

SIMULASI PENGGUNAAN FILTER AKTIF PARALEL UNTUK MEREDAM HARMONISA STUDI KASUS SISTEM KELISTRIKAN PT KALTIM PRIMA COAL

Dhani Wahyu Utama Putra ^{*)}, Agung Warsito, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : dhaniwahyu@gmail.com

Abstrak

PT Kaltim Prima Coal (KPC) sebagai salah satu perusahaan penambangan batu bara terbesar banyak menggunakan peralatan yang berbasis elektronika daya, salah satunya motor yang dilengkapi Variable Speed Drive (VSD yang berfungsi sebagai pengatur kecepatan motor dalam proses produksi. Namun penggunaan VSD dapat menimbulkan masalah kualitas daya yaitu harmonisa. Harmonisa adalah komponen arus maupun tegangan yang memiliki frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental 50Hz. Salah satu metode untuk mengatasi harmonisa adalah penggunaan filter aktif paralel. Penelitian ini melakukan simulasi penggunaan filter aktif paralel untuk mengurangi harmonisa pada bus MCC-380V Marine 2 Substation PT KPC dengan menggunakan software Matlab/Simulink R2008a. Filter aktif paralel disimulasikan menggunakan rangkaian pembangkit arus VSI 3 fasa dengan control PWM yang dirangkai paralel dengan beban. Teori daya aktif-reaktif sesaat (p-q theory) digunakan untuk menentukan besar arus kompensasi harmonisa. Keluaran arus kompensasi ini digunakan sebagai sinyal referensi PWM untuk membangkitkan sinyal picu IGBT. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan filter aktif paralel dapat memberikan kerja yang baik dalam menurunkan harmonisa sistem. Hasil simulasi THD arus pengukuran sistem sebelum pemasangan filter adalah sebesar 70.1%. Pemasangan filter aktif paralel dapat meredam harmonisa sistem menjadi 10.65%. Selain itu, pemasangan filter aktif paralel mampu memperbaiki faktor daya sistem dari 0.76 menjadi 0.99.

Kata kunci: Harmonisa, filter aktif paralel, p-q theory, THD arus

Abstract

PT Kaltim Prima Coal (KPC) is one of the largest coal miners uses many utility based on power electrical, one of them is automatic motor control with Variable Speed Drive (VSD used to control motor speed in mining processing specifically for coal production. However VSD makes new problem in power system quality called harmonics. Harmonics is current or voltage component with frequency that are integer multiple of fundamental frequency 50Hz. One possible method to be used to overcome harmonics problem is active power filter This research simulates the use of shunt active power filter (SAPF) to compensate current harmonics in KPC's power system at 380V-MCC Bus of Marine 2 Substation using Matlab/Simulink R2008a. SAPF simulated using current source circuit VSI with carrier-based PWM strategy, that paralel connected with load. The instantaneous active-reactive power theory (p-q theory) applied to determine the reference compensation current. This current compensation's output used to be reference signal PWM. The experimental result shows that using SAPF gives satisfactory performance in order to decrease harmonics in power system. Current THD before connection SAPF is 70.1% decrease until 10.65% by connection of SAPF. Furthermore SAPF capable of power factor correction increase the value from 0.76 to 0.99.

Keywords : harmonics, shunt active power filter, p-q theory, current THD

1. Pendahuluan

Permasalahan kualitas daya merupakan salah satu topik yang ramai diperbincangkan di dunia kelistrikan akhir – akhir ini. Penggunaan beban berbasis elektronika daya

yang semakin pesat merupakan salah satu penyebab timbulnya masalah kualitas daya listrik. Penemuan komponen elektronika daya tersebut pada dasarnya merupakan keuntungan yang besar bagi dunia kelistrikan karena dapat dihasilkan bentuk dan nilai tegangan yang sesuai keinginan. Namun disamping itu penggunaan

peralatan elektronika daya ternyata menimbulkan permasalahan yang cukup serius yaitu timbulnya distorsi gelombang tegangan maupun arus listrik. Sistem tenaga listrik pada dasarnya didesain dengan frekuensi operasi 50Hz. Namun akibat penggunaan beban nonlinear seperti komponen elektronika daya di atas muncul arus dan tegangan dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat dari 50Hz. Gelombang dengan frekuensi tinggi ini akan menyebabkan distorsi pada gelombang dasar sehingga bentuknya tidak lagi murni sinusoidal. Fenomena inilah yang dikenal dengan nama harmonisa[1].

PT Kaltim Prima Coal (KPC) adalah salah satu perusahaan penghasil batu bara terbesar di Indonesia yang merupakan anak perusahaan dari PT Bumi Resources (Tbk) yang terletak di Kalimantan Timur. Dalam proses produksinya, PT KPC banyak menggunakan motor yang dikendalikan oleh Variable Speed Drive (VSD). VSD pada dunia kelistrikan dikenal sebagai salah satu sumber terbesar harmonisa yang menyebabkan arus fundamental pada jaringan tidak lagi berbentuk sinusoidal.

