

SIMULASI FILTER AKTIF DENGAN AUTO TUNING PI CONTROLLER MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROLLER UNTUK MENGATASI HARMONISA PADA PT. KALTIM PRIMA COAL

Rizky Pranata Budiono^{*)}, Hermawan. Bambang Winardi

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

^{*)} E-mail : rizkyprnt@gmail.com

Abstrak

Kualitas daya menjadi tema penelitian yang utama pada sistem distribusi daya karena peningkatan harmonisa yang cukup signifikan karena meningkatnya penggunaan peralatan elektronika daya. PT. Kaltim Prima Coal (KPC) adalah salah satu perusahaan penghasil batu bara terbesar di Indonesia yang banyak menggunakan motor yang dikendalikan oleh Variable Speed Drive (VSD). VSD pada dunia kelistrikan dikenal sebagai salah satu sumber terbesar harmonisa. Akibatnya jaringan listrik pada PT Kaltim Prima Coal memiliki harmonisa yang cukup besar. Tugas akhir ini melakukan pembuatan filter aktif dengan menggunakan metode kontrol gabungan yaitu PI controller yang ditala menggunakan fuzzy (auto tuning PI). Dengan begitu, PI controller akan lebih fleksibel dan mampu mengatasi harmonisa untuk kondisi beban yang berubah-ubah. Selain itu, digunakan Hysterisis Current Control (HCC) untuk menghasilkan sinyal kontrol inverter. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan filter aktif paralel dengan auto tuning PI controller menggunakan FLC dapat memberikan kerja yang lebih baik dalam menurunkan THD dan IHD sistem. Hasil simulasi THD arus tanpa filter adalah sebesar 71,01% dan IHD arus diatas batas IEEE Std 519-1992 sedangkan THD dan IHD tegangan sudah dibawah standar IEEE. Setelah pemasangan filter aktif yang diusulkan, THD arus turun menjadi 4,81% dan IHD arus maupun tegangan disetiap orde sudah turun dibawah standar IEEE. Selain itu juga terjadi perbaikan nilai faktor daya sistem dari 0,81 menjadi 0,99.

Kata kunci: Harmonisa, Filter Daya Aktif Paralel, Auto tuning PI controller, FLC.

Abstrak

Power quality becomes a main research topic in the distribution power system due to the increasing of harmonics are quite significant. PT. Kaltim Prima Coal (KPC) is one of the largest coal producer in Indonesia which use many motor controlled by a Variable Speed Drive (VSD). VSD is known as one of the largest sources of harmonics. As a result, the electricity network in PT Kaltim Prima Coal has a fairly large harmonics. This research is designing an active filter by using a combination of control methods (PI controller tuned using fuzzy (auto tuning PI)). So, PI controller will be more flexible and able to mitigate harmonics for load change. In addition, the use hysteresis Current Control (HCC) to generate a control signal to inverter. The simulation results showed that the proposed active filter can provide better result in mitigate THD and IHD system. THDi without active filter is 71,01% and IHDi is above limit standard of IEEE while THDv and IHDv is below the IEEE standard. After the installation of the proposed active filter, current THD fell to 4,81% and the value of IHDi and IHDv for each order has diminish below the IEEE standard. There was also an improvement value of a system power factor from 0,81 to 0,99.

Keyword: Harmonic, Shunt active filter, Auto tuning PI controller, FLC.

1. Pendahuluan

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 Kaltim Prima Coal banyak menggunakan motor yang dikendalikan oleh *Variable*

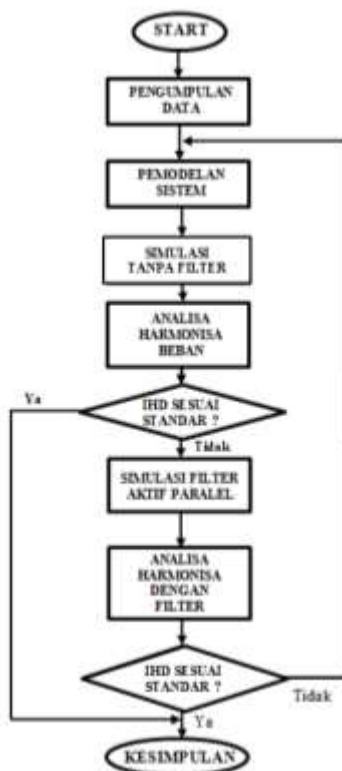
Speed Drive (VSD). VSD pada dunia kelistrikan dikenal sebagai salah satu sumber terbesar harmonisa yang menyebabkan arus fundamental pada jaringan tidak lagi berbentuk sinusoidal. Jika harmonisa terjadi pada suatu sistem melebihi batas yang diijinkan akan menyebabkan beberapa masalah, diantaranya timbul arus pada kawat netral, adanya rugi-rugi pemanasan pada trafo dan peralatan lain, penuaan umur beban-beban linear,

kesalahan pada sistem proteksi, penyimpangan penunjukkan alat ukur, dan menimbulkan rugi-rugi pada generator maupun transmisi tenaga listrik.

