

# OPTIMASI PARAMETER KONTROLER PI PADA FILTER AKTIF SHUNT MENGGUNAKAN GENETIC ALGORITHM (GA)

Oktarico Susilatama Putra Pradana<sup>\*)</sup>, Agung Warsito, and Susatyo Handoko

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

<sup>\*)</sup>E-mail: [oktaricopradana@yahoo.co.id](mailto:oktaricopradana@yahoo.co.id)

## Abstrak

Beban non-linier menjadi permasalahan penting semenjak penerapan peralatan semikonduktor yang menghasilkan distorsi harmonisa. Salah satu cara untuk mengkompensasi daya reaktif dan eliminasi arus harmonik adalah dengan menggunakan filter aktif paralel. Shunt Active Power Filter (SAPF) memiliki PWM yang dapat dikendalikan oleh topologi Voltage Source Inverter (VSI) yang menggunakan kontroler PI untuk tracking tegangan referensi. Tuning optimal pada kontroler PI menggunakan algoritma genetika dibutuhkan untuk mendapatkan repon transien terbaik dari tegangan kapasitor DC dengan mempertahankan nilai tegangan DC konstan. Algoritma genetika menawarkan suatu konsep bahwa sifat-sifat individu dapat dikodekan dengan cara tertentu sehingga sifat-sifat tersebut dapat diturunkan pada generasi berikutnya. Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya. Nilai minimum dari Total Harmonic Distorsion (THD) merupakan indeks performansi yang digunakan sebagai fungsi obyektif dalam proses optimasi pada tugas akhir ini. Pada penelitian ini, metode algoritma genetika diprogram dengan Software MATLAB 7.6.0 (R2008a). Jaringan yang akan diuji adalah sistem kelistrikan pada jurnal referensi<sup>[1]</sup>. Dari hasil percobaan diperoleh nilai parameter optimal kontroler PI sebesar 420.898 dan 860.352. Akibatnya, nilai THD arus mengalami penurunan sebesar 21.22% sehingga diperoleh nilai THD arus sebesar 3.74% dengan nilai settling time dan ITAE masing-masing sebesar 0.2415 dan 0.9835.

*Kata kunci : Optimasi, Kontroler PI, ITAE, Settling Time, Filter Aktif Shunt, Algoritma genetika, Harmonisa.*

## Abstract

Non-linear load has become important issues since the application of semiconductor devices producing harmonic distortions. One way to compensate reactive power and to deal with current distortions is using shunt active power filter whose PWM can be controlled by Voltage Source Inverter (VSI) topology on PI controller to track voltage reference down. The best tuning of PI controller using genetic algorithm is needed to gain the best transient response of DC capacitor voltage by maintaining the value of stabilized DC voltage. Genetic algorithm proposes a concept that the natures of individuals could be decoded and inherited into the following generations. An individual is evaluated according to the typical function as performance indices. The minimum figure of Total Harmonic Distorsion (THD) is considered as performance indice and objective function in optimization process of these final project. The power system that will be tested is on paper reference<sup>[1]</sup>. To sum up, according to the outcome of experiment, the number of PI controller parameters are 420.898 and 860.352. As the result, the figure of current harmonic is significantly decline to 21.22% therefore the value of current harmonic is 3.74% with the number of settling time and ITAE being 0.2415 and 0.9835 respectively.

*Keyword : Optimization, PI controller, ITAE, Settling Time, Shunt Active Power Filter, Genetic Algorithm, Harmonics.*

## 1. Pendahuluan

Dengan semakin berkembangnya pemakaian elektronika daya dalam sistem tenaga listrik, maka semakin banyak pula beban *nonlinier* yang terpasang. Meningkatnya beban berbasis elektronika daya ternyata menimbulkan permasalahan yang cukup serius pada kualitas energi listrik, yaitu terjadinya distorsi bentuk gelombang

tegangan maupun arus yang disebabkan oleh adanya harmonisa. Harmonisa itu sendiri merupakan bentuk gelombang yang terdapat dalam gelombang terdistorsi yang memiliki frekuensi selain frekuensi fundamental<sup>[2]</sup>. Gelombang dengan frekuensi tinggi ini akan menyebabkan distorsi pada gelombang dasar sehingga bentuknya tidak lagi murni sinusoidal<sup>[2]</sup>. 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<sup>[8]</sup>.

Kehadiran harmonisa telah melatarbelakangi terbitnya beberapa standar atau regulasi. Untuk memenuhi kebutuhan standarisasi di atas, *Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE)* telah mengeluarkan *IEEE std. 519-1992*<sup>[8]</sup>.

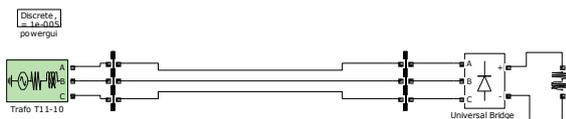
Tujuan yang hendak dicapai adalah mengoptimalkan kinerja *filter* aktif *shunt* dengan cara *tuning* pada kontroler *PI* menggunakan software Matlab R2008a. *Tuning* Kontroler *PI* bertanggung jawab atas pertukaran daya aktif dan reaktif dengan sistem. Algoritma genetika diuji dengan mendapatkan nilai THD arus yang dapat diterima sesuai standar *IEEE std. 519-1992* dengan nilai *settling time* dan *ITAE* seminimum mungkin.