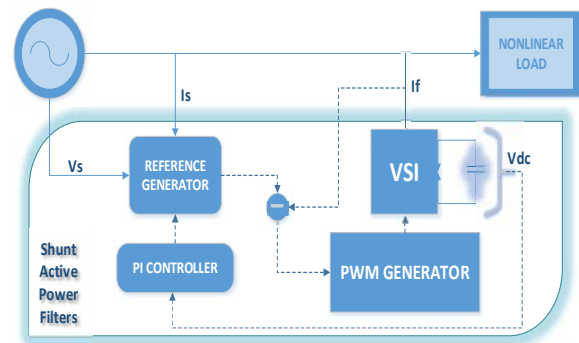
Diperlukan suatu langkah mengkompensasi kemunculan harmonisa tersebut. Banyak literatur telah memaparkan jenis – jenis filter yang dapat digunakan, diantaranya filter pasif, aktif, atau hybrid. Filter pasif sudah banyak digunakan di dunia industri saat ini. Namun demikian ternyata filter pasif memiliki beberapa kekurangan, diantaranya timbulnya resonansi seri atau paralel dengan impedansi sistem. Filter aktif merupakan jenis yang saat ini dikembangkan dan mulai banyak digunakan untuk menghindari kekurangan yang ditimbulkan filter pasif serta memperbaiki kualitas daya[1]. Performa dari filter aktif sangat bergantung pada topologi dan jenis kontrol yang digunakan.

Penelitian ini bertujuan mensimulasikan penggunaan filter aktif paralel untuk mengkompensasi harmonisa yang muncul pada sistem kelistrikan PT KPC. Obyek penelitian dibatasi hanya pada bus 380V MCC Marine 2 Substation. Untuk memperoleh arus kompensasi digunakan teori daya aktif-reaktif sesaat yang akan membangkitkan sinyal PWM pada IGBT.

2. Metode

2.1 Filter Aktif Paralel

Prinsip kerja dari filter aktif paralel adalah membangkitkan arus yang sesuai dengan harmonisa pada sistem tetapi berbeda fase 180° sehingga penjumlahan total adalah nol[2], dengan konsep inilah harmonisa pada sistem dapat direduksi. Untuk membangkitkan arus atau tegangan kompensasi yang sesuai (mendekati) komponen harmonisa sistem digunakan inverter.



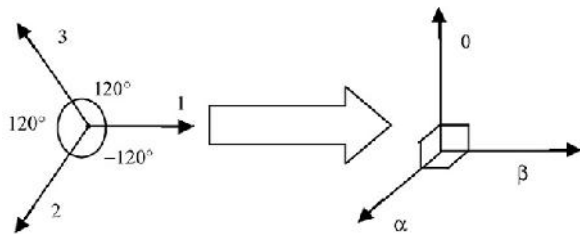
Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Filter Aktif Paralel

Rangkaian ekuivalen untuk filter aktif paralel dapat dilihat pada Gambar 1. Sebagai sinyal input filter adalah tegangan sumber dan arus beban. Kedua sinyal tersebut akan melalui suatu skema kontrol pada filter untuk memperoleh arus referensi harmonisa. Teori daya aktif-reaktif sesaat dipilih sebagai sistem kontrol karena unjuk kerjanya yang cukup baik serta kemudahan dalam pengontrolan untuk mendapatkan arus referensi harmonisa[3]. Arus referensi harmonisa ini kemudian akan dijadikan referensi pembangkit sinyal PWM. Perbandingan antara sinyal referensi dengan sinyal *carrier* berupa gelombang segitiga akan menghasilkan pulsa. Pulsa ini yang akan digunakan sebagai pemicu inverter, dalam hal ini IGBT, yang kemudian akan membangkitkan gelombang arus filter untuk diinjeksikan ke dalam sistem.

2.2 Teori Daya Aktif-Reaktif Sesaat (*p-q Theory*)

Metode ini merupakan salah satu dan termasuk dari yang pertama digunakan dalam menentukan arus referensi harmonisa untuk filter aktif. Didasarkan pada teori yang ditemukan oleh H. Akagi[3] beserta beberapa artikel dan referensi lain, teori ini merupakan sebuah teori baru dalam dunia kelistrikan dimana sistem daya sesaat tenaga listrik akan dinyatakan dalam domain waktu. Teori ini dapat diterapkan pada sistem 3 fasa dengan atau tanpa kawat netral, dan pada kondisi *steady state* maupun transient.

Inti dari teori ini adalah mentransformasikan sistem 3 fasa RST menjadi sistem 2 fasa stasioner. Vektor tegangan maupun arus RST ditransformasikan menjadi koordinat menggunakan matriks transformasi Clark, untuk kemudian dihitung nilai komponen daya aktif-reaktif sesaatnya.



Gambar 2. Transformasi sistem vektor RST menjadi stasioner .

