

OPTIMISASI FILTER DAYA AKTIF PARALEL MENGGUNAKAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Aswin Iffatyanto Utomo^{*}), Agung Warsito, and Susatyo Handoko

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

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

Abstrak

Dewasa ini perkembangan perangkat elektronika daya sudah semakin berkembang. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya harmonisa karena perangkat elektronika daya yang bersifat nonlinear membangkitkan arus dengan frekuensi lebih tinggi dari frekuensi dasar. Harmonisa yang timbul dapat mengakibatkan berbagai dampak negatif seperti overheating dan berkurangnya efisiensi sistem. Salah satu metode untuk mengatasi harmonisa adalah dengan pemasangan filter aktif. Penelitian ini melakukan simulasi pemasangan filter aktif paralel untuk mengurangi harmonisa pada beban nonlinier dengan menggunakan software Matlab/Simulink R2010b. Filter aktif paralel disimulasikan menggunakan rangkaian pembangkit arus, berupa VSI 3 fasa dengan kontrol PWM sebagai pembangkit sinyal IGBT, yang dirangkai paralel dengan beban serta penggunaan Kontrol PI untuk mempercepat respon sistem. Pemilihan kontrol PI disini menggunakan Metode Particle Swarm Optimization agar pemilihan Kp dan Ki lebih cepat dan akurat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan filter aktif paralel dengan metode PSO dapat memberikan kerja yang baik dalam menurunkan THDi sistem. Hasil simulasi THD arus pengukuran sistem sebelum pemasangan filter adalah sebesar 24,96%. Untuk pemilihan nilai random nilai THDi sebesar 4.2% sedangkan dengan metode optimasi PSO sebesar 3.68%.

Kata kunci: Harmonisa, Filter Daya Aktif Paralel, Optimasi, PSO

Abstract

Nowadays, the development of power electronics devices is growing. This resulted the occurrence of harmonics due to the non-linear power electronics generate currents with a frequency higher than the fundamental frequency. Harmonics that arise can lead to various negative effects such as overheating and reduced system efficiency. One method to deal with the installation of harmonics is an active filter. This study to simulate the installation of a parallel active filter to reduce harmonics in nonlinear loads using Matlab / Simulink R2010b. Parallel active filter circuit was simulated using the current generation, using three-phase VSI with PWM as control signal generator for IGBT, which is assembled in parallel with the load as well as the use of PI control to speed up the system response. Selection of PI control here using Particle Swarm Optimization method that the determination of Kp and Ki faster and more accurate than using trial and error method. Simulation results show that the installation of a parallel active filter with PSO method can provide a good work in reducing current harmonics systems. Simulation results measurement system of THDi before using the filter is 24.96%. For the selection of random number, the value of THDi is 4.2% and for PSO optimization method the value of THDi is 3.68%.

key word : Harmonics, Shunt Active Power Filter, Optimization, PSO

1. Pendahuluan

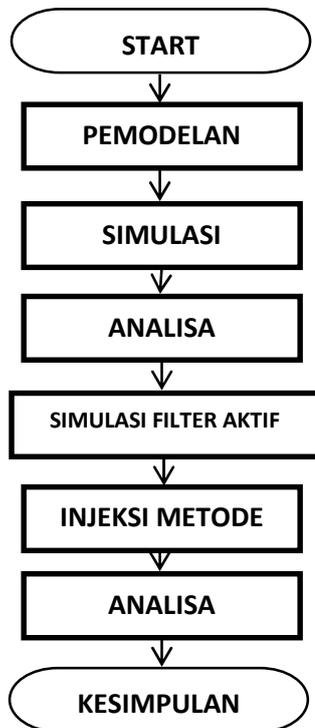
Dewasa ini penggunaan komponen elektronika daya menjadi salah satu kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari. Dalam penggunaannya, komponen elektronika daya menyebabkan timbulnya permasalahan kualitas daya listrik. Penemuan komponen elektronika daya sebenarnya merupakan salah satu keuntungan besar bagi dunia kelistrikan karena dapat menghasilkan bentuk dan nilai

tegangan sesuai keinginan pengguna. Komponen tersebut seperti dioda, thyristor, transistor sebagai perangkat konversi AC-DC, DC-AC, DC-DC, maupun AC-AC contohnya digunakan pada peralatan beban tegangan rendah seperti komputer, PSU (Power Supply), Televisi, Mesin Fax dan Printer, mesin las, dan sebagainya. Namun penggunaan komponen elektronika daya tsb mengakibatkan permasalahan yang serius antara lain timbulnya distorsi gelombang tegangan dan arus listrik.

