

# Pemodelan dan Simulasi Shunt Active Power Filter (SAPF) Menggunakan Metode PI-GWO pada Sistem Tenaga Listrik IEEE 14 Bus

Achmad Rifa'i<sup>1</sup>, Happy Aprillia<sup>2</sup>, Yun Tonce Kusuma Priyanto<sup>3</sup>

Department of Technology Industrial and Process, Electrical Engineering, Kalimantan Institute of Technology, Balikpapan Balikpapan<sup>1,2,3</sup>

04171003@student.itk.ac.id<sup>1</sup>, happy.aprillia@lecturer.itk.ac.id<sup>2</sup>, yuntonce@lecturer.itk.ac.id<sup>3</sup>

---

## Article Info

### Article history:

Submitted March 2022

Revised November 2022

Accepted December 2022

Published December 2022

---

### Keyword:

Harmonics,  
SAPF,  
GWO

---

## ABSTRACT

Current technological developments generally use sophisticated equipment which is categorized as a non-linear load. The massive use of non-linear loads causes side effects on the quality of electric power. Electric power systems that are connected to non-linear loads will experience distortion in current and voltage by harmonics due to the engineering of voltage waveforms due to the installation of many converters operating at frequencies that do not match the utility frequency of 50 or 60 Hz. Taking into account the great benefits for humans, the use of non-linear loads cannot be reduced but can be applied by keeping non-linear loads operating with good quality electric power. Therefore, harmonic filter equipment is needed to reduce harmonics. Passive filters and active filters can be used where active filters have many advantages compared to passive filters because they can adjust to varying working frequencies. To obtain more optimal harmonic reduction results, an active filter Shunt Active Power Filter (SAPF) using a PI controller tuned with the Gray Wolf Optimizer (GWO) optimization method is designed. The SAPF PI-PSO method is used as a comparison. The SAPF experiment on the IEEE 14 bus test system, PSO obtained better ITAE error results and computation time than GWO. The ITAE value and PSO computing time were 108.5821 second and 4255.097192 second, respectively, while GWO obtained 109.0172 second and 4379.461 second. However, the GWO-tuned SAPF is more able to reduce the THD of the 12 bus current on the IEEE 14 bus system by 13%.

---

## Kata Kunci:

Harmonisa,  
SAPF,  
GWO

---

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi saat ini umumnya menggunakan peralatan canggih yang dikategorikan sebagai beban non linier. Masifnya penggunaan beban non linier menyebabkan efek samping pada kualitas daya listrik. Sistem tenaga listrik yang terkoneksi dengan beban non linier akan mengalami distorsi pada arus dan tegangan oleh harmonisa akibat terjadinya rekayasa bentuk gelombang tegangan akibat pemasangan converter yang banyak beroperasi pada frekuensi yang tidak sesuai dengan frekuensi utilitas 50 atau 60 Hz. Dengan mempertimbangkan manfaatnya yang begitu besar terhadap manusia, maka penggunaan beban non linier tidak dapat direduksi namun dapat diterapkan dengan menjaga beban nonlinier tetap beroperasi dengan kualitas daya listrik yang baik. Oleh karena itu, peralatan filter harmonisa diperlukan untuk mereduksi harmonisa. Filter pasif dan

filter aktif dapat digunakan dimana filter aktif memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan filter pasif karena dapat menyesuaikan frekuensi kerja yang bervariasi. Untuk mendapatkan hasil reduksi harmonisa yang lebih optimal maka filter aktif *Shunt Active Power Filter* (SAPF) dengan menggunakan pengendali PI yang ditala dengan metode optimasi *Grey Wolf Optimizer* (GWO) dirancang. Metode SAPF PI-PSO digunakan sebagai pembanding. Percobaan SAPF pada sistem uji IEEE 14 bus, PSO memperoleh hasil error ITAE dan waktu komputasi yang lebih baik dibandingkan GWO. Nilai ITAE dan waktu komputasi PSO secara berturut-turut adalah 108,5821 detik dan 4255,097192 detik, sementara itu GWO memperoleh 109,0172 detik dan 4379,461 detik Namun, SAPF yang ditala dengan GWO lebih mampu menurunkan THD arus bus 12 pada sistem 14 bus IEEE sebesar 13%.