## 2. Metode

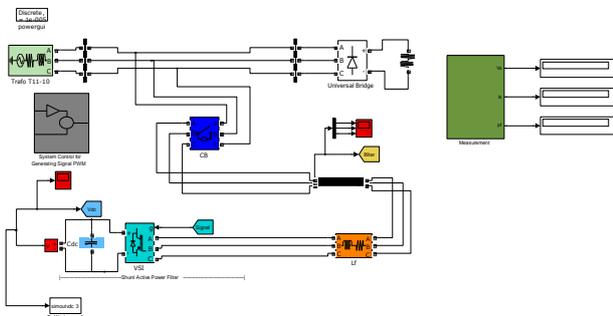
Dalam penelitian ini, metode penelitian yang dilakukan adalah memodelkan sistem kelistrikan jurnal referensi [1] menggunakan simulink perangkat lunak

### 2.1 Model Rangkaian Simulasi

Model rangkaian simulasi pada jurnal referensi[1] tanpa *filter* aktif shunt dan dengan *filter* aktif shunt.



Gambar 1. Model simulink beban *nonlinier* tanpa *filter* aktif[1]



Gambar 2. Model simulink beban *nonlinier* dengan *filter* aktif

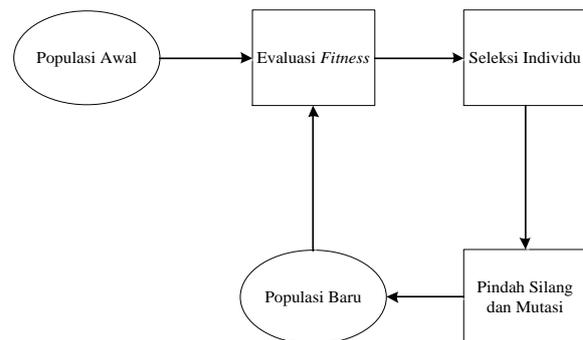
Spesifikasi model yang digunakan antara lain adalah sebagai berikut

Tabel 1. Parameter sistem [1]

1	Tegangan sumber ( $V_s$ ) rms	440
2	Frekuensi Sistem ( $f$ )	50 Hz
3	Impedansi sumber ( $R_s, L_s$ )	0.01 $\Omega$ , 0.1mH
4	Impedansi <i>filter</i> ( $R_c, L_c$ )	0.05 $\Omega$ , 4mH
5	Impedansi beban ( $R_l, L_l$ )	30 $\Omega$ , 60mH
6	Tegangan DC-link referensi ( $V_{dcref}$ )	700V
7	Kapasitansi DC-link ( $C_{dc}$ )	2800 $\mu$ F
8	Frekuensi <i>switching</i> ( $f_s$ )	10-12kHz
9	Waktu Simulasi	0.6
10	Waktu Sample ( <i>Sampling Time</i> )	10e-6

### 2.2 Perancangan Algoritma Genetika

Pada penelitian ini, metode optimasi yang digunakan adalah teknik komputasi algoritma genetika. Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yaitu seleksi alam[3]. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu – individu, yang masing – masing individu mempresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi persoalan yang ada. Dalam kaitan ini, individu dilambangkan dengan sebuah nilai *fitness* yang akan digunakan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan yang ada[4]. Siklus dalam algoritma genetika dapat disederhanakan seperti terlihat pada gambar 3



Gambar 3. Siklus Algoritma Genetika

Dalam penerapan algoritma genetika, ada beberapa parameter yang dilibatkan, di mana parameter ini menentukan kesuksesan suatu proses optimasi. Jenis parameter yang digunakan bergantung pada permasalahan yang diselesaikan. Parameter-parameter yang digunakan dalam algoritma genetika dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Parameter algoritma genetika [3]

1	Jumlah Gen (JumGen)	20
2	Jumlah Variabel (Nvar)	2
3	Probabilitas Pindah Silang (Pc)	0.8
4	Probabilitas Mutasi (Pm)	0.05
5	Jumlah bit (Nbit)	10
6	Jumlah Populasi (UkPop)	10
7	Jumlah Generasi (Iterasi)	40
8	Batas Atas Kp (RaKp)	1000
9	Batas Bawah Kp (RbKp)	0
10	Batas Atas Ki (RaKi)	1000
11	Batas Bawah Ki (RbKi)	0

Program ini dibuat dalam 9 tahap, tahapan kerja dari metode algoritma genetika adalah sebagai berikut<sup>[3]</sup>.

1. Inisialisasi populasi. Membangkitkan sebuah populasi secara acak. Setiap populasi terdiri dari beberapa individu. Setiap individu terdiri dari beberapa kromosom dan setiap kromosom terdiri dari beberapa gen yang berupa bilangan biner 0 atau 1. Dalam penelitian ini, individu adalah berupa kondisi acak parameter kontroler *PI*, setiap individu terdiri dari 2 kromosom, yaitu kontroler P (*Proporsional Gain*) dan Kontroler I (*Integral Gain*). Setiap individu ini terdiri dari 10 buah gen.
2. Pengkodean kromosom. Mengkodekan sebuah kromosom dari bilangan biner 0 dan 1 menjadi kromosom dengan nilai real dalam interval yang diinginkan. Pada penelitian ini, kromosom yang dimaksud adalah kontroler P (*Kp*) dan kontroler I (*Ki*) yang bernilai *real*
3. Evaluasi individu. Mengetahui nilai *fitness* dari setiap individu yang telah dikodekan pada tahap pengkodean kromosom. Fungsi objektif untuk menghitung nilai *fitness* adalah