Sistem tenaga listrik pada dasarnya didesain menggunakan frekuensi 50 atau 60 Hz, namun akibat penggunaan beban nonlinear yang menggunakan komponen elektronika daya akan menyebabkan munculnya arus dan tegangan dengan frekuensi kelipatan dari bilangan bulat 50 atau 60 Hz tersebut. Gelombang dengan frekuensi tinggi ini menyebabkan distorsi pada gelombang dasar sehingga bentuk gelombang tsb tidak murni sinusoidal. Fenomena seperti ini disebut dengan Harmonisa.

Pengaruh yang disebabkan adanya harmonisa sangat besar, oleh karena itu diperlukan suatu usaha untuk menekan harmonisa yang timbul. Salah satu usaha yang marak dilakukan beberapa tahun terakhir adalah penggunaan filter baik pasif maupun aktif untuk mengkompensasi harmonisa. Penggunaan filter aktif memiliki beberapa keuntungan dibanding filter pasif yang sudah banyak diaplikasikan di dunia industri diantaranya sifatnya yang lebih dinamis dimana mampu merespon perubahan beban dan kondisi harmonisa serta peningkatan kualitas daya listrik seperti perbaikan faktor daya. Dengan penggunaan filter aktif ini diharapkan harmonisa dominan yang terjadi dapat ditekan sedemikian rupa sehingga berada pada nilai di bawah standar yang telah ditentukan. Tujuan yang hendak dicapai adalah meminimalisir harmonisa arus dan tegangan yang terjadi pada sistem kelistrikan sehingga mengurangi kerugian melalui simulasi dengan menggunakan software Matlab R2010b.

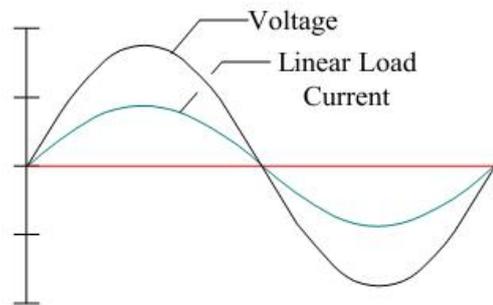
2. Metode



Gambar 1 Bagan alir penelitian

2.1 Pengertian Harmonisa

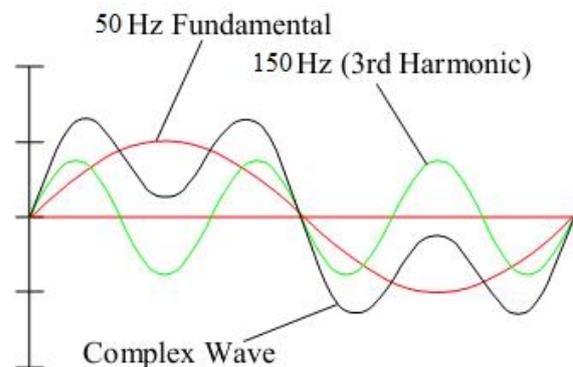
Umumnya sistem tenaga listrik didesain pada frekuensi kerja 50 atau 60 Hz dengan bentuk gelombang tegangan maupun arus yang dihasilkan merupakan gelombang sinusoidal murni. Namun kenyataannya sifat tersebut hanya muncul pada arus yang dibangkitkan di beban linear sebagaimana terlihat pada Gambar 1 berikut.



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^[8].

Harmonisa didefinisikan sebagai komponen sinusoidal dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat (integer) dari frekuensi dasarnya^[9]. 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 2.4



Gambar 3 Gelombang harmonisa

Gambar 2 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 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 arus (Sistem 120 V – 69 kV).

Persentase Maksimum Distorsi Harmonisa Arus						
I_L/I_1	Orde Harmonisa (Harmonisa Ganjil)					
	<11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 29	3 ≤ h ≤ 39	THD
<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

Untuk limit harmonisa genap adalah sebesar 25% dari limit harmonisa ganjil di atas.

Distorsi arus yang muncul pada rugi komponen DC, seperti pada converter setengah gelombang diabaikan.

*Untuk peralatan pembangkit daya digunakan juga limit di atas untuk distorsi arus, dengan tidak menghiraukan nilai I_L/I_1 .