---

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu indikator yang mempengaruhi kualitas sistem tenaga listrik adalah harmonisa (Rani, et al., 2021).. Harmonisa dibentuk oleh peralatan yang bersifat non linier dimana nilai impedansinya tidak konstan. Munculnya harmonisa berdampak pada penurunan factor daya pada sistem tenaga listrik (Sharma & Sharma, 2020)(Standar PT. PLN (Persero), 2012), interferensi pada saluran komunikasi (Imam et al., 2020), pemanasan pada transformator dan rusaknya peralatan pengaman (Kumar & Gupta, 2016). Harmonisa dihasilkan di berbagai sektor, baik pada sektor komersil, industri, maupun rumah tangga yang telah menggunakan perangkat non linier secara massif (Sankaran, 2002). Menurut manfaatnya, penggunaan beban non linier tidak dapat dikurangi, oleh karena itu, dibutuhkan perangkat untuk mengurangi kerugian yang dihasilkan harmonisa. Harmonisa dapat diatasi dengan penggunaan filter pasif maupun filter aktif (Vasuniya & Sahajwani, 2020). Filter pasif memiliki beberapa kekurangan, yaitu hanya mampu menganulir satu orde harmonisa, kurang fleksibel terhadap perubahan beban, serta menghasilkan efek samping berupa resonansi (Imam et al., 2020). Untuk mengatasi berbagai variasi frekuensi, maka penggunaan filter aktif berupa *Shunt Active Power Filter* (SAPF) merupakan alternatif untuk mengatasi berbagai variasi orde harmonisa (Srivastava & Das, 2018) (Zafari, et al., 2021) (Rath & Srungavarapu, 2021) (Debdouche, et al. 2022).

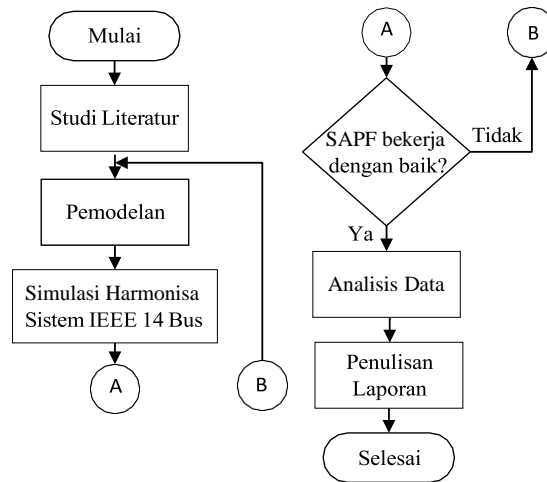
SAPF menggunakan *voltage source inverter* (VSI) untuk membangkitkan arus referensi harmonisa. disamping itu terdapat kapasitor *DC-link* sebagai penyimpanan energi (Imam et al., 2020) (Debdouche, et al. 2022). Saat SAPF beroperasi, tegangan *DC-link* akan menyesuaikan ketika terdapat perubahan kondisi beban yang tidak diinginkan. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan metode pengendalian untuk menjaga nilai tegangan tetap konstan melalui penyesuaian nilai *gain*. Besaran nilai *gain* yang ditetapkan belum tentu cocok untuk semua kondisi beban mengingat kondisi SAPF yang selalu menyesuaikan dengan kondisi beberapa frekuensi harmonisa. Untuk mendapatkan nilai *gain* yang ideal sehingga kompensasi arus harmonisa berjalan secara efektif, diperlukan metode pengendalian menggunakan optimasi (Srivastava & Das, 2018).

Pengendali proporsional integral (PI) digunakan untuk menjaga efektivitas kompensasi arus harmonisa dimana tegangan pada kapasitor *DC-link* dijaga agar tetap konstan. Pada *test system* 120 volt 50 Hz, SAPF-PI mampu mereduksi harmonisa yang semula 28,01% menjadi 3,88%. Ketika menggunakan alternatif metode PSO, SAPF berhasil mereduksi harmonisa dari 31,66% ke 4,56%. Penelitian terbaru menggunakan metode PI-WOA berhasil mereduksi harmonisa dari 28,25% menjadi 3,07% (Srivastava & Das, 2018). Dengan adanya metode seperti PI, PSO, dan WOA, terdapat alternatif metode lain yaitu GWO (Rao, et al., 2022)(Mishra, et al., 2020) yang merupakan metode optimasi metaheuristik yang terinspirasi dari serigala abu-abu (*grey wolf*) yang memiliki kemampuan untuk eksploitasi, eksplorasi, dan *local optima* bila dibandingkan dengan algoritma yang sudah ada seperti PSO (Cao, et al., 2019), GSA, DE, EP dan ES (Mirjalili et al., 2014).