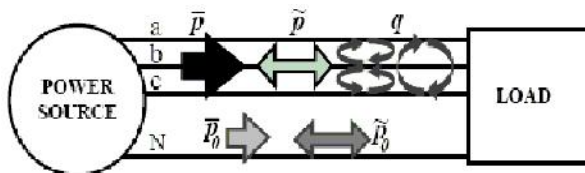
Matriks transformasi Clark untuk tegangan dan arus RST adalah sebagai berikut

$$\begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 2 & 2 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

dimana u bisa berupa tegangan (v) atau arus (i). Setelah diperoleh arus dan tegangan dalam koordinat kemudian dicari nilai daya aktif dan reaktif sesaatnya melalui perhitungan berikut.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (2)$$

dimana p merupakan daya aktif sesaat dan q merupakan daya reaktif sesaat. Ilustrasi mengenai kedua besaran ini dapat dilihat pada Gambar 3 dalam koordinat 3 fasa.



Gambar 3. Komponen daya sesaat dalam korrdinat 3 fasa.

Komponen – komponen pada Gambar 3 dapat dijelaskan sebagai berikut

\bar{p}_0 = yaitu nilai rata – rata dari daya urutan nol sesaat, yang menyatakan transfer energi dalam satuan waktu yang ditransfer dari sumber menuju beban melalui komponen tegangan dan arus urutan nol.

\tilde{p}_0 = yaitu nilai bolak – balik dari daya urutan nol sesaat, yang menyatakan transfer energi dalam satuan waktu yang ditransfer bergantian dari sumber ke beban maupun sebaliknya melalui komponen tegangan dan arus urutan nol. Daya urutan nol ini hanya muncul pada sistem 3 fasa dengan kawat netral.

\bar{p} = nilai rata – rata dari daya aktif sesaat, menyatakan energi yang ditransfer dalam satuan waktu dari sumber ke

beban melalui koordinat abc/RST dalam kondisi seimbang (merupakan komponen daya yang dibutuhkan).

\tilde{p} = nilai bolak – balik dari daya aktif sesaat, menyatakan energi yang ditransfer dalam satuan waktu dari sumber ke beban dan sebaliknya, melalui koordinat abc/RST.

q = nilai daya reaktif sesaat, yang menyatakan komponen daya yang berpindah diantara ketiga fasa. Komponen ini tidak berpengaruh secara langsung terhadap proses perpindahan energi antara sumber dan beban akan tetapi berhubungan dengan kemunculan arus yang tak diinginkan, yang mana tersebar pada ketiga fasa.

Pada kondisi normal, hanya nilai \bar{p} yang dibutuhkan oleh sistem, yang merupakan daya aktif yang diserap beban. Oleh karena itu diperlukan filter untuk menghilangkan komponen – komponen daya lain. Setelah dipilih komponen daya yang akan dihilangkan, maka nilai arus referensi harmonisa dapat diperoleh dengan menggunakan transformasi balik Clark. Arus referensi tersebut diperoleh melalui perhitungan berikut.

$$\begin{bmatrix} ic_\alpha \\ ic_\beta \end{bmatrix} = 1/(v_\alpha + v_\beta) \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{p} \\ q \end{bmatrix} \quad (3)$$

Kemudian ditransformasikan Clark balik dengan perhitungan berikut sehingga diperoleh arus referensi harmonisa. Arus ini yang dijadikan masukan PWM generator.

$$\begin{bmatrix} ic_1 \\ ic_2 \\ ic_3 \end{bmatrix} = \sqrt{2/3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ic_\alpha \\ ic_\beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.3 Pengambilan Data

2.3.1 Sistem Kelistrikan PT. Kaltim Prima Coal (KPC)

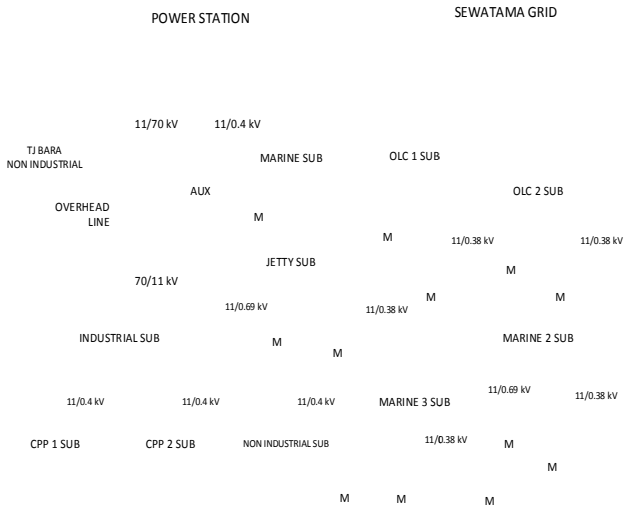
Beban di PT. KPC dipasok oleh pembangkit milik sendiri dan kontraktor dengan total kapasitas masing – masing 10MVA dan 15MVA. Total beban puncak wilayah kerja KPC mencapai 23 MW. Beban tersebut secara garis besar dibagi menjadi 2 wilayah pembebanan yaitu:

1. Tanjung Bara Area
2. CPP-Mine Site Area

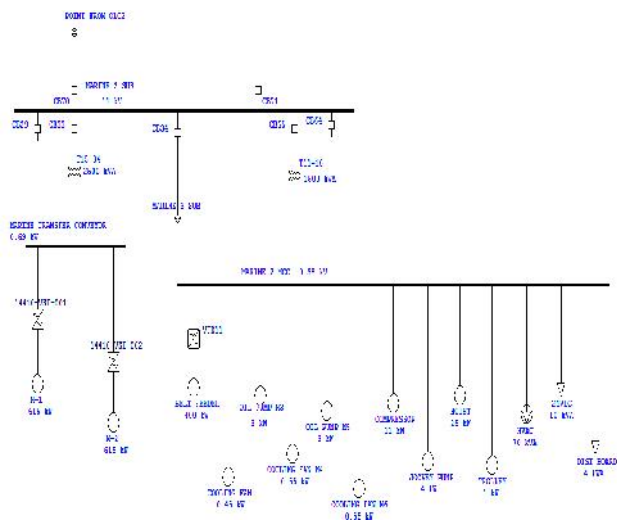
Pada kedua wilayah tersebut total terdapat 7 buah *substation* dengan tegangan kerja 11 kV. Gambar 4 merupakan *key single line diagram* dari sistem kelistrikan PT. KPC.

Sebagian besar *substation* tersebut merupakan penyuplai daya untuk motor – motor besar penggerak konveyor, *trestile*, *reclaimer*, serta peralatan pendukung

pengangkutan batubara menuju kapal, sedangkan sisanya adalah beban *office*, peralatan bengkel, dan perumahan.



Gambar 4. Single line diagram PT Kaltim Prima Coal.



Gambar 5. Single line diagram Marine 2 Substation

2.3.2 Marine 2 Substation

Untuk lebih menyederhanakan fokus analisa pada penelitian ini dipilih bus Motor Control Center 380V yang terdapat pada Marine 2 Substation sebagai sistem berharmonisa. Gambar 5 berikut merupakan SLD dari bus MCC 380V.

2.3.3 Data Harmonisa

Pengukuran nilai THD dilakukan pada sisi sekunder trafo T11-10 pada bus MCC 380V sebagai titik PCC. Pengukuran dilakukan dengan Power Quality Analyser 435B dan diambil nilai sesaatnya. Hasil pengukuran

diperoleh nilai THDi sebesar 71.8% dan THDv sebesar 2.7%. Nilai distorsi harmonisa arus dan tegangan untuk tiap orde dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut.

Tabel 1. Hasil pengukuran harmonisa arus tiap orde

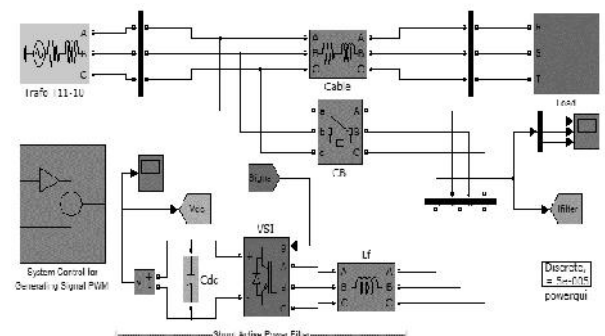
Orde Harmonisa	% Magnitude	Orde Harmonisa	% Magnitude
2	3.4	9	1.0
3	3.1	10	0.8
4	2.8	11	21.1
5	51.8	12	0.4
6	0.6	13	13.3
7	41.4	14	0.6
8	1.1	15	0.5
THDi		70.1%	

Tabel 2. Hasil pengukuran harmonisa tegangan tiap orde

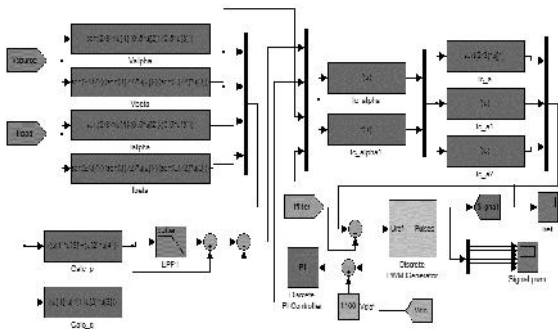
Orde Harmonisa	% Magnitude	Orde Harmonisa	% Magnitude
2	0.2	9	0.1
3	0.2	10	0.1
4	0.1	11	0.8
5	1.6	12	0.0
6	0.0	13	0.3
7	1.5	14	0.1
8	0.1	15	0.0
THDv		2.7%	

2.4 Pemodelan Sistem dengan Filter Aktif Paralel

Rangkaian penggunaan filter aktif paralel dalam simulasi dapat dilihat pada Gambar 6. Sebagaimana rangkaian ekuivalen seperti Gambar 1 di atas, filter aktif paralel tersusun dari inverter, yang berfungsi sebagai sumber arus, dipasang paralel dengan sistem. Pada sisi DC sebagai penyuplai energi dipasang kapasitor dengan nilai 14000 µF sedangkan pada sisi AC dihubung seri dengan induktor sebesar 1 mH sebagai filter harmonisa keluaran inverter akibat proses *switching*.