$$F(i) = \frac{1}{THDi(i) + a}$$

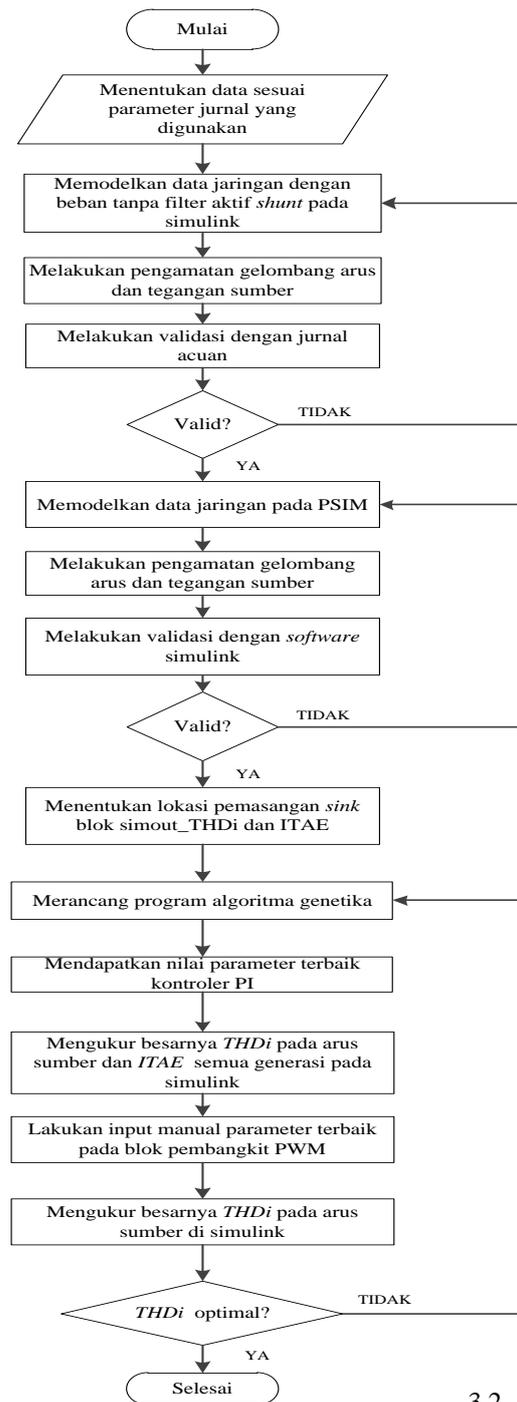
4. *Linier fitness ranking*. Mengurutkan individu-individu dari yang nilai *fitness*-nya terkecil hingga terbesar.
5. *Roulette wheel*. Memilih 2 individu untuk dijadikan individu ayah dan ibu.
6. Pindah silang. Menghasilkan individu anak dari individu ayah dan ibu.
7. Mutasi. Menghasilkan individu baru setelah terjadi pergantian gen

Tahap-tahap dirumuskan dalam gambar 4.

Dalam pemodelan sistem optimasi, secara kualitatif sistem dibentuk berdasarkan akumulasi kesalahan tanggapan sistem dalam suatu durasi waktu simulasi tertentu. Teori yang mendukung pembentukan analisa kualitas adalah kinerja suatu sistem kontrol terukur berdasarkan metode *ITAE* (*Integral Time Absolute Error*) atau besar akumulasi kesalahan tanggapan sistem dikalikan dengan waktu untuk satu periode simulasi, secara matematis perhitungan diskrit dapat dirumuskan seperti pada (1).

$$ITAE = \sum_{t=0, t+\Delta t}^{t_s} t|\varepsilon(t)| \quad (1)$$

dimana  $\Delta t$  adalah lebar cuplikan waktu simulasi.



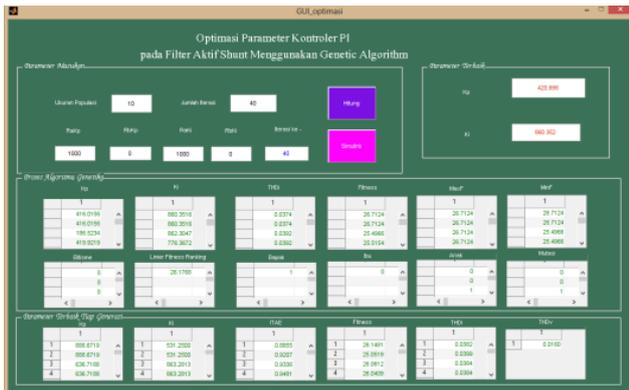
Gambar 4. Diagram alir program optimasi

### 2.3 Perancangan Grafis Antar Muka (GUI)

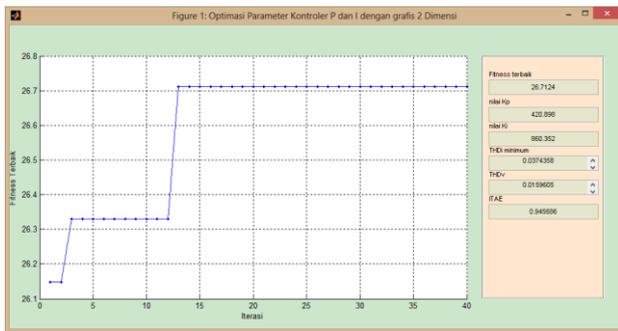
Pada tahap ini dilakukan pembuatan GUI. Gambar 5 hingga 7 merupakan hasil perancangan GUI.