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian memiliki beberapa tahapan dalam pelaksanaannya yang dapat dijelaskan melalui Gambar 1

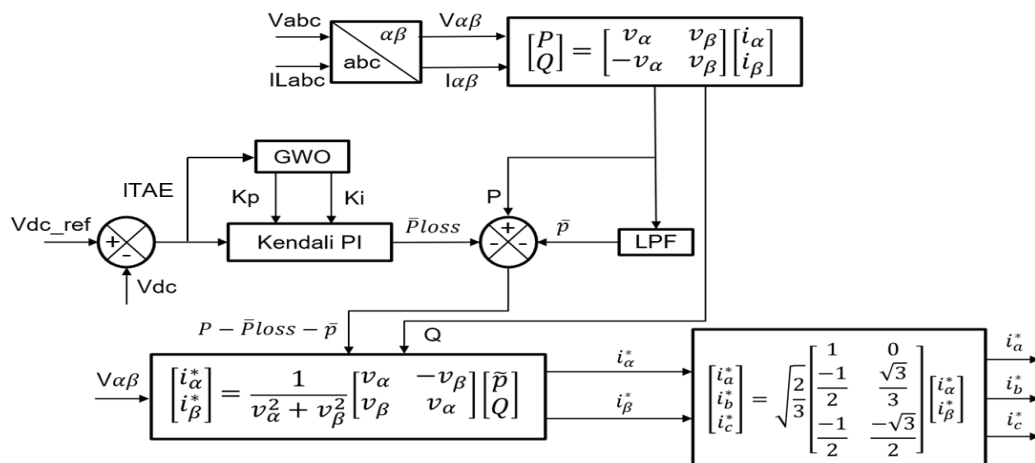


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sumber: Penulis (2021)

### 2.2. Ekstraksi Arus Harmonisa

Ekstraksi harmonisa pada penelitian ini adalah salah satu proses yang sangat penting untuk mengompensasi arus harmonisa. Koordinat tegangan bus dan arus beban akan ditransformasikan menggunakan Transformasi Clarke)(Chamat, et al., 2014).. Yang kemudian dilanjutkan dengan perhitungan daya aktif (p) dan daya reaktif (q). Akibat keberadaan beban non linier, daya aktif dan reaktif sesaat terbagi menjadi bagian AC dan DC. Bagian DC merepresentasikan komponen arus dan tegangan fundamental. Sedangkan bagian AC berkaitan dengan pertukaran energi yang terjadi antara sumber dengan beban. Bagian DC dari daya aktif terlebih dahulu diekstraksi menggunakan *low-pass filter* berorde tinggi. Kemudian, dilakukan perhitungan arus kompensasi harmonisa yang akan diberikan kepada sistem akibat adanya beban non linier. Setelah arus kompensasi harmonisa didapatkan, maka selanjutnya arus berkoordinat  $\alpha - \beta$  ditransformasikan kembali ke koordinat a-b-c. Tahap selanjutnya adalah membangkitkan sinyal penyaklaran VSI dengan metode *hysteresis current control* (HCC)(Hashim, et al., 2016). Setiap sinyal referensi dibandingkan dengan sinyal aktualnya dengan nilai *error* dari kedua sinyal tersebut untuk menjadi logika pembangkitan sinyal untuk VSI.