Di tahun 2014, Dhani Wahyu U P membuat simulasi filter aktif untuk mengurangi timbulnya harmonisa pada PT. Kaltim Prima Coal. Filter aktif pada penelitian tersebut dipasang paralel dengan beban dan menggunakan PI controller untuk menjaga kestabilan tegangan DC dari kapasitor filter aktif. Besar nilai K_p dan K_i dari Pi controller ditentukan dengan metode *trial and error*. Hasil yang diperoleh pada penelitian tersebut masih diatas batas nilai standar harmonisa yang seharusnya. Oleh karena itu, diperlukan metode kontrol yang baru untuk mendesain filter aktif pada sistem kelistrikan tersebut hingga didapatkan nilai harmonisa dibawah batas standar.

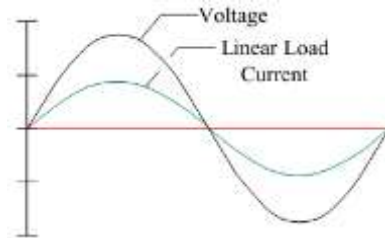
Pada penelitian ini, akan dilakukan pembuatan filter aktif dengan metode kontrol yang berbeda dari referensi.[4] Pembuatan filter aktif dilakukan dengan menggunakan metode kontrol hybrid yaitu PI controller yang ditala menggunakan fuzzy (PI self tuning). Diharapkan harmonisa dominan yang terjadi dapat ditekan sedemikian rupa sehingga berada pada nilai di bawah standar yang telah ditentukan. Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

2. Metode



Gambar 1. Bagan alir penelitian
2.1 Pengertian Harmonisa

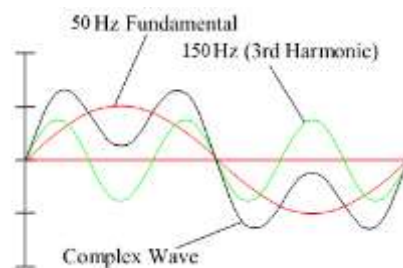
Umumnya sistem tenaga listrik didesain pada frekuensi kerja 50 atau 60 Hz dengan bentuk gelombang tegangan maupun arus yang dihasilkan merupakan gelombang sinusoidal murni. Namun kenyataannya sifat tersebut hanya muncul pada arus yang dibangkitkan di beban linear sebagaimana terlihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 2. Gelombang tegangan dan arus pada beban linier

Pada beban yang bersifat nonlinear bentuk gelombang tersebut tidak murni sinusoidal melainkan dapat terdistorsi atau menjadi cacat. Hal ini timbul akibat sifat beban nonlinear yang membangkitkan arus dengan frekuensi lebih tinggi dari frekuensi dasar 50 Hz.

Harmonisa didefinisikan sebagai komponen sinusoidal dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat (integer) dari frekuensi dasarnya. Orde harmonisa menyatakan nilai kelipatan frekuensinya, harmonisa pertama adalah gelombang dengan frekuensi dasar 50 Hz, harmonisa kedua adalah komponen sinusoidal dengan kelipatan 2 kali frekuensi dasar yakni 100 Hz, begitu seterusnya. Ilustrasi harmonisa dan pengaruhnya terhadap distorsi gelombang tegangan atau arus dapat dilihat pada Gambar 3



Gambar 3. Gelombang harmonisa

Gambar 3 menunjukkan pengaruh dari harmonisa orde ketiga (warna hijau) terhadap gelombang dasar (merah). Ketika gelombang harmonisa dijumlahkan terhadap gelombang dasar maka akan dihasilkan gelombang kompleks dengan bentuk gelombang warna hitam. Pada beban nonlinear harmonisa yang muncul sangat beragam hingga orde tak berhingga sehingga ketika dijumlahkan dengan gelombang dasar bentuk gelombang kompleks yang muncul pada sistem tenaga listrik akan mengalami distorsi menjadi tak sinusoidal.

Untuk suatu sistem tenaga listrik, terdapat suatu batas/limit untuk nilai IHD dan THD yang diijinkan. Limit tersebut tidak sama untuk setiap negara, tergantung standar yang digunakan. Dalam hal ini diberikan contoh standar dari Institute of Electronics and Electrical Engineering yakni IEEE Std. 519-1992. Pada standar ini diberikan kriteria limit untuk dua jenis distorsi harmonisa, yakni harmonisa arus, dan harmonisa tegangan.

Tabel 1. IEEE Std 519-1992 Limit harmonisa tegangan.

Tegangan Bus di Titik PCC	Distorsi Tegangan Tiap Orde (%)	Total Distorsi Tegangan THD (%)
Dibawah 69 kV	3,0	5,0
69 kV sampai 161 kV	1,5	2,5
161 kV dan di atasnya	1,0	1,5

Tabel 2. IEEE Std 519-1992 Limit harmonisa arus (Sistem 120 V – 69 kV).