Gambar 5. Halaman awal GUI



Gambar 6. Halaman hasil pengukuran



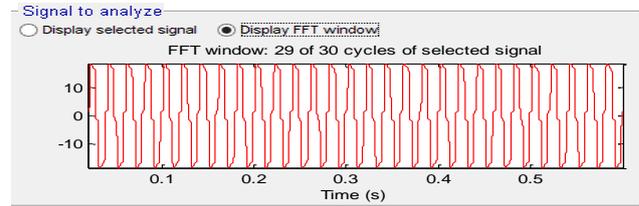
Gambar 7. Kurva hasil metode algoritma genetika

## 3. Hasil dan Analisa

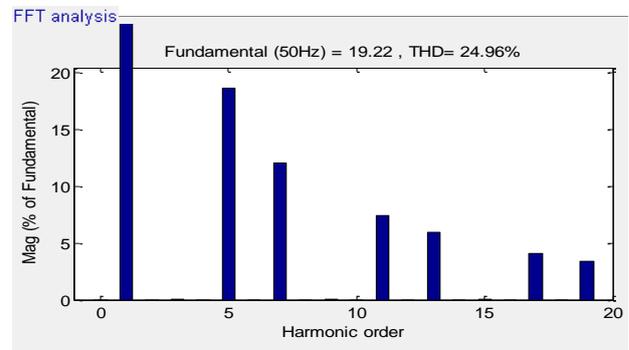
Pada subbab ini dilakukan simulasi jaringan [1] tanpa filter aktif *shunt*, sebelum sistem dioptimasi dan sesudah dioptimasi. Berikut adalah penjelasan proses pembuatan model dan program optimasi sistem.

### 3.1 Simulasi Sistem Tanpa Filter

Menunjukkan kondisi sistem awal sebelum penerapan filter aktif paralel. Dari model tersebut kemudian dapat diketahui bentuk gelombang arus dari sistem serta spektrum frekuensinya.



Gambar 8. Arus sumber sistem tanpa filter THD 24.96%



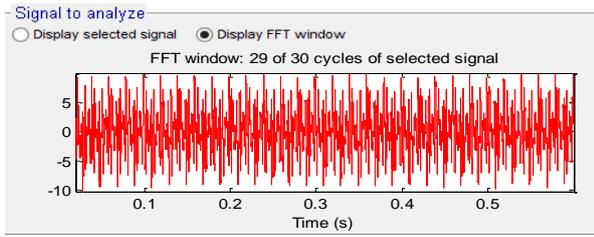
Gambar 9. Spektrum frekuensi arus sumber sistem tanpa filter

Dari Gambar 8 dan 9 dapat dilihat bentuk gelombang dan spektrum frekuensi arus sumber. Dapat diketahui THDI sebesar 24.96% dengan persentase tertinggi terhadap arus fundamental terjadi pada harmonisa kelima yaitu sebesar 18.58%. Untuk hasil simulasi gelombang arus distorsi harmonisa yang muncul adalah orde ke-5, 7, 11, 13, 17 & 19

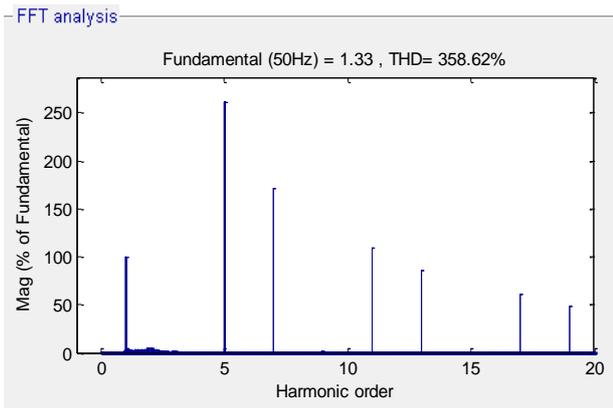
### 3.2 Simulasi Sistem dengan Filter

#### 3.2.1 Simulasi Tanpa Melalui Proses Optimasi Algoritma Genetika

Pada subbab ini akan dijelaskan pengaruh pemilihan kontroler PI tanpa melalui proses optimasi menggunakan algoritma genetika. Selain itu, juga ditampilkan pemilihan konstanta kontroler PI secara *trial-and-error* tanpa melalui proses optimasi. Pada simulasi ini dipilih nilai PI secara random yaitu masing-masing sebesar 19 dan 19



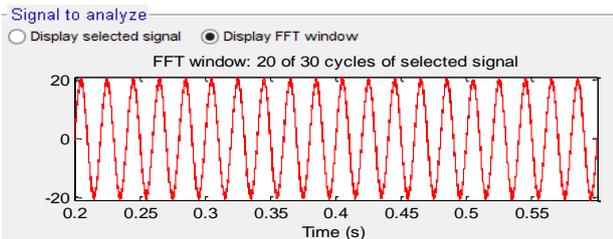
Gambar 10. Gelombang arus kompensasi filter aktif paralel tanpa melalui proses optimasi