Gambar 6. Simulasi penggunaan filter aktif paralel



Gambar 7. Sistem Kontrol Pembangkit Sinyal PWM

Sebagai pengatur sinyal inverter digunakan teknik modulasi pulsa dengan gelombang sinusoidal sebagai sinyal referensi. Untuk menghasilkan pulsa pada PWM dibutuhkan sinyal referensi harmonisa sebagai inputnya agar dihasilkan gelombang harmonisa yang dikehendaki pada inverter. Mula – mula tegangan sumber dan arus beban diolah melalui skema kontrol menggunakan teori daya aktif-reaktif sesaat. Kemudian diseleksi komponen fundamental agar diperoleh hanya komponen harmonisa sistem. Skema keseluruhan dari sistem kontrol ini dapat dilihat pada Gambar 7.

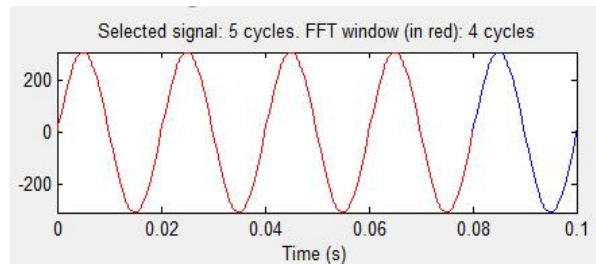
3. Hasil dan Analisa

Pada bagian ini dituliskan hasil simulasi dan analisis program pemasangan filter aktif paralel pada saluran 380V. Mula – mula diberikan sistem sebelum pemasangan filter kemudian akan dipaparkan dan dibandingkan hasil pengukuran sistem setelah dipasang filter aktif paralel. Nilai yang dihasilkan simulasi sebelum pemasangan filter disesuaikan dengan data yang diperoleh dari hasil pengukuran secara langsung pada sistem.

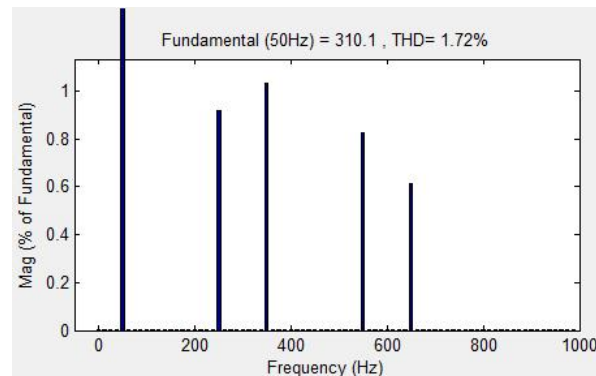
3.1 Simulasi Sistem Tanpa Filter

Kondisi awal sistem disimulasikan pada saat sebelum pemasangan filter aktif dengan nilai mula disesuaikan dengan hasil data yang diperoleh saat pengukuran. Nilai THDi dan THDv simulasi sistem secara keseluruhan adalah 71.01% dan 1.72%. Nilai THD diperoleh dengan menggunakan *FFT Analysis Powergui* pada *scope* yang terhubung dengan salah satu pengukur tegangan dan arus. Simulasi ini menggunakan Matlab/Simulink R2008a dengan durasi simulasi 4 *cycle*.

Gambar 8 menunjukkan gelombang tegangan sebelum penambahan filter aktif paralel. Sumbu vertikal menunjukkan nilai tegangan dalam satuan Volt dan sumbu horizontal menunjukkan orde waktu simulasi dalam detik. Untuk spektrum frekuensi gelombang tegangan dapat dilihat pada Gambar 9. Sumbu vertikal menunjukkan nilai frekuensi dalam Hz dan sumbu horizontal menunjukkan persen orde harmonisa terhadap gelombang fundamental.



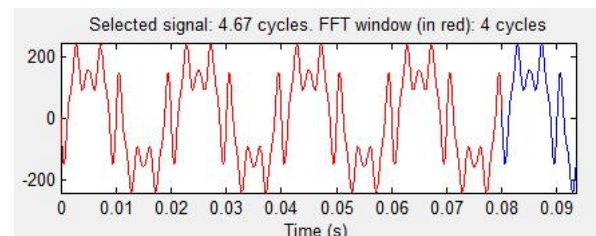
Gambar 8. Gelombang tegangan sumber sistem tanpa filter