I_w / I_L	Presentase Orde Harmonisa					TDD
	<11	11<h<17	17<h<23	23<h<25	35<h	
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20 < 50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50 < 100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100 < 1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

2.2 Filter Daya Aktif Paralel

Filter aktif paralel merupakan salah satu jenis filter aktif bila ditinjau dari topologinya dimana filter ini disusun paralel dengan sumber tegangan. Prinsip kerja dari filter aktif paralel adalah dengan mengkompensasi harmonisa arus yang ada pada sumber tegangan dengan menginjeksikan arus kompensasi yang sama nilainya namun berbeda sudut 180° (berlawanan) dengan arus harmonisa. Dengan demikian harmonisa arus yang terkandung di dalam arus beban akan hilang sehingga arus sumber tetap sinusoidal dan sefase dengan tegangan sumber. Lebih dari itu dengan skema pengaturan yang tepat filter aktif memperbaiki faktor daya dari beban. Untuk Parameter pada sistem adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Parameter Sistem

Parameter	Nilai
-----------	-------

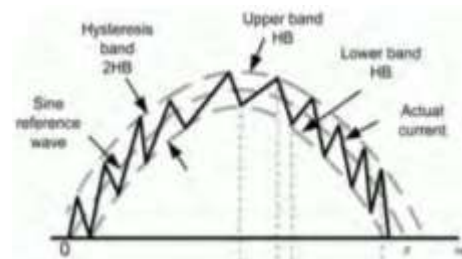
Tegangan sumber (Vrms)	380 V
Frekuensi kerja sistem (f)	50 Hz
Impedansi kabel saluran	$R = 1,98 \times 10^{-3} \Omega$; $L = 5,06 \times 10^{-3} H$
Impedansi Beban (R,L)	$R = 1,89 \Omega$; $L = 1 H$
Beban nonlinier, sumber arus	$H_5 = 84,88 A$; $H_7 = 67,84 A$; $H_{11} = 34,57 A$; $H_{13} = 21,79 A$
Tegangan Referensi DC Link (Vdcref)	1100 V
Kapasitansi DC Link (Cdc)	$2800 \times 10^{-6} F$
Impedansi Filter (Rc,Lc)	$R = 0,05 \Omega$; $L = 4 \times 10^{-3} H$
Waktu Simulasi	1,5
Waktu Sampel (Sampling Time)	5×10^{-6}

Sistem kerja dari filter aktif paralel adalah membangkitkan arus harmonisa yang sama nilainya namun berbeda sudut 180° (berlawanan) dengan arus harmonisa sistem melalui inverter. Oleh karena itu komponen utama yang terdapat di dalam filter aktif paralel adalah unit kontrol untuk pembangkitan sinyal pemacu inverter. Komponen utama di dalam unit kontrol ini dibagi dalam 2 bagian, deteksi arus referensi harmonisa dan pembangkitan sinyal kontrol.

2.3 Hysterisis Current Control (HCC)

Teknik *hysteresis current control* adalah sistem kontrol closed loop yang menggunakan sinyal *error* e(t) untuk membuat pola penyalaan pada saklar untuk mengontrol arus input sumber ac. Dimana e(t) adalah selisih antara arus referensi (Iref) dan arus input sumber ac (Iact).

Gambar 4 menunjukkan Ilustrasi hysteresis current control. Arus aktual akan dikontrol agar naik dan turun mengikuti sinyal referensi sehingga terbentuk hysteresis band. Jika lebar band ini semakin kecil maka ripple yang dihasilkan akan semakin bagus namun frekuensi switching sangat tinggi. Hysteresis band harus dikontrol agar ripple yang dihasilkan sesuai standart dan frekuensi switching tidak terlalu tinggi.

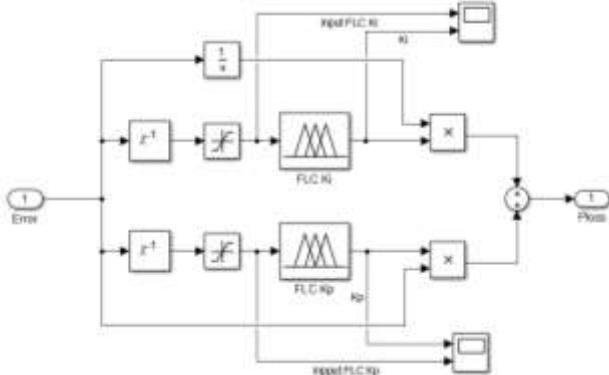


Gambar 4. Ilustrasi hysteresis current control

Pada sistem kontrol HCC, keluarannya adalah berupa pulsa yang akan membangkitkan inverter apakah harus ON atau OFF. Kalau arus yang terukur lebih besar dari arus referensi, maka *switch* akan diperintahkan untuk ON, demikian juga sebaliknya. Kalau arus yang terukur lebih kecil dari arus referensi maka *switch* akan diperintahkan untuk OFF.

2.4 Auto Tuning PI dengan FLC

Pada filter aktif ini digunakan PI controller yang secara otomatis akan dikontrol oleh FLC. Apabila ada perubahan sistem maka nilai Kp dan Ki akan berubah-ubah sesuai kebutuhan.