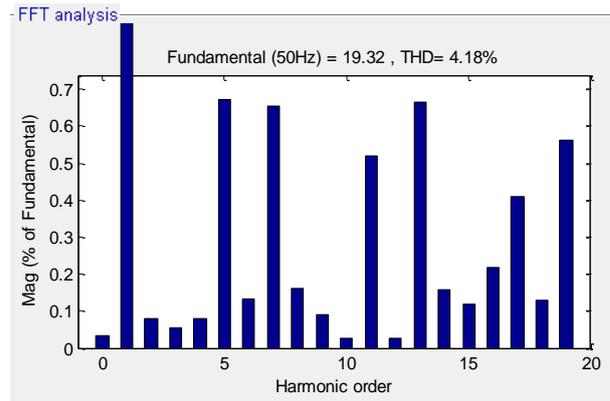
Gambar 11. Spektrum frekuensi arus kompensasi filter aktif paralel tanpa melalui proses optimasi

Gambar 10 memperlihatkan bentuk gelombang arus kompensasi filter aktif paralel tanpa melalui proses optimasi. Pada gambar tersebut terlihat bentuk gelombang yang terdistorsi yang digunakan untuk proses kompensasi.

Gambar 11 memperlihatkan bahwa arus yang diinjeksikan memiliki orde frekuensi harmonisa sebagaimana harmonisa sistem distribusi yang akan dikompensasi. Terlihat orde harmonisa ke-5, 7, 11, 13, 17 dan 19 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



Gambar 12. Bentuk gelombang arus sumber setelah pemasangan filter aktif paralel tanpa melalui proses optimasi

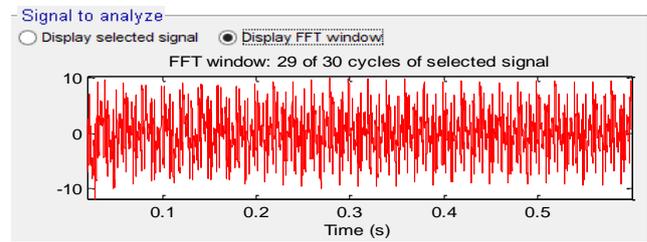


Gambar 13. Spektrum frekuensi arus sumber setelah pemasangan filter aktif paralel tanpa melalui proses optimasi

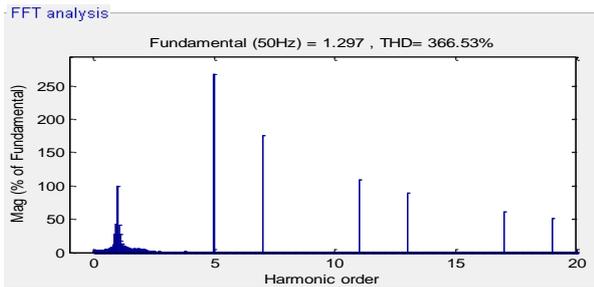
Gambar 12 menunjukkan bentuk gelombang arus sumber sesudah pemasangan filter aktif paralel dan Gambar 13 menunjukan nilai – nilai frekuensi orde harmonisa arus ke- 5, 7, 11, 13, 17 dan 19 yang sebelumnya mencapai 18.58% dari magnitude gelombang fundamental dapat ditekan nilainya hingga berkisar 1% . Hal ini telah sesuai dengan batas ketentuan IEEE Std 519-1992. Akan tetapi secara kualitas nilai ITAE nya masih cukup besar hal ini dapat mempengaruhi kestabilan sistem tenaga listrik.

### 3.2.2 Simulasi dengan Menggunakan Proses Optimasi Algoritma Genetika

Dalam simulasi ini, terdapat suatu cara untuk mengurangi nilai harmonisa pada sistem dengan menggunakan filter aktif paralel. Penambahan filter aktif shunt terbukti dapat mengurangi harmonisa arus secara signifikan. Walaupun demikian setelah dilakukan pemasangan, penetapan kontroler PI pada filter aktif menggunakan teknik trial-and-error yang berarti mencoba dan salah/error. Cara trial-and-error ini belum dapat menemukan kombinasi parameter kontroler PI yang tepat sehingga nilai harmonisa tidak minimum. Terlebih lagi, diperlukan usaha yang lebih dan waktu yang relatif cukup lama.

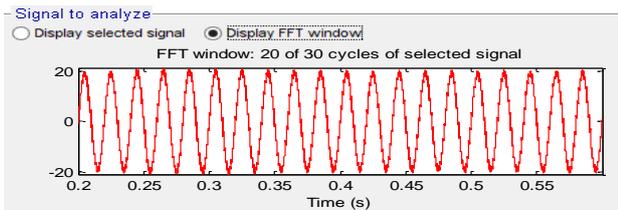


Gambar 14 Gelombang arus kompensasi dengan proses optimasi

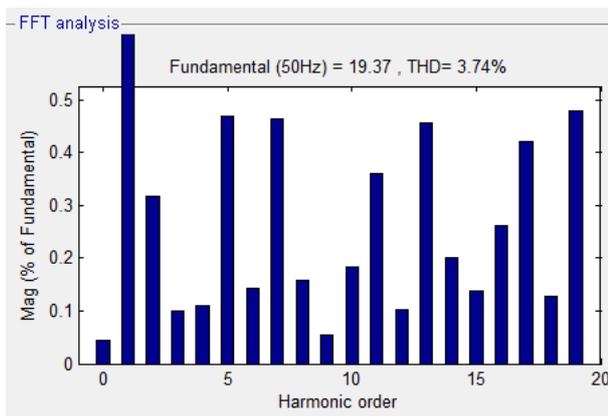


Gambar 15 Spektrum frekuensi arus kompensasi dengan proses optimasi

Gambar 14 dan 15 memperlihatkan gelombang arus kompensasi dan spektrum frekuensi arus kompensasi *filter* aktif paralel. 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, 17 dan 19 merupakan yang dominan dalam arus kompensasi *filter* aktif.