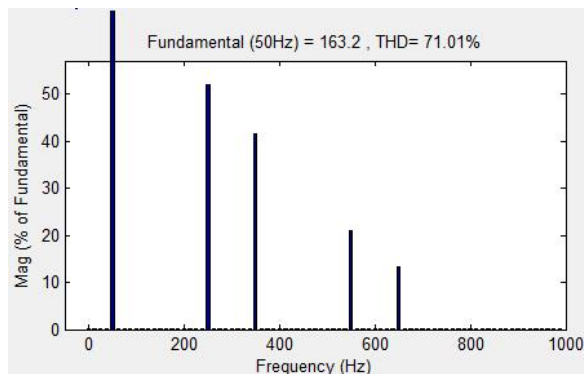
Gambar 9. Spektrum frekuensi tegangan sumber sistem tanpa filter

Sumber tegangan AC yang digunakan memiliki nilai nominal 220/380V. Dari Gambar terlihat bahwa bentuk gelombang tegangan masih sinusoidal meskipun terdapat distorsi pada beberapa orde frekuensi. Gambar 9 menunjukkan spektrum frekuensi kemunculan harmonisa pada gelombang tegangan. Terlihat adanya harmonisa pada orde ke-5, 7, 11, dan 13 namun nilainya masih dibawah standar dari IEEE Std 512-1992 sehingga masih dapat ditoleransi.

Gambar 10 menunjukkan gelombang arus sebelum pemasangan filter aktif paralel. Terlihat bahwa gelombang arus pada sistem awal terdistorsi sehingga menjadikan gelombang tidak lagi sinusoidal. Spektrum frekuensi dari harmonisa arus yang muncul dapat dilihat pada Gambar 11..



Gambar 10. Gelombang arus sumber sistem tanpa filter



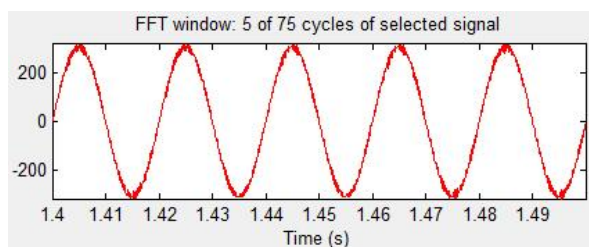
Gambar 11. Spektrum frekuensi arus sumber sistem tanpa filter

Selain nilai harmonisa dapat juga diamati untuk nilai faktor daya sistem. Pada pengukuran sistem sebelum pemasangan filter aktif paralel ini nilai faktor daya terukur adalah sebesar 0,76. Nilai ini masih di bawah standar PLN yaitu 0,85.

3.2 Simulasi Sistem Setelah Pemasangan Filter Aktif Paralel

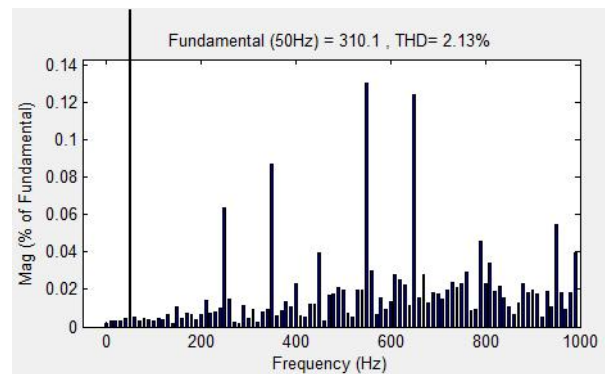
Pada bagian ini disimulasikan penggunaan filter aktif paralel untuk mengatasi kemunculan harmonisa pada sistem. Gambar 6 menunjukkan pemodelan sistem setelah dipasang filter aktif paralel. Dari hasil simulasi diperoleh nilai THDi dan THDv akhir setelah sistem dipasang filter adalah sebesar 10.65% dan 2.13%. Nilai faktor daya juga meningkat menjadi 0.99.

Gambar 12 menunjukkan bentuk gelombang tegangan setelah sistem dipasang filter. Spektrum frekuensi dari gelombang tegangan setelah dipasang filter dapat dilihat dari Gambar 13.