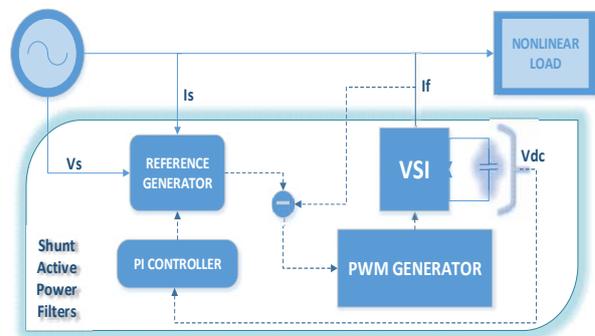
2.2 Filter Daya Aktif Paralel

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 180o (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 2 Parameter Sistem

Parameter	Nilai
Tegangan sumber (Vrms)	440 V
Frekuensi kerja sistem (f)	50 Hz
Impedansi Sumber (Rs,Ls)	R= 0.01 ; L = 0.1 x 10 ⁻³ H
Impedansi Filter (Rc,Lc)	R= 0.05 ; L = 4 x 10 ⁻³ H
Impedansi Beban (R,L)	R= 30 ; L = 60 x 10 ⁻³ H
Tegangan Referensi DC Link (Vdcref)	700 V
Kapasitansi DC Link (Cdc)	2800 x 10 ⁻⁶ F
Frekuensi Switching	10 x 10 ³ Hz
Waktu Simulasi	0.6
Waktu Sampel (Sampling Time)	10 ⁻⁵



Gambar 5 Skema sistem kerja filter aktif paralel

Sistem kerja dari filter aktif paralel adalah membangkitkan arus harmonisa yang sama nilainya namun berbeda sudut 180o (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 pemicu inverter. Komponen utama di dalam unit kontrol ini dibagi dalam 2 bagian, deteksi arus referensi harmonisa dan pembangkitan sinyal kontrol.

2.3 Particle Swarm Optimization

Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, proses algoritmanya terinspirasi oleh tingkah laku sosial pada kawanan burung yang terbang bersama-sama. Perilaku sosial ini terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Setiap individu atau partikel (particle) berperilaku secara terdistribusi dengan menggunakan kecerdasannya (intelligence) sendiri dan juga dipengaruhi kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat (optimal) menuju sumber makanan, maka sisa anggota kelompok yang lainnya juga akan mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka didalam kelompok

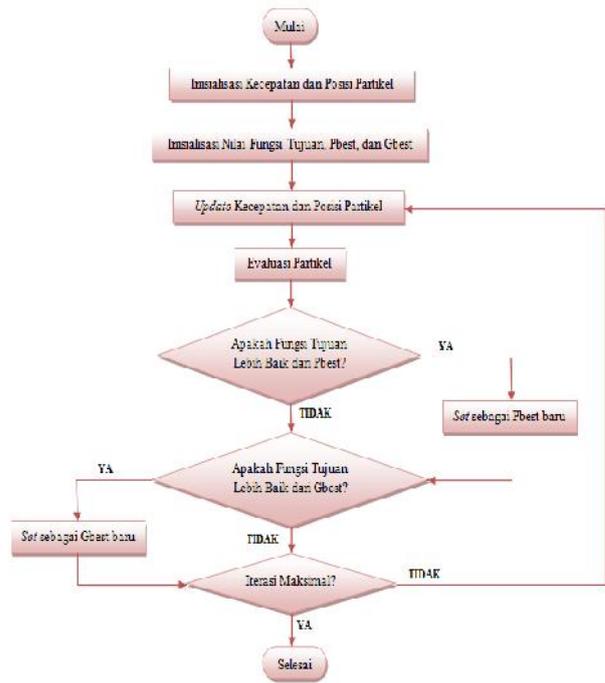
tersebut tidak saling berdekatan. Implementasi PSO dalam teknik komputasi, diawali dengan suatu populasi yang random. Setiap partikel di dalam PSO juga berhubungan dengan suatu velocity (kecepatan). Partikel-partikel tersebut bergerak melalui penelusuran ruang dengan velocity yang dinamis. Oleh karena itu, partikel-partikel ini mempunyai kecenderungan untuk bergerak ke area penelusuran yang lebih baik setelah melewati proses. Beberapa istilah umum yang digunakan dalam PSO dapat didefinisikan sebagai berikut :