Gambar 5. Subsystem PI tuned FLC.

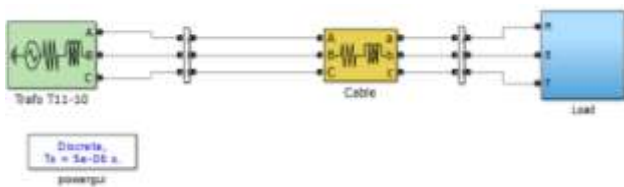
Pada sistem diatas digunakan saturation block sebagai pembatas nilai input FLC. Output dari FLC Ki yaitu nilai Ki dikalikan dengan integral dari nilai error dan output dari FLC Kp yaitu nilai Kp dikalikan dengan nilai error kemudian hasilnya saling dijumlahkan sebagaimana formula untuk menghitung $Ploss$.

3. Hasil Dan Analisa

Dibawah ini akan ditunjukkan hasil dari kondisi sebelum dan sesudah pemasangan filter aktif paralel dan dan perbandingan dengan penelitian sebelumnya.

3.1 Kondisi Sebelum Dipasang Filter Aktif

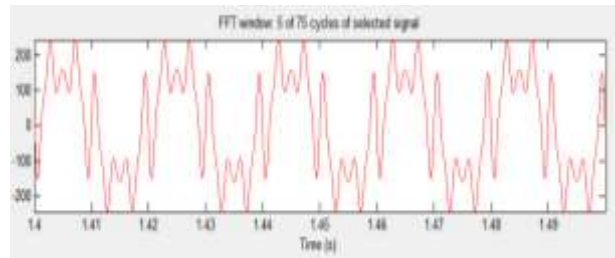
Pada bagian ini akan disimulasikan kondisi beban tanpa adanya filter aktif. Beban yang digunakan adalah sistem kelistrikan pada PT. Kaltim Prima Coal.



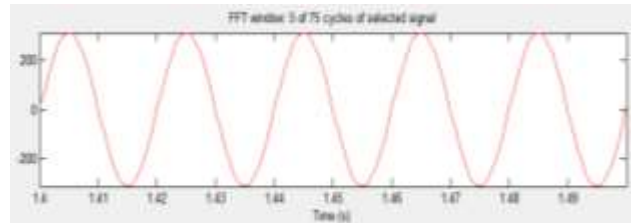
Gambar 6. Skema sistem sebelum optimasi

Pada simulasi ini dapat diketahui bentuk gelombang arus dan tegangan dari sistem serta spektrum frekuensinya. Setelah itu akan dilakukan analisa distorsi harmonisa arus dan tegangan.

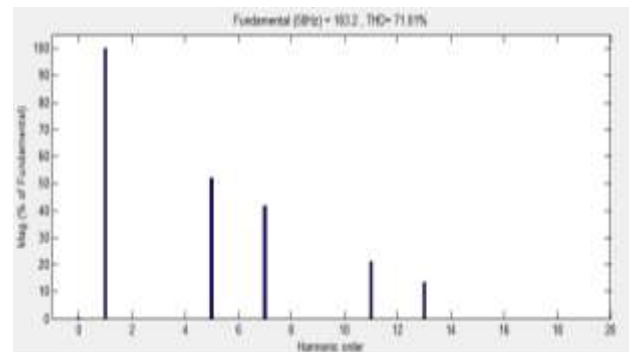
Dari hasil simulasi didapatkan gelombang arus tegangan dan spektrum frekuensi sebagai berikut :



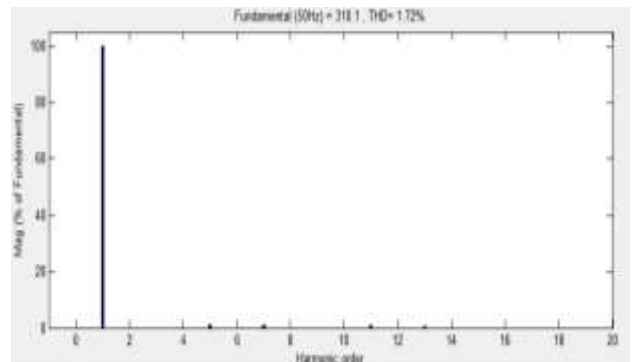
Gambar 7. Arus sumber sistem tanpa filter



Gambar 8. Tegangan sumber sistem tanpa filter



Gambar 9. Spektrum frekuensi Is tanpa filter



Gambar 10. Spektrum frekuensi Vs tanpa filter

Dari gambar diatas dapat diketahui THD_i sebesar 71,01 % dengan persentase tertinggi terhadap arus fundamental terjadi pada distorsi arus harmonik orde kelima yaitu sebesar 51,93 %. Untuk besarnya distorsi arus harmonik di orde lainnya, dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. IHD Arus Sumber Sistem Tanpa Filter

Orde Harmonisa	Persen terhadap arus fundamental	Amplitudo arus (A)
----------------	----------------------------------	--------------------