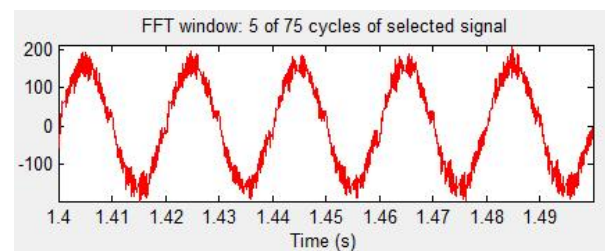


Gambar 12. Gelombang tegangan sumber setelah pemasangan filter

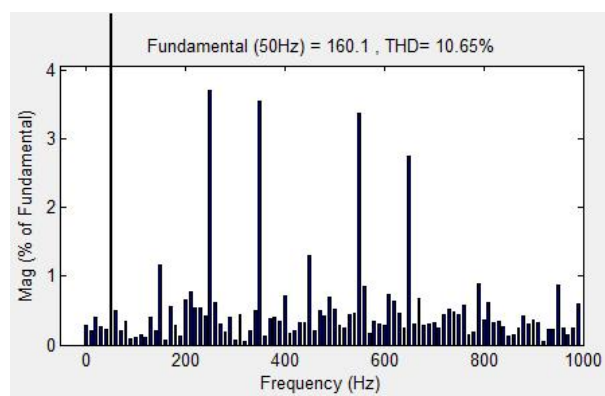
Pemasangan filter aktif paralel bertujuan untuk mengkompensasi nilai harmonisa arus pada sistem. Gambar 14 menunjukkan bentuk gelombang arus sistem setelah dipasang filter. Terlihat dari gelombang yang sebelumnya terdistorsi seperti Gambar 10 mampu diperbaiki menjadi mendekati sinusoidal. Spektrum frekuensi arus sistem setelah dipasang filter terlihat pada Gambar 15.



Gambar 13. Spektrum frekuensi tegangan sumber sistem setelah pemasangan filter



Gambar 14. Gelombang arus sistem setelah pemasangan filter



Gambar 15. Spektrum frekuensi arus sistem setelah pemasangan filter

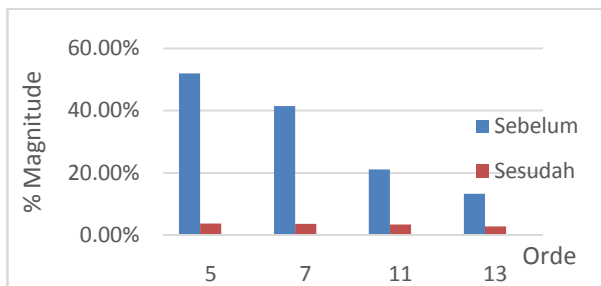
3.3 Perbandingan Nilai Harmonisa Sebelum dan Setelah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Hasil simulasi menunjukkan bahwa filter aktif paralel mampu mengkompensasi nilai harmonisa arus dan tegangan, Detail kompensasi harmonisa untuk tiap orde baik arus maupun tegangan dipaparkan dalam sebagai berikut. Tabel 3 menunjukkan penurunan harmonisa arus per orde. Sebagaimana yang disebutkan dalam standar IEEE Std 519-1992 bahwa untuk sistem distribusi bus MCC 380V Marine 2 Substation ini nilai harmonisa arus untuk orde 10 nilainya harus <4% dan <2% untuk orde 11 n 17.

Tabel 3. Harmonisa arus sebelum dan setelah pemasangan filter

Orde Harmonisa	Harmonisa Arus		Persentase Penurunan
	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter	
5	51.93%	3.71%	92.86%
7	41.49%	3.56%	91.42%
11	21.13%	3.38%	84.00%
13	13.31%	2.75%	79.34%

Selanjutnya data hasil simulasi harmonisa arus sebelum dan setelah pemasangan filter yang terdapat pada Tabel 3 disajikan dalam bentuk grafik batang pada Gambar 16. Tabel 3 dan Gambar 16 menunjukkan perbandingan nilai hasil pemasangan filter aktif. Terlihat pada orde 5 dan 7 nilai harmonisa sudah dibawah standar IEEE. Sedangkan untuk orde ke-11 dan 13 masih di atas standar sehingga perlu optimasi filter aktif yang lebih baik. Namun demikian dari hasil simulasi setelah pemasangan filter nilai harmonisa arus tiap orde dapat turun hingga rata – rata 86.9% untuk seluruh orde. Hal ini menunjukkan unjuk kerja filter aktif yang sudah cukup baik.



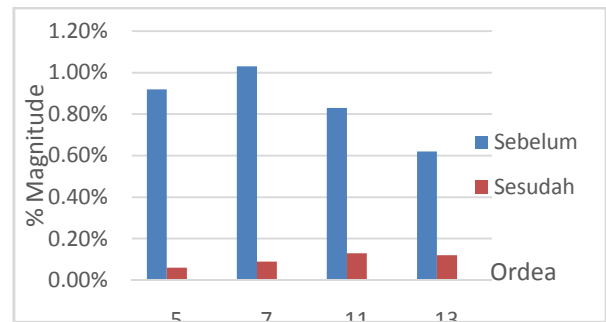
Gambar 16. Grafik perbandingan nilai harmonisa arus sebelum dan sesudah pemasangan filter

Tabel 4 menunjukkan penurunan nilai THD tegangan setelah pemasangan filter aktif paralel. Berdasarkan standar IEEE 519-1992 untuk harmonisa tegangan untuk bus dengan tegangan di bawah 69 kV batas maksimum harmonisa tiap orde adalah 3%.

Selanjutnya data hasil simulasi harmonisa tegangan sebelum dan setelah pemasangan filter yang terdapat pada Tabel 4 disajikan dalam bentuk grafik batang seperti ditunjukkan Gambar 17.