1. Swarm : populasi dari suatu algoritma
2. Particle : anggota (individu) pada suatu swarm. Setiap particle mempresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu particle adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.
3. Pbest (Personal Best) : posisi Pbest suatu particle yang menunjukkan posisi particle yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
4. Gbest (Global Best) : posisi terbaik particle pada swarm atau posisi terbaik diantara Pbest yang ada.
5. Velocity (kecepatan) : kecepatan atau vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah dimana suatu particle diperlukan untuk berpindah (move) untuk memperbaiki posisinya semula.
6. Inertia Weight () : parameter yang digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya velocity yang diberikan oleh suatu particle.

Algoritma PSO meliputi langkah berikut :

1. Membangkitkan populasi awal sejumlah partikel sekaligus kecepatan awalnya secara random.
2. Mengevaluasi fitness dari masing-masing partikel berdasarkan posisinya.
3. Menentukan partikel dengan fitness terbaik, dan menetapkan sebagai Gbest. Untuk setiap partikel, Pbest awal akan sama dengan posisi awal.

Flowchart Prosedur PSO adalah sbb :



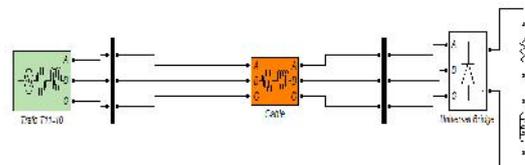
Gambar 6 Diagram alir algoritma PSO

3. Hasil Dan Pembahasan

Dibawah ini akan ditunjukkan hasil dari kondisi sebelum dan sesudah pemasangan filter aktif paralel dan sebelum dan sesudah dioptimasi.

3.1 Kondisi Sebelum Dipasang Filter Aktif

Kondisi awal adalah simulasi dimana belum dilakukannya optimasi, dengan kata lain sistem tidak terhubung dengan Filter Aktif. Pada kondisi ini, sistem akan mengalami Harmonisa arus yang cukup tinggi sebesar 24.96%

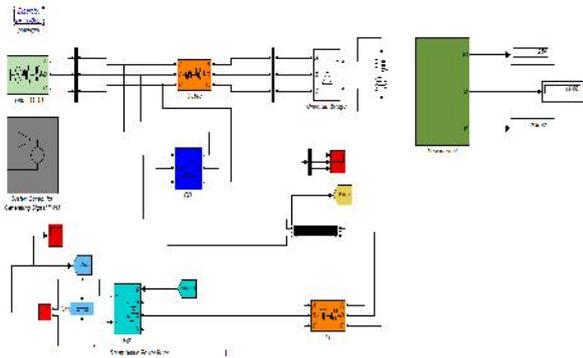


Gambar 7 Skema sistem sebelum optimasi

Dari model tersebut kemudian dapat diketahui bentuk gelombang arus dan tegangan dari sistem serta spektrum frekuensinya. Setelah itu akan dilakukan analisa distorsi harmonisa arus dan tegangan.

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. Rangkaian sistem dengan filter aktif paralel ditunjukkan pada Gambar 7 Filter dihubungkan secara paralel dengan sumber. Filter aktif paralel ini berfungsi menginjeksikan arus kompensasi harmonisa ke sistem untuk menekan nilai harmonisa sistem sekecil mungkin. Kemudian akan diamati unjuk kerja sistem setelah diinjeksikan arus kompensasi filter aktif paralel.



Gambar 8 Pemodelan sistem bus dengan filter aktif paralel

3.2.1 Simulasi sebelum Menggunakan Metode Optimasi

Pada tahap ini dilakukan simulasi Program tanpa menggunakan Metode Particle Swarm Optimization yang di integrasikan ke kontroler PI. Nilai Kp dan Ki yang digunakan diisi secara *random* agar terlihat perbedaan sebelum dan sesudah menggunakan Metode Optimasi dengan nilai Kp 11 dan nilai Ki 11.