5	51,93 %	84,73
7	41,50 %	67,70
11	21,13 %	34,48
13	13,31 %	21,72

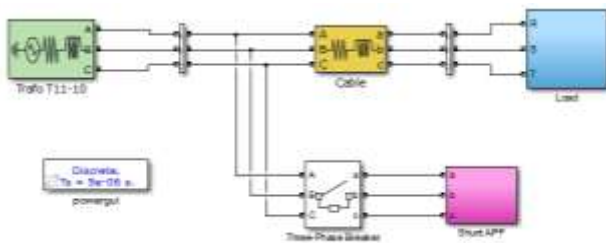
Tabel 5. IHD Tegangan Sumber Sistem Tanpa Filter

Orde Harmonisa	Persen terhadap tegangan fundamental	Amplitudo tegangan (V)
5	0,92 %	2,86
7	1,03 %	3,19
11	0,82 %	2,56
13	0,61 %	1,9

Berdasarkan data diatas maka dapat disimpulkan bahwa distorsi arus harmonisa pada beban melebihi batas maksimal standar dari IEEE yaitu untuk IHD orde kurang dari 11 tidak boleh melebihi 4% dan orde 11 hingga 17 tidak boleh melebihi 2%. Sedangkan nilai harmonisa tegangan memiliki nilai IHD dan THD yang sudah sesuai standar IEEE yaitu dibawah 3% untuk IHD dan 5% untuk THD sehingga tidak perlu dilakukan kompensasi.

3.2 Simulasi Sistem dengan Pemasangan Filter Aktif Paralel

Dalam simulasi ini, cara untuk mengurangi nilai harmonisa pada sistem dilakukan dengan menambahkan filter aktif paralel dengan menggunakan kontrol hysteresis untuk menghasilkan sinyal kontrol gate inverter filter dan menggunakan auto tuning PI controller menggunakan fuzzy logic controller. Rangkaian sistem dengan filter aktif paralel ditunjukkan pada Gambar 11. Filter dihubungkan secara paralel dengan sumber. Filter aktif paralel ini berfungsi menginjeksikan arus kompensasi harmonisa ke sistem.



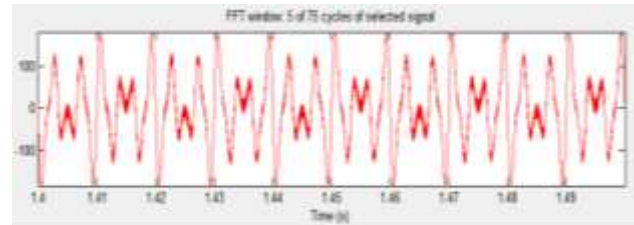
Gambar 11. Pemodelan sistem bus dengan filter aktif paralel

3.3 Arus Kompensasi Filter Aktif HCC dengan Auto Tuning PI Controller

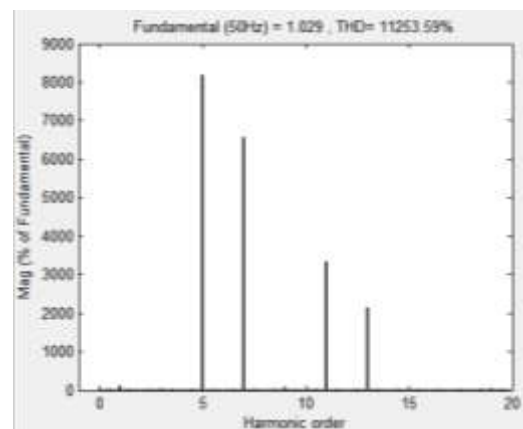
Arus kompensasi merupakan arus output dari inverter yang telah melalui komponen induktor. Arus ini yang

nantinya diinjeksikan ke sistem distribusi dengan terhubung paralel. Dari hasil simulasi akan dapat dilihat bentuk gelombang dan spektrum arus kompensasi tersebut.

Gambar 12 menunjukkan bentuk arus yang diinjeksikan filter ke dalam sistem. Waktu simulasi dipilih selama 1,5 s karena pada waktu ini sistem sudah dalam kondisi *steady state* dimana Vdc sudah mencapai nilai referensi 1100V.



Gambar 12. Gelombang arus kompensasi filter aktif paralel dengan metode yang diusulkan



Gambar 13. Spektrum frekuensi arus kompensasi filter aktif paralel dengan metode yang diusulkan

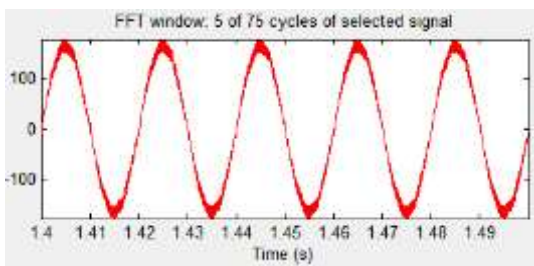
Gambar 13 memperlihatkan spektrum frekuensi arus kompensasi *filter* aktif paralel tanpa optimasi. Dapat dilihat dari gambar tersebut bahwa arus yang diinjeksikan memiliki orde frekuensi harmonisa sebagaimana harmonisa sistem distribusi yang akan dikompensasi. Terlihat orde harmonisa ke-5, 7, 11, 13 merupakan yang dominan dalam arus kompensasi *filter* aktif. Hal ini sesuai teori dari unjuk kerja filter *aktif* paralel yang mana menginjeksikan arus kompensasi yang besarnya sama dengan arus harmonisa sistem.

