mengenai reduksi harmonisa dengan menggunakan kompensator berupa filter daya aktif paralel maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut. Dari hasil pengukuran dalam simulasi filter daya aktif paralel diperoleh nilai THD arus sebelum dan sesudah pada setiap fasa yaitu, 27,85% untuk fasa R menjadi 1,43% , 27,85% untuk fasa S menjadi 1,49%, dan 27,85% untuk fasa T menjadi 1,34%. Tingkat penurunan persentase THD arus masing-masing fasa setelah pemasangan filter daya aktif paralel sebagai kompensator arus yaitu, 26,42% untuk fasa R, 26,36% untuk fasa S, dan 26,51% untuk fasa T. Dilihat dari perubahan nilai THD yang diperoleh dapat dikatakan bahwa penggunaan teori daya sesaat merupakan cara yang efektif sebagai kompensasi arus dan tegangan harmonisa.

REFERENSI

- [1] Riza W, Herisajani, Witronanda. "Prediksi Distorsi Harmonisa Pada Utility Listrik Perumahan Yang Disebabkan Oleh Beban Nonlinier Menggunakan Statistik Perbandingan Linier" Elektron: Vol. 1 No. 1, Edisi: Juni 2009.
- [2] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power System Quality", (New York: McGraw-Hill), 1996
- [3] 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.
- [4] J.R Vazquez and P. Salmeron, " Active power filter control using neural network technologies," in Proc. IEE Electr. Power Appl., vol.150, no.2, pp.139-35145, March 2003.
- [5] G. Nitin, S.P. Singh, and S.P. Dubey," Neural network based shunt active filter for harmonic and reactive power compensation under

- non-ideal mains voltage," IEEE Trans. Power Syst., vol.10, no.5, pp.978-1-4244-5046-6, 2010.
- [6] H. Akagi, Y. Kanazawa dan A. Nabae, Copyright © 2007, "Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning", the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
 - [7] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Generalized Theory of Instantaneous Reactive Power and Its Applications," Transactions of the IEE-Japan, Part B, vol. 103, no.7, 1983, pp. 483-490 (in Japanese).
 - [8] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits," in IPEC'83 International Power Electronics Conference, Tokyo, Japan, 1983, pp. 1375-1386.
 - [9] H. Akagi, Y. Kanazawa, and A. Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices Without Energy Storage Components," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-20, no. 3, 1984, pp. 625-630.
 - [10] Arrilaga J, Bradley D. A and Bodger P.S. "Power System Harmonics". John Wiley & Sons. 1985