3.2.2 Simulasi Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization

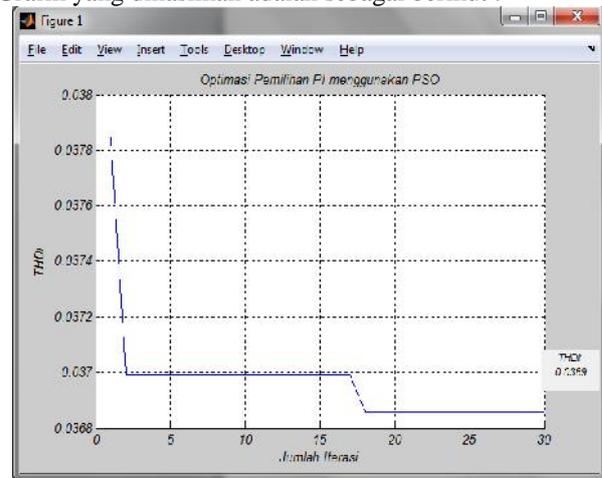
Pada tahap ini dilakukan simulasi menggunakan filter aktif paralel dengan diinjeksi metode optimasi agar hasilnya lebih baik.

Data yang dimasukkan adalah sebagai berikut :

Tabel 3 Parameter optimasi yang digunakan untuk pengujian sistem

Jenis Parameter	Parameter	Nilai
Parameter PSO	Jumlah Partikel	10
	Iterasi	30
	Batas Atas	1000
	Batas Bawah	0
	C1	2
	C2	2
	Rho_max	0.9
Rho_min	0.4	

Grafik yang dihasilkan adalah sebagai berikut :



Gambar 9 Grafik Hasil Simulasi PSO

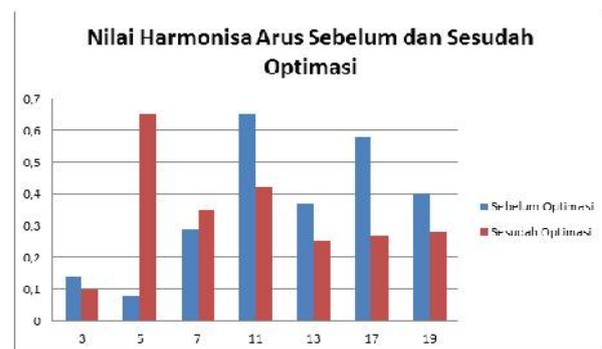
Dapat terlihat bahwa nilai awal dari THDi untuk iterasi ke 1 sekitar 3.78% dan pada iterasi ke 2 turun menjadi 3.70% dan iterasi 18 berkisar menjadi 3.69% sampai iterasi ke 30. Nilai THDi tersebut sudah mulai konstan dan tidak mengalami perubahan sampai berakhirnya metode PSO.

3.3 Perbandingan Kondisi Sistem Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Tujuan simulasi pemasangan filter aktif paralel ini adalah untuk memperbaiki kualitas dari beban non-linier dari Referensi^[1] dari sisi tingkat harmonisa dan juga faktor daya di sisi sumber. Maka akan disederhanakan hasil – hasil simulasi di atas pada tabel – tabel berikut ini agar terlihat perbaikan sistem yang diinginkan tersebut.

3.3.1 Perbandingan Nilai Harmonisa

Pemasangan filter aktif paralel dalam simulasi ini terbukti mampu menurunkan nilai harmonisa arus bahkan juga menurunkan harmonisa tegangan. Untuk mempermudah analisa berikut dipaparkan nilai THD sebelum dan sesudah pemasangan filter. Persentase penurunan ditampilkan untuk memperlihatkan efisiensi penggunaan filter dalam menurunkan harmonisa.



Gambar 10 Diagram perbandingan harmonisa arus sebelum dan sesudah optimasi

Tabel 4 Harmonisa Arus Sumber Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Orde Harmonisa	Harmonisa Arus				Persentase Penurunan	
	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter		Tanpa Optimasi	Dengan Optimasi	
		Tanpa Optimasi	Dengan Optimasi			
3	0.00%	0.14%	0.10%	-0.14%	-0.1%	
5	18.58%	0.08%	0.65%	18.5%	17.93%	
7	12.06%	0.29%	0.35%	11.77%	11.71%	
11	7.46%	0.65%	0.42%	6.81%	7.04%	
13	5.92%	0.37%	0.25%	5.55%	5.67%	
17	4.12%	0.58%	0.27%	3.54%	3.85%	
19	3.42%	0.4%	0.28%	3.02%	3.14%	