Tabel 4. Harmonisa tegangan sebelum dan setelah pemasangan filter

Orde Harmonisa	Harmonisa Tegangan		Persentase Penurunan
	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter	
5	0.92%	0.06%	93.48%
7	1.03%	0.09%	91.26%
11	0.83%	0.13%	84.34%
13	0.62%	0.12%	80.65%



Gambar 17. Grafik perbandingan nilai harmonisa tegangan sebelum dan sesudah pemasangan filter

Apabila dilihat dari Tabel 4 dan Gambar 17 nilai harmonisa tegangan sebelum pemasangan filter sudah di bawah standar yakni rata – rata 0.85%. Setelah pemasangan filter nilai harmonisa yang ada dapat ditekan menjadi lebih kecil lagi hingga berkisar di rata – rata 0.10% tiap ordenya. Penurunan nilai harmonisa hingga rata - rata 87.43% ini menunjukkan unjuk kerja yang cukup baik dari filter aktif paralel terhadap harmonisa tegangan. Untuk perbandingan nilai THD baik arus maupun tegangan sistem sebelum dan sesudah pemasangan filter terlihat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Harmonisa tegangan sebelum dan setelah pemasangan filter

Besaran	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter	Persentase Perubahan
THD arus	71.01%	10.65%	85.00%
THD tegangan	1.72%	2.13%	-23.84%

Dari Tabel 5 terlihat penurunan yang baik dari THDi setelah sistem dipasang filter aktif paralel. Nilai THDi dapat berkurang hingga sebesar 85.00% menunjukkan unjuk kerja filter aktif paralel yang optimal dalam mengkompensasi harmonisa arus. Namun demikian nilai THDi setelah pemasangan filter sebesar 10.65% masih diatas standar IEEE 519-1992 untuk THD arus yakni maksimal 5%. Sedangkan untuk nilai THDv nilainya baik sebelum maupun sesudah pemasangan filter sudah dibawah standar IEEE 519-1992 yakni sebesar maksimal 5%.

4. Kesimpulan

Pemasangan filter aktif paralel dapat memberikan kinerja yang baik dalam menurunkan baik harmonisa arus maupun tegangan. Harmonisa arus dapat diredam dari nilai awal THD_i sebesar 71.01% menjadi 13.5%. Harmonisa tegangan tiap ordenya dengan penurunan rata – rata sebesar 85.7%. Selain itu penggunaan filter aktif paralel dapat memperbaiki nilai faktor daya dari 0.76 menjadi 0.99. Sangat diharapkan dengan adanya studi awal ini dapat dilakukan penelitian lanjut berupa simulasi

filter aktif paralel dengan metode kontrol lain maupun pengembangan metode ini agar diperoleh hasil yang lebih optimal.

Referensi

- [1]. Saadat, Hadi. Power System Analysis. McGraw-Hill. 1999.
- [2]. Baggini, Angelo. Handbook of Power Quality. John Wiley & Sons. 2008.
- [3]. Akagi, H., Nabae, A., Atoh, S. Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters. *IEEE Transactions on Industry Applications*. 1986; IA-22(3).
- [4]. Ellis, R. G. Power System Harmonics. Allan-Bradley. 2001.
- [5]. Glover, J.D., Sarma, M.S., Overbye, T.J. Power System Analysis and Design. USA: Cengage Learning. 2008.
- [6]. Grainger, J.J., Stevenson, W. D. Power System Analysis. McGraw-Hill: 1994.
- [7]. El-Hawary, M.E., "Basics of Electric Energy System Theory", Series Ed. Leo Grigsby, Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [8]. Arillaga, Jos, Watson, N.R. Power System Harmonics. John Wiley & Sons. 2003.
- [9]. Grady, Mack. Understanding Power System Harmonics. Dept. of Electrical & Computer Engineering University of Texas at Austin. 2012.
- [10]. Power System Harmonics Causes and Effects of Variable Frequency Drives. Square D Product Data Bulletin. Raleigh. 1994.
- [11]. IEEE Standards Association. *IEEE Recommended Practices and requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. New York: IEEE Press; 1993.
- [12]. Rashid, M.H. Power Electronics Handbook. Academic Press. 2001.
- [13]. Prusty, S.R. FPGA Based Active Power Filter for Harmonics Mitigation. PhD Thesis. Rourkela: National Institute of Technology Rourkela; 2011.
- [14]. Kantaria, Rakesh. Unified Power Conditioner Using FACT Devices. PhD Thesis. Baroda: University of Baroda; 2012.
- [15]. Mercy E., Latha. Certain Investigations on Power Quality Using Shunt Active Filter Configuration and FLC Based Current Estimation Techniques. PhD Thesis. Chennai: Anna University Chennai; 2010.
- [16]. Jayakrishna, G. Power Quality Improvement in Distribution Systems Using Fuzzy Logic Based Shunt Hybrid Active Power Filter. PhD Thesis. Anantapur: Jawaharlal Nehru Technological University; 2012.
- [17]. Croitoru, D. Al., Ionescu, Fl. A Comparison Between The Command Strategies of The Parallel Three Phased Active Power Filters. *U.P.B. Sci. Bull.* 2007; 69(2).