Gambar 16 Bentuk gelombang arus sumber dengan proses optimasi



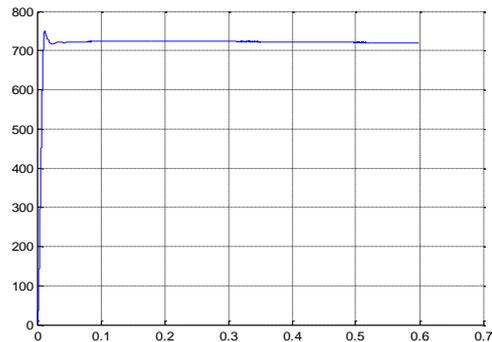
Gambar 17 Spektrum frekuensi arus sumber dengan proses optimasi

Gambar 16 menunjukkan gelombang arus kompensasi setelah pemasangan *filter*. Apabila dilihat kembali spektrum arus sumber sebelum dipasang *filter* aktif yakni seperti gambar 8 maka akan didapatkan perbedaan yang cukup signifikan. Berdasarkan tabel 4 nilai – nilai frekuensi orde harmonisa ke-5, 7, 11, 13, 17 dan 19 yang sebelumnya mencapai 18.58% dari *magnitude* gelombang

fundamental dapat ditekan nilainya hingga berkisar 1% akibat optimasi pemasangan *filter* aktif paralel. Nilai THD arus dapat dilihat berkurang drastis dari sebesar 24.96% menjadi 3.74%. Hal ini menunjukkan *filter* aktif dapat bekerja optimal dalam mengkompensasi harmonisa

### 3.3 Tegangan Kapasitor DC ( $V_{dc}$ ) Setelah Pemasangan *Filter* Aktif Paralel

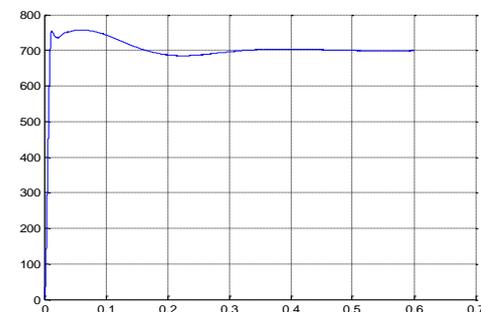
#### 3.3.1 Tegangan Kapasitor DC ( $V_{dc}$ ) Tanpa Melalui Proses Optimasi



Gambar 18. Bentuk gelombang tegangan kapasitor DC ( $V_{dc}$ ) tanpa melalui proses optimasi

Pada gambar 18 terlihat bentuk gelombang tegangan kapasitor dc dengan keadaan awal (*initial state*) sebesar 0 menuju titik referensi 700V dengan nilai  $K_p$  sebesar 19 dan nilai  $K_i$  sebesar 19. Namun demikian, terlihat bahwa respon dinamis kurva tersebut memiliki nilai *error* yang besarnya melebihi 700 V. Hal ini akan diterapkan sebagai acuan untuk menetapkan kualitas optimasi yang berupa *ITAE* (*integral Time Absolute Error*) terhadap respon transiennya yaitu sebesar 3.901.

#### 3.3.2 Tegangan Kapasitor DC ( $V_{dc}$ ) Dengan Melalui Proses Optimasi



Gambar 19. Bentuk gelombang tegangan kapasitor DC ( $V_{dc}$ ) dengan melalui proses optimasi

Pada gambar 19 terlihat bentuk gelombang tegangan kapasitor dc dengan keadaan awal (*initial state*) sebesar 0

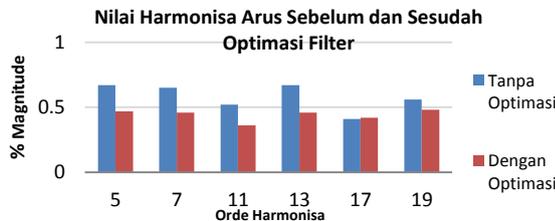
menuju titik referensi 700V dengan nilai Kp sebesar 420.898 dan nilai Ki sebesar 80.352. Namun demikian, terlihat bahwa respon dinamis kurva tersebut memiliki nilai *error* yang besarnya melebihi 700 V. Hal ini akan diterapkan sebagai acuan untuk menetapkan kualitas optimasi yang berupa *ITAE* (*integral Time Absolute Error*) terhadap respon transiennya yaitu sebesar 0.9835.