Dari Tabel 4 dan Gambar 9 di atas terlihat penurunan nilai harmonisa arus per orde setelah dipasang filter aktif paralel. Sebagaimana yang disebutkan dalam standar IEEE Std 519-1992 seperti pada Tabel 1 bahwa untuk beban non-linier dari Referensi^[1] ini nilai harmonisa arus untuk orde 10 nilainya harus <4% dan <2% untuk orde 11 n 17. Harmonisa orde 3, 5, 7, 11, 13 dan 19 nilainya sudah dibawah standar. Pada tabel diatas terlihat bahwa untuk beberapa nilai thd masih ada nilai yang lebih tinggi saat sebelum optimasi namun untuk keseluruhan nilai semua nilai sesudah optimasi lebih kecil yaitu 3,68% dibandingkan 4,2% untuk sebelum optimasi. Dari hasil diatas demikian dari hasil simulasi setelah pemasangan filter nilai harmonisa arus tiap orde dapat turun hingga rata – rata 95.1% untuk sebelum optimasi dan 95.44% untuk sesudah optimasi. Hal ini menunjukkan unjuk kerja filter aktif yang sudah cukup baik.

Tabel 5 Nilai THD Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Besaran	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter		Persentase Perubahan	
		Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi	Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi
THD arus	24.96%	4.2%	3.68%	20.76%	21.28%

Tabel 5 menunjukkan penurunan yang baik dari harmonisa arus setelah sistem dipasangi filter aktif paralel sebelum dan sesudah di optimasi. Nilai harmonisa arus dapat berkurang sebesar 220.76% untuk nilai sebelum dioptimasi dan 21.28% untuk nilai yang sudah dioptimasi menunjukkan unjuk kerja filter aktif paralel yang optimal dalam mengkompensasi harmonisa arus.

3.3.2 Perbandingan Nilai Faktor Daya

Tabel 6 Perbandingan Nilai Faktor Daya Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Besaran	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter
Faktor Daya	0.9691	0.9994

Dari Tabel 6 di atas dapat dilihat perbaikan sistem setelah pemasangan filter aktif paralel. Terlihat bahwa nilai faktor daya sistem yang sebelumnya 0.9592 akibat adanya harmonisa dapat diperbaiki hingga mendekati faktor daya *unity* (1).

3.3.3 Perbandingan Nilai Respon Transien

Tabel 7 Perbandingan Nilai Respon Transien Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Besaran	Sebelum Optimasi	Setelah Optimasi
Rise Time	0.0064 s	0.0062 s
Settling Time	0.0146 s	0.2567 s
Settling Min	650.6914	628.7870
Settling Max	748.6473	750.2216
Overshoot	3.5597%	7.3106 %
Undershoot	0	0
Peak	748.6473	750.2216
Peak Time	0.0121s	0.0121 s

Dari Tabel 7 di atas dapat dilihat perbaikan sistem setelah pemasangan filter aktif paralel. Terlihat perbedaan nilai sebelum dilakukan optimasi dan sesudah dilakukan optimasi, dapat disimpulkan setelah dilakukannya optimasi nilai respon transien cenderung lebih jelek daripada sebelum dilakukan optimasi. Namun untuk nilai tegangan dc link kapasitor saat dioptimasi sudah *steady* di nilai 700 sedangkan untuk sebelum dioptimasi nilai vdc kapasitor masih *steady* di nilai 722.

3.4.4 Perbandingan Nilai ITAE

Tabel 8 Perbandingan ITAE parameter bilangan random

No	Kp	Ki	ITAE	Settling time	THDi (%)
1	11	11	4.32	0.0146	4.2
2	45	62	3.23	0.2061	4.04
3	20	56	3.35	0.1663	4.11
4	361	742	0.95	0.1530	3.83
5	900	900	0.983	0.2420	3.98

Berdasarkan tabel 8 terlihat bahwa dapat disimpulkan bahwa untuk beberapa nilai *random* didapatkan beberapa nilai ITAE dan *settlingtime* seperti diatas. Sementara itu, besarnya nilai ITAE tidak berbanding lurus dengan nilai harmoniknya. Terlihat terjadi fluktuasi nilai harmonik

untuk variasi nilai ITAE. Untuk itu didapatkan nilai ITAE minimum yaitu sebesar 0.0146 untuk variasi random parameter PI dengan Kp sebesar 11 dan Ki sebesar 11. Nilai random parameter PI ini digunakan sebagai pembandingan dengan ITAE yang melalui proses optimasi dengan nilai Kp sebesar 691.881 dan nilai Ki sebesar 230.491 pada tabel 9 sebagai berikut:

Tabel 9 Perbandingan ITAE parameter PI random dengan optimasi

Besaran	Tanpa Optimasi	Dengan Optimasi	Penurunan
THDi (%)	4.2	3.68	0.52
ITAE	4.32	1.1421	3.1779
Settling time	0.0146	0.2567	-0.2421

Berdasarkan tabel 9 dapat diketahui perbandingan nilai THDi, ITAE dan settling time pada parameter PI tanpa dan dengan optimasi. Terlihat nilai THDi yang mengalami proses optimasi *Particle Swarm Optimization* memiliki nilai yang lebih kecil. Hal ini sebanding dengan nilai ITAE sistem untuk mencapai kestabilan memiliki nilai yang lebih cepat untuk parameter yang mengalami optimasi. Namun demikian, nilai *settling time* mengalami kenaikan karena meskipun nilai ITAE lebih rendah namun waktu untuk mencapai *steady state* lebih cepat tetapi masih ada beda nilai dengan tegangan referensi sistem yaitu 700 V. Dari nilai diatas, nilai harmonisa arus mengalami penurunan sebesar 0.52 menjadi 3.68%. Nilai harmonisa arus ini sudah dibawah standar IEEE 519-1992 yang ditetapkan yaitu sebesar 5%

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan untuk Filter Aktif Paralel sebelum dilakukan Optimasi nilai THDi berkisar pada nilai 4.2% sedangkan setelah dilakukannya Optimasi dengan metode PSO nilai THDi sebesar 3.68%. Hal ini menunjukkan bahwa Optimasi yang dilakukan berdampak terhadap nilai harmonisa. Menurut analisis yang sudah dilakukan nilai ITAE (*Integral Time Absolute Error*) pada Filter Aktif Paralel sebelum dilakukan Optimasi memperoleh nilai sebesar 4.32, sedangkan setelah dilakukan Optimasi dengan metode PSO nilai ITAE nya sebesar 1.41. Dapat terlihat dengan dilakukan optimasi cukup berdampak dengan nilai ITAE. Untuk Nilai Respon Transien pada Filter Aktif Paralel sebelum dilakukan Optimasi nilai Settling Time berkisar pada angka 0.0146 sedangkan untuk setelah Optimasi nilainya sebesar 0.2567. Dapat terlihat bahwa Optimasi menggunakan metode PSO kurang optimal untuk nilai Settling Time karena fungsi objektif yang digunakan adalah harmonisa arus. Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan Filter Aktif Paralel dapat memperbaiki nilai faktor daya dari nilai 0.9582 menjadi 0.9994 walaupun kenaikannya kurang signifikan namun

dapat memperbaiki nilai faktor daya menjadi mendekati nilai *unity* (1).

Referensi

- [1]. Gore, M.A, More, S.Dagadu, "Performance Investigation of Shunt Active Power Filter with PI and Fuzzy Controllers", IEEE International Conference on Control Applications (CCA), India: 2013.
- [2]. Putra, D.W.U., "Simulasi Penggunaan Filter Aktif Shunt untuk Meredam Harmonisa Studi Kasus Sistem Kelistrikan PT Kaltim Prima Coal", Teknik Elektro UNDIP, 2014.
- [3]. Prasetyawati, F., "Optimasi Rating SVD dan TCSC untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya pada Sistem 500 kV JAMALI menggunakan Metode PSO", Teknik Elektro UNDIP, 2014.
- [4]. Febriansyah, "Optimasi Kapasitas Pembangkit Tersebar untuk Mengurangi Rugi Daya Aktif Menggunakan Particle Swarm Optimization dan Pengaruhnya terhadap Indeks Kestabilan Tegangan", Teknik Elektro UNDIP, 2013.
- [5]. Saadat, Hadi, "Power System Analysis", McGraw-Hill: 1999.
- [6]. El-Hawary, M.E., "Basics of Electric Energy System Theory", Series Ed. Leo Grigsby, Boca Raton: CRC Press LLC, 2000.
- [7]. Grainger, J.J., Stevenson, W. D., "Power System Analysis", McGraw-Hill: 1994.
- [8]. Arillaga, Jos, Watson, N.R., "Power System Harmonics", John Willey & Sons: 2003.
- [9]. Baggini, Angelo, "Handbook of Power Quality", John Willey & Sons: 2008.
- [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.