Gambar 2. Diagram Blok Ekstraksi Harmonisa

Sumber: Penulis (2021)

### 2.3. Grey Wolf Optimizer

*Grey wolf optimizer* (GWO) merupakan metode optimasi metaheuristik yang terinspirasi dari serigala abu-abu atau *grey wolf*. Pada penelitian ini GWO digunakan sebagai algoritma optimasi untuk menala parameter Kp dan Ki pengendali PI untuk mengompensasi arus harmonisa yang terjadi pada bus 12 sistem 14 bus IEEE)(Sahadep, et al., 2015).. Tabel parameter dan diagram alir algoritma GWO berturut-turut ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 3. Adapun perhitungan tahapan pencarian solusi terbaik dengan GWO melalui penetapan posisi mangsa  $X_p(t)$ , posisi vector serigala  $X$ , waktu, dan koefisien vektor C dan A saat proses mengitari kawanan serigala. Selanjutnya  $r_1, r_2$  adalah vector random [0,1], dan elemen vector A menurun secara linear dari 2 menuju 0. Kemudian, tahapan pencarian memasuki proses perburuan. Proses ini menandai lokasi mangsa dari posisi  $\alpha, \beta, \delta$  sebagai lokasi terbaik. adalah sebagai berikut:

$$D = |C \times X_p(t) - X(t)| \quad (1)$$

$$X(t + 1) = X_p(t) - A \times D \quad (2)$$

$$A = 2 \times A \times r_1 - a(t) \quad (3)$$

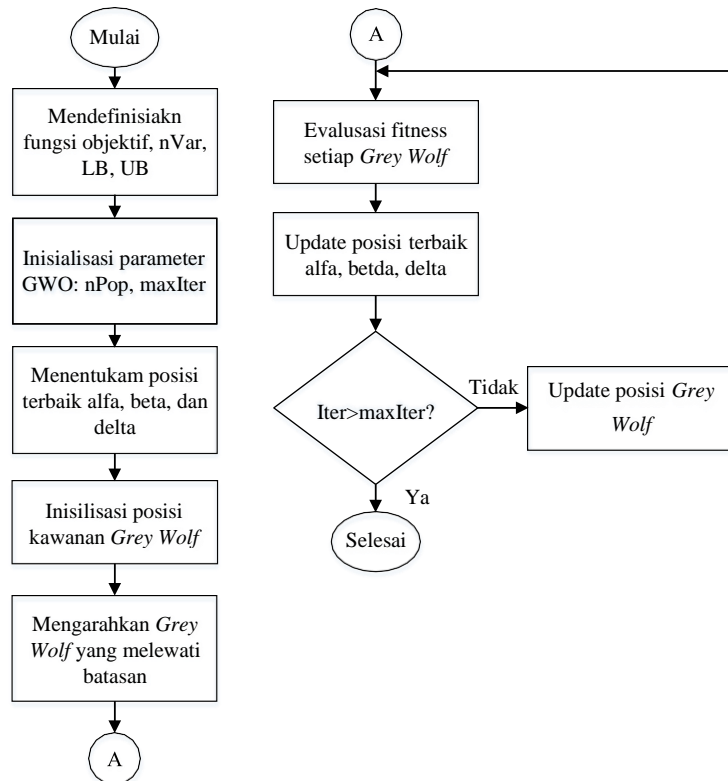
$$C = 2 \times r_2 \quad (4)$$

$$D = |C_n \times X_a - X(t)|, n = 1,2,3 \quad (5)$$

$$X(t + 1) = \sum X_{in}(t)/3 \quad (6)$$

Tabel 1. Parameter Algoritma GWO

Parameter	Sistem 2 Bus	Bus 12 pada Sistem 14 Bus IEEE
Jumlah Populasi	20	20
Jumlah Iterasi	10	25
UB	[100 200]	[100 200]
LB	[0,1 0,1]	[0,1 0,1]



Gambar 3. Diagram Alir GWO

Sumber: Penulis (2021)

#### 2.4. Penentuan Komponen SAPF

Penentuan komponen SAPF didasari oleh parameter yang didapatkan dari pengujian harmonisa pada sistem tanpa penambahan SAPF. Pengujian dilakukan pada dua buah sistem uji. Sistem uji yang pertama adalah sistem uji sederhana 2-bus. Sementara itu, sistem uji kedua adalah sistem uji 14-bus IEEE yang dimodifikasi dengan penambahan beban non linier pada bus 12. PI digunakan sebagai *tuning tool* dimana dalam pengintegrasian dengan algoritma PSO dan GWO, nilai parameter  $K_p$  dan  $K_i$  dari kontroler SAPF-PI ini yang akan dicari oleh algoritma PSO dan GWO. Perhitungan komponendilakukan dengan persamaan (7), (8), dan (9) dan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 2.