### 3.4 Perbandingan Kondisi Sistem Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

#### 3.4.1 Perbandingan Nilai Harmonisa

Tabel 3 Harmonisa Arus Sumber Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Besaran	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter		Persentase Perubahan	
		Tanpa Optimasi	Dengan Optimasi	Tanpa Optimasi	Dengan Optimasi
THD arus	24.96	4.18	3.74	20.78	21.22



Gambar 20. Diagram perbandingan harmonisa arus sebelum dan sesudah optimasi filter

Dari Tabel 3 dan Gambar 20 terlihat penurunan nilai harmonisa arus per orde setelah dipasang filter aktif paralel setelah melalui proses optimasi. Dengan menggunakan proses optimasi harmonisa orde ke- 5,7, 11,13,17,dan 19 nilainya sudah dibawah standar. Sedangkan untuk sistem tanpa optimasi memiliki nilai *ITAE* yang cukup besar. Hal ini dapat mengganggu kestabilan sistem. Berdasarkan hasil simulasi setelah pemasangan filter, tanpa melalui optimasi nilai harmonisa arus tiap orde dapat turun hingga rata – rata 83.25% untuk seluruh orde dan penurunan rata-rata sebesar 85.01% dengan melalui proses optimasi. Hal ini menunjukkan unjuk kerja filter aktif yang sudah cukup baik.

Tabel 4 Nilai THD 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			
5	18.58	0.67	0.47	17.91	18.11	
7	12.01	0.65	0.46	11.36	11.55	
11	7.46	0.52	0.36	6.94	7.1	
13	5.92	0.67	0.46	5.25	5.46	
17	4.12	0.41	0.42	3.71	3.7	
19	3.42	0.56	0.48	2.86	2.94	

Tabel 4 menunjukkan penurunan yang baik dari harmonisa arus setelah sistem dipasangi filter aktif

paralel. Pada penerapan optimasi nilai harmonisa arus dapat berkurang hingga sebesar 21.22% ,sedangkan terjadi penurunan sebesar 20.78% pada sistem yang tidak menggunakan optimasi. Hal ini terlihat bahwa terjadi penurunan yang lebih besar pada sistem yang menggunakan optimasi. Terlihat, nilai harmonisa arus setelah optimasi filter sebesar 3.74% telah sesuai dengan standar *IEEE std 519-1992* yakni maksimal 5%.

#### 3.4.2 Perbandingan Nilai Faktor Daya

Tabel 5 Faktor Daya Sebelum dan Sesudah Pemasangan Filter Aktif Paralel

Besaran	Sebelum Pemasangan Filter	Setelah Pemasangan Filter
Faktor Daya	0.969139	0.99949

Dari Tabel 5 di atas dapat dilihat perbaikan sistem setelah pemasangan filter aktif paralel. Terlihat bahwa nilai faktor daya sistem yang sebelumnya 0.969139 dapat diperbaiki hingga mendekati faktor daya *unity* (1) yakni sebesar 0.99949. Dapat diketahui bahwa nilai faktor daya menjadi lebih baik pada sistem yang menggunakan filter aktif paralel.

#### 3.4.3 Perbandingan Respon Transien

Tabel 6 Perbandingan Respon Transien pada Tegangan Kapasitor DC tanpa dan dengan Optimasi

Parameter	Tanpa Optimasi	Dengan Optimasi
Rise Time	0.0064s	0.0062s
Settling time	0.0155s	0.2415s
Settling Min	647.9596	630.1521
Settling Max	748.6411	757.5683
Overshoot	4.0705	8.3005%
Undershoot	0%	0%
Peak	748.6411	757.5683
Peak Time	0.0121s	0.0592s

Berdasarkan tabel 6 terlihat perbandingan respon transien pada tegangan kapasitor DC tanpa dan dengan optimasi. PI kontroler berfungsi untuk mempertahankan nilai tegangan kapasitor DC konstan sehingga didapatkan nilai *settling time* yang rendah. Akan tetapi terlihat bahwa *magnitude* respon dinamis akhir telah mencapai tegangan referensi yaitu 700V. Adapun selisih tegangan dc dengan tegangan referensi saat sebelum mencapai *steady-state* digunakan sebagai *ITAE*. Besarnya nilai *ITAE* berbanding lurus dengan respon transiennya. Terlihat dengan adanya optimasi pada PI kontroler yang mempengaruhi besarnya *ITAE*, nilai *settling time* dengan optimasi lebih besar dari pada tanpa proses optimasi.

#### 3.4.4 Perbandingan ITAE (Integral Time Absolute Error)

Tabel 7 Perbandingan ITAE parameter bilangan random

No	Kp	Ki	ITAE	Settling time(s)	THDi (%)
1	660	230	1.077	0.25	4.09
2	740	270	1.012	0.2296	4.03
3	5	5	4.199	0.0146	4.14
4	460	130	1.975	0.2796	4.05
5	19	19	3.901	0.0155	4.18

Berdasarkan tabel 7 terlihat bahwa terdapat suatu korelasi antara *ITAE* dengan *settling time*. Semakin kecil nilai *ITAE* nya maka waktu yang diperlukan sistem untuk mencapai *steady-state* semakin cepat. Sementara itu, besarnya nilai *ITAE* tidak berbanding lurus dengan nilai harmoniknya. Walaupun demikian, nilai *settling time* yang kecil tetapi memiliki *ITAE* yang besar dapat berarti sistem tersebut memiliki *error steady-state*.