Apabila diamati lebih jauh bahwasanya bentuk gelombang maupun spektrum frekuensi dari arus kompensasi ini memunculkan harmonisa orde – orde lain. Hal ini disebabkan adanya distorsi pada arus kompensasi akibat *output inverter* yang mengandung harmonisa. Harmonisa itu sendiri diakibatkan oleh *switching*

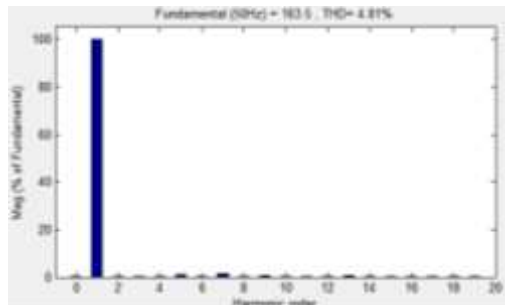
frekuensi tinggi yang terjadi pada inverter untuk memperoleh arus referensi harmonisa. Salah satu fungsi induktor yang dipasang setelah *inverter* adalah untuk mengurangi harmonisa arus ini.

3.4 Arus Sumber setelah Pemasangan Filter Aktif HCC AutoTuning PI

Pada subbab ini akan disimulasikan saat beban telah dihubungkan secara paralel dengan filter aktif. Kemudian hasil yang didapat akan dibandingkan dengan nilai standar IEEE sehingga dapat diketahui apakah filter aktif telah mampu mengatasi permasalahan harmonisa pada sistem yang dibahas.



Gambar 14. Gelombang arus sumber setelah pemasangan filter aktif HCC Auto Tuning PI Controller



Gambar 15. Spektrum frekuensi arus sumber setelah pemasangan filter aktif

Gambar 14 menunjukkan bentuk gelombang arus sumber sesudah pemasangan filter aktif paralel HCC dengan auto tuning PI controller. Setelah pemasangan filter aktif tersebut, gelombang arus sumber bentuknya menjadi mendekati sinusoidal murni. Dibandingkan dengan kondisi sebelum pemasangan filter maka dapat terlihat perbaikan bentuk gelombang yang cukup signifikan. Namun demikian, bentuk gelombang pada Gambar 14 masih belum sempurna sinusoidal. Hal ini dikarenakan karena *output inverter* masih terdapat harmonisa yang menyebabkan gelombang tidak mulus menjadi sinusoidal. Semakin baik unjuk kerja filter aktif paralel maka harmonisa ini makin dapat dihilangkan dan bentuk gelombang arus sumber semakin mendekati sinusoidal mulus.

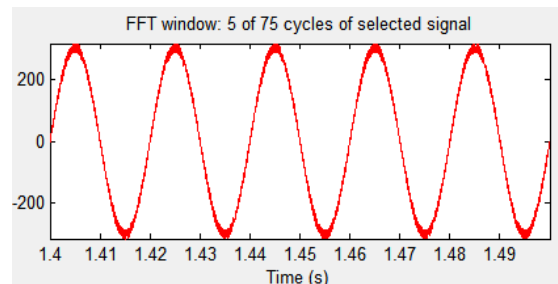
Gambar 15 menunjukkan spektrum frekuensi arus sumber setelah pemasangan filter. Apabila dilihat kembali spektrum arus sumber sebelum dipasang filter aktif maka akan didapatkan perbedaan yang cukup signifikan.

Dari hasil simulasi pada terlihat bahwa setelah pemasangan filter aktif yang diusulkan, nilai harmonisa arus pada sistem sudah mengalami penurunan yang cukup signifikan dan berada dibawah standar IEEE Std 519-1992. Pada harmonisa orde diatas 17, harmonisa memiliki nilai sangat kecil dibawah standar IEEE sehingga harmonisa pada orde tersebut tidak perhitungkan.

Dari hasil yang didapat, maka dapat disimpulkan bahwa filter aktif yang diusulkan telah mampu mengatasi permasalahan harmonisa yang ada pada sistem kelistrikan PT. Kaltim Prima Coal. Sebelum pemasangan filter aktif yang penulis usulkan, nilai distorsi arus terbesar yaitu pada pada orde ke 5 niainya adalah sebesar 51,3 % dan sekarang sudah turun menjadi 0,8 %.