$$2\sqrt{2} V_S < V_{DC} \leq 4\sqrt{2} V_S \quad (7)$$

$$C_f = \frac{0,1 \times P \times T}{\frac{1}{2} \times V_{DC}^2} \quad (8)$$

$$L_f = \frac{\frac{V_{DC}}{\sqrt{2}} - \frac{V_{line}}{\sqrt{2}}}{\sum_3^{19} n \times \omega \times I_{nh}} \quad (9)$$

dimana:

$V_{DC}$  = tegangan *DC-link* kapasitor (V)

$V_C$  = tegangan AC keluaran inverter (V)

$V_S$  = tegangan fasa di PCC (V)

$C_f$  = kapasitansi kapasitor *DC-link* (F)

$P$  = daya kompensasi (W)

$V_{line}$  = tegangan saluran (V)

$T$  = periode 1 siklus tegangan AC (s)

$I_{nh}$  = rms arus beban (A)

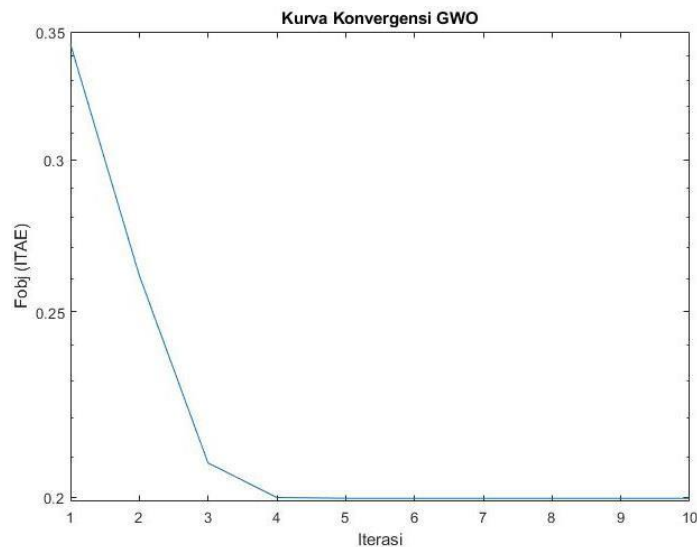
Tabel 2. Parameter Komponen SAPF

Parameter	Sistem 2 Bus	Bus 12 pada Sistem 14 Bus IEEE
$V_{DC}$	1100 V	8500V
$C_f$	1,5 mF	37 uF
$L_f$	1 mH	26 mH

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Sistem 2 Bus

Setelah dilakukan simulasi penalaan oleh GWO terhadap SAPF-PI sebanyak 10 iterasi maka diperoleh kurva konvergensi seperti pada Gambar 4. Berdasarkan kurva tersebut bahwa algoritma GWO mampu memperoleh kondisi konvergen setelah iterasi ke-5. Sementara itu, algoritma PSO digunakan sebagai pembandingan yang datanya ditampilkan pada Tabel 3.

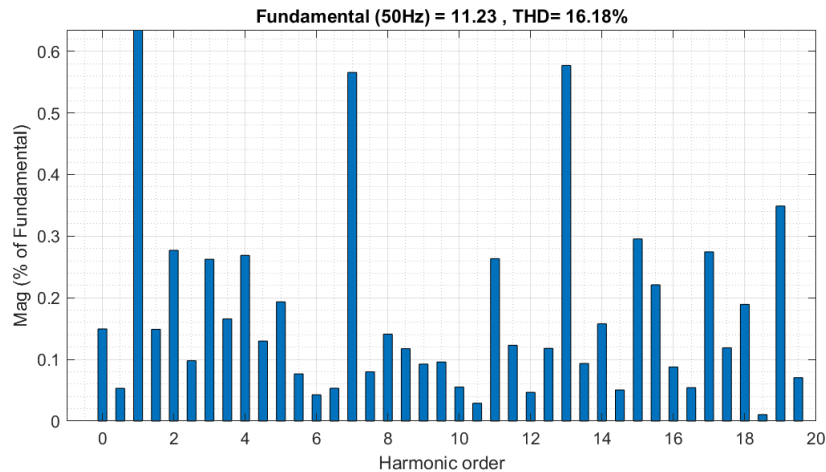


Gambar 4. Kurva Konvergensi SAPF PI-GWO untuk Sistem 2 Bus

Tabel 3. Parameter Hasil Simulasi SAPF-PI yang Ditala dengan GWO dan PSO

Parameter	GWO	PSO	Error (%)
Kp	99,9557	100	0,04432
Ki	165,5562	166,2489	0,41841
ITAE	0,1998	0,1982	5,67
Waktu Komputasi	1926,221812	2035,447	0,8