Didapatkan nilai *ITAE* minimum yaitu sebesar 3.901 untuk variasi random parameter PI dengan nilai  $K_p$  sebesar 19 dan nilai  $K_i$  sebesar 19. Nilai random parameter PI ini dibandingkan dengan proses optimasi dengan nilai  $K_p$  sebesar 420.898 dan nilai  $K_i$  sebesar 860.352 pada tabel 8 sebagai berikut:

**Tabel 8 Perbandingan *ITAE* parameter PI random dengan Optimasi**

Besaran	Tanpa Optimasi	Dengan Optimasi	Penurunan
<i>ITAE</i>	3.901	0.9835	2.9175
<i>Settling time</i> (s)	0.0155s	0.2415s	-0.226
<i>THDi</i> (%)	4.18	3.74	0.44

Berdasarkan tabel 8 dapat diketahui perbandingan nilai *ITAE*, *settling time*, dan *THDi* pada parameter PI dengan dan tanpa optimasi. Terlihat nilai *ITAE* yang mengalami proses optimasi algoritma genetika memiliki nilai *ITAE* yang lebih kecil. Hal ini sebanding dengan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai *steady-state* memiliki nilai yang lebih cepat untuk parameter yang mengalami optimasi. Namun demikian, nilai harmonik arus sebagai fungsi objektif sistem dipengaruhi oleh respon transien yang di klasifikasikan sebagai *ITAE* dalam mempertahankan tegangan DC tetap konstan pada 700V, didapatkan sistem yang mengalami optimasi mengalami penurunan harmonisa arus sebesar 0.44% menjadi 3.74%.

#### 4. Kesimpulan

1. Secara kuantitatif, performansi sistem yang mengalami proses optimasi parameter kontroler PI memiliki indeks performansi yang lebih baik. Terlihat bahwa pada optimasi parameter kontroler PI memiliki nilai *ITAE* sebagai selisih tegangan DC kapasitor dengan tegangan DC referensi sebesar 0.9835 dan *THDi* sebagai indeks performansi sistem sebesar 3.74%. Dibandingkan dengan sistem yang tidak mengalami optimasi, memiliki *ITAE* sebesar 3.901 dan *THDi* sebesar 4.18%. Terlihat nilai *THDi* yang mengalami proses optimasi algoritma genetika memiliki nilai yang lebih kecil. Hal ini sebanding pada parameter yang mengalami optimasi dengan waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kestabilan menjadi lebih cepat. Semakin kecil nilai *ITAE* nya, maka respon dinamisnya semakin baik.

2. Secara kualitatif, dengan adanya optimasi parameter kontroler PI, respon transien sistem menjadi lebih cepat mencapai keadaan *steady-statenya*. Terlihat bahwa pada optimasi parameter kontroler PI memiliki nilai *settling time* tegangan kapasitor DC sebesar 0.2415 s dengan nilai *error steady-state*  $\pm 0.5V$ . Nilai *settling time* tersebut lebih besar dari pada sistem yang tanpa proses optimasi yaitu sebesar 0.0155 s yang masih memiliki *error steady-state* sebesar  $\pm 730 V$ . Sehingga terjadi perbaikan pada *error steady-state* sebesar  $\pm 30 V$ .

3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diketahui bahwa optimasi kinerja filter aktif paralel dapat memberikan pengaruh yang cukup signifikan dan sudah sesuai dengan standar *IEEE 519-1992*. Hal ini dapat diketahui pada keadaan awal tanpa filter aktif paralel harmonisa arus sebesar 24.96%, dan ketika dilakukan penerapan filter aktif paralel tanpa proses optimasi harmonisa arus turun menjadi 4.18%. Sedangkan ketika dilakukan proses optimasi pada kontroler PI filter aktif paralel, keadaan harmonisa arus mengalami penurunan menjadi 3.74%.

4. Unjuk kerja dengan filter aktif paralel tidak hanya pada penurunan nilai harmonisa tetapi juga pada perbaikan nilai faktor daya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai faktor daya sebelum adanya filter yaitu 0.969139 dibandingkan dengan pemasangan filter yaitu 0.99949. Hal ini menunjukkan optimasi filter aktif paralel juga berpengaruh dalam perubahan nilai harmonisa arus, dan perbaikan faktor daya.

#### Referensi

- [1]. Gore, A.M., More, D.S., "Performance Investigation of Shunt Active Power Filter with PI and Fuzzy Controllers", IEEE International Conference on Control Applications (CCA) Part of 2013 IEEE Multi-Conference on Systems and Control Hyderabad, India: August, 28-30, 2013
- [2]. Glover, J.D., Sarma, M.S., Overbye, T.J., "Power System Analysis and Design", Cengage Learning, USA: 2008.
- [3]. Suyanto, "Algoritma Genetika dalam Matlab", ANDI : 2005
- [4]. Kusumadewi, S., Purnomo, H., 2005: "Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-Teknik Heuristik", Graha Ilmu: 2005
- [5]. Grainger, J.J., Stevenson, W. D., "Power System Analysis", McGraw-Hill: 1994.
- [6]. Saadat, Hadi, "Power System Analysis", McGraw-Hill: 1999.
- [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]. Akagi, H., Nabae, A., Atoh, S., "Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-22, No.3, May/June 1986.
- [10]. Ogata, K., "Teknik Kontrol Automatik Jilid 1", Erlangga: 1995