3.5 Tegangan Sumber setelah Pemasangan Filter Aktif HCC AutoTuning PI

Kerja filter aktif paralel adalah mengkompensasi harmonisa pada arus saluran, oleh karena itu pengaruhnya secara langsung pada sistem adalah keadaan arus sebelum dan sesudah pemasangan filter. Namun demikian dapat diamati pula pengaruhnya pemasangan filter terhadap tegangan. Harmonisa tegangan yang muncul sebelum pemasangan filter setelah diamati pada simulasi dapat berkurang nilainya akibat pemasangan filter. Parameter yang diamati dari tegangan sumber berupa bentuk gelombang dan spektrum frekuensinya.



Gambar 16. Gelombang tegangan sumber setelah pemasangan filter aktif

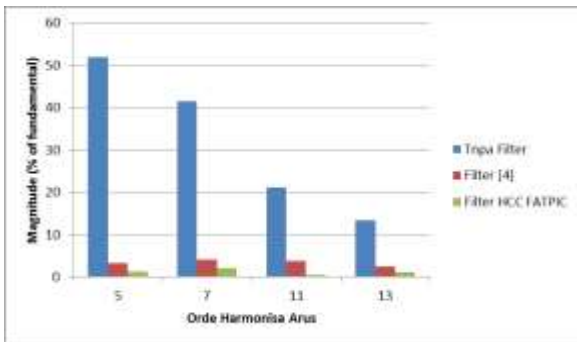


Gambar 17. Spektrum frekuensi tegangan sumber setelah pemasangan filter aktif

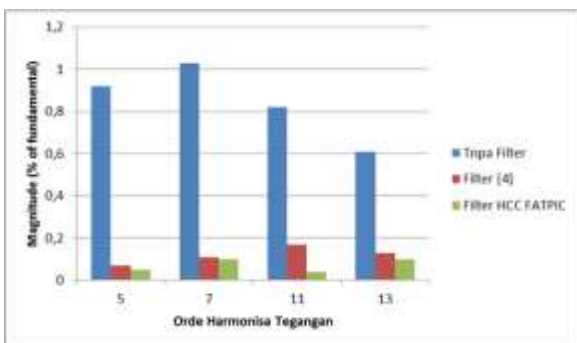
Gambar diatas adalah bentuk gelombang tegangan sumber sesudah pemasangan filter aktif paralel. Jika dibandingkan dengan spektrum frekuensi sebelum pemasangan filter terlihat bahwa nilai harmonisa per orde yang tinggi yakni orde ke-5, 7, 11, dan 13 dapat ditekan dari nilai 0,61 % hingga 1,03 % menjadi antara 0,07 % hingga 0,17 %. Sehingga dapat disimpulkan nilai IHD tegangan setelah pemasangan filter aktif yang diusulkan, nilainya menjadi semakin mengecil.

3.6 Perbandingan Kondisi Sistem Sebelum dan Setelah Pemasangan Filter

Pemasangan filter aktif paralel dalam simulasi ini terbukti mampu menurunkan nilai harmonisa arus bahkan juga menurunkan harmonisa tegangan. Untuk mempermudah analisa berikut dipaparkan nilai IHD sebelum dan sesudah pemasangan filter.



Gambar 18. Diagram perbandingan harmonisa arus

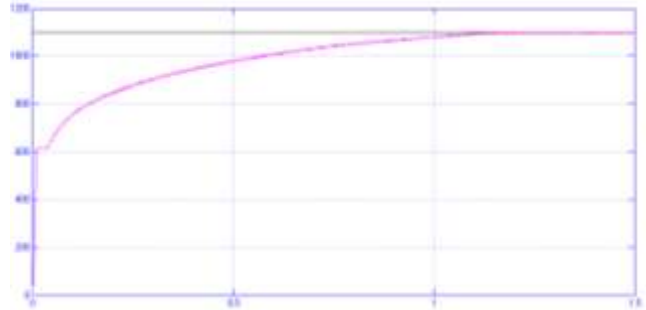


Gambar 19. Diagram perbandingan harmonisa tegangan

Pada gambar 19 terlihat bahwa hasil harmonisa arus dan tegangan dengan filter aktif yang diusulkan dapat menurunkan harmonisa arus dan tegangan. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, terlihat hasil pengurangan harmonisa orde pada penelitian ini jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya. Selain itu perbaikan nilai faktor daya juga terjadi. Saat tanpa adanya filter aktif, besar faktor daya sebesar 0,81 dan setelah dipasang filter aktif faktor daya meningkat menjadi 0,99.