Berdasarkan Tabel 3 terlihat bahwa algoritma PSO memperoleh nilai ITAE yang lebih kecil dibandingkan GWO namun dengan waktu komputasi yang lebih lama. Dengan parameter tersebut, SAPF PI-GWO mampu menurunkan THD arus sistem menjadi 16,18%. Sejalan dengan nilai ITAE yang diperoleh, SAPF PI-PSO mampu memperoleh nilai THD arus yang lebih rendah yaitu 15,67%. Nilai THD diperoleh melalui analisis FFT yang ditampilkan dalam bentuk spektrum pada Gambar 5.



Gambar 5. THD Arus Sistem setelah Penambahan SAPF PI-GWO

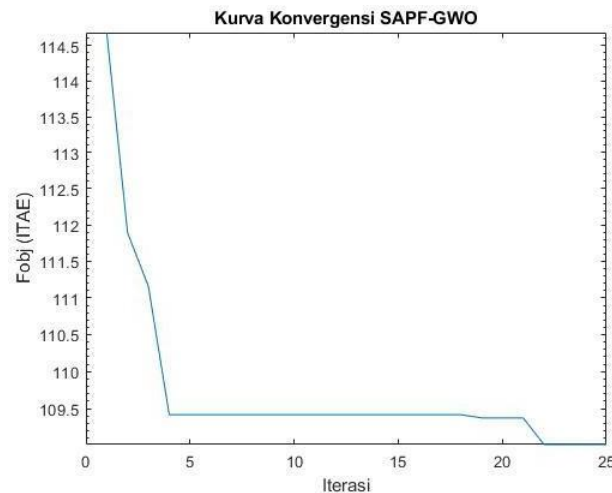
Akibat penambahan beban non linier pada sistem 2 bus ini maka dihasilkan harmonisa ganjil untuk beberapa orde. Sebelum dilakukan pendambahan SAPF pada sistem, harmonisa tertinggi terdapat pada orde ke-5 yaitu 22,61%. Jika dibandingkan dengan standar arus harmonisa yang telah diizinkan IEEE 519 tahun 2014 maka harmonisa yang melebihi standar adalah pada orde ke-5 dan 11. Namun, setelah dilakukan penambahan SAPF-PI baik yang ditala dengan GWO maupun PSO, semua orde harmonisa telah berada di bawah standar yang ditetapkan. Dalam hal ini kualitas daya sistem telah mampu diperbaiki. Tabel perbandingan nilai harmonisa ganjil ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Harmonisa Ganjil Sistem 2 Bus

Orde Harmonisa	Kondisi Awal tanpa SAPF	GWO	PSO	Standar IEEE 519 2014
Orde 3	0,01%	0,26%	0,07%	15%
Orde 5	22,61%	0,19%	0,22%	15%
Orde 7	11,31%	0,57%	0,40%	15%
Orde 9	0,01%	0,09%	0,16%	15%
Orde 11	9,04%	0,26%	0,29%	7%
Orde 13	6,46%	0,58%	0,17%	7%
Orde 15	0,01%	0,30%	0,13%	7%
Orde 17	5,65%	0,27%	0,06%	6%
Orde 19	4,52%	0,35%	0,24%	6%
THD Arus	30,74%	16,18%	15,67%	-

### 3.2. Sistem 14 Bus IEEE

Setelah pengujian dilakukan pada sistem 2 bus, maka selanjutnya adalah pengujian pada sistem uji 14 bus IEEE. Terdapat sedikit modifikasi yaitu penambahan beban non linier *universal bridge* pada bus 12 dari sistem. Hal ini bertujuan untuk mengadakan efek harmonisa pada sistem 14 bus IEEE. Gambar 6 adalah kurva konvergensi dari SAPF PI-GWO yang ditambahkan pada bus 12. Pada pengujian ini algoritma GWO mencapai konvergen setelah melewati iterasi