3.8 Tegangan Kapasitor DC (Vdc) dengan Auto Tuning PI dengan FLC

Pada bagian ini akan membahas keluaran dari Tegangan Kapasitor DC (Vdc) setelah dipasang filter aktif paralel apakah sudah sesuai dengan tegangan referensinya. Hasil proses penstabilan tegangan dengan metode kontrol yang penulis usulkan dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 20. Hasil tegangan kapasitor DC dengan metode yang diusulkan

Pada gambar 20 terlihat bentuk gelombang tegangan kapasitor dc dengan keadaan awal sebesar 0 menuju ke nilai referensi sebesar 1100 V. Kapasitor mencapai nilai tegangan set nya pada waktu 1,1 s. Dengan demikian, metode kontrol yang penulis usulkan terbukti mampu mengatur tegangan kapasitor hingga mencapai nilai set/referensinya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada analisis yang dilakukan, dapat diketahui bahwa pemasangan filter aktif paralel dapat memberikan kerja yang cukup baik dalam menurunkan harmonisa arus dan tegangan lebih baik daripada penelitian sebelumnya. Nilai awal THDi sebesar 71,01% dapat ditekan hingga mencapai 4,81% dan nilai IHD turun dibawah standar IEEE dengan presentase penurunan sebesar 91,43% hingga 97,53%. Nilai THDv dan IHDv sebelum pemasangan filter aktif paralel nilainya sudah dibawah standar IEEE 519-1992 tetapi dengan pemasangan filter aktif ini nilai harmonisa tegangan menjadi semakin berkurang yaitu dengan penurunan sebesar 83,6% hingga 94,56%. Unjuk kerja filter aktif paralel tidak hanya pada penurunan nilai harmonisa tetapi juga pada perbaikan nilai faktor daya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai faktor daya sistem sebelum pemasangan filter sebesar 0,81 dapat diperbaiki dengan pemasangan filter menjadi 0,99. Penelitian berupa simulasi pemasangan filter aktif paralel dengan kontrol auto tuning PI menggunakan Fuzzy ini diharapkan dapat dikembangkan lebih baik lagi menggunakan sistem kontrol modern lainnya seperti ANFIS dan JST. Serta diharapkan pula adanya riset yang lebih aplikatif berupa implementasi simulasi ini ke dalam hardware sehingga dapat diamati hasil pemasangan filter aktif paralel ini ke dalam sistem tenaga listrik yang sesungguhnya.

active power filter”, Department of Electrical Engineering Jawaharlal Nehru Technology University, India: 2013.

Referensi

- [1]. Baggini, Angelo, “*Handbook of Power Quality*”, John Willey & Sons: 2008.
- [2]. Wahyunggoro, O., Saad, Nordin, “*Development of Fuzzy-logic-based Self Tuning PI Controller for servomotor*”, Department of Electrical and Electronics Engineering Universiti Teknologi, Malaysia: 2010.
- [3]. Gligor, A., “Design and Simulation of a Shunt Active Filter in Application for Control of Harmonic Levels”, Electrical and Mechanical Engineering Acta Universitatis Sapientiae, 2009.
- [4]. Putra, D.W.U., “Simulasi Penggunaan Filter Aktif *Shunt* untuk Meredam Harmonisa Studi Kasus Sistem Kelistrikan PT Kaltim Prima Coal”, Teknik Elektro UNDIP, 2014.
- [5]. Utomo, A.I., “Optimisasi Filter Daya Aktif Paralel Menggunakan Particle Swarm Optimization”, Teknik Elektro UNDIP, 2014.
- [6]. Sujono, “Diktat Mata Kuliah Fuzzy Logic”, Program studi teknik elektro fakultas teknik universitas budi luhur, 2011.
- [7]. Prisandi, D., Suryoatmojo, H., Ashari, M., “Sistem Perbaikan Faktor Daya Pada Penyearah Diode Tiga Fasa Menggunakan Hysteresis Current Control”, Jurnal Teknik Pomits Vol. 1 No. 1, 2012.
- [8]. El-Hawary, M.E., “*Basics of Electric Energy System Theory*”, Series Ed. Leo Grigsby, Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [9]. Arillaga, Jos, Watson, N.R., “*Power System Harmonics*”, John Willey & Sons: 2003.
- [10]. Grady, Mack, “*Understanding Power System Harmonics*”, Dept. of Electrical & Computer Engineering University of Texas at Austin: 2012.
- [11]. Afonso J, Aredes M, Watanabe E. “Shunt Active Filter for Power Quality Improvement”, Industrial Electronic Dept. Minho University, 2000.
- [12]. Rashid, M.H., “*Power Electronics Handbook*”, Academic Press: 2001.
- [13]. Prusty, S.R., “*FPGA Based Active Power Filter for Harmonics Mitigation*”, Thesis in Department of Electrical Engineering National Institute of Technology Rourkela, India: 2011.
- [14]. Ellis, R. G., “*Power System Harmonics*”, Allan-Bradley: 2001.
- [15]. Croitoru, D. Al., Ionescu, Fl., “A Comparison Between The Command Strategies of The Parallel Three Phased Active Power Filters”, U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 69, No.2, 2007.
- [16]. Ogata, K. “Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan) Jilid 1”, Erlangga, 1994.
- [17]. Akagi, H., Watanabe, E. D., Aredes, M., “Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning.”, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2007.
- [18]. Santosa, B., Willy, P. “Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi”, Guna Widya, April 2011.
- [19]. Kantaria, Rakesh, “*Unified Power Conditioner Using FACT Devices*”, Thesis in Department of Electrical Engineering M.S. University of Baroda, India: 2012.
- [20]. Jayakrishna, G., “*Power Quality improvement in distribution systems using fuzzy logic based shunt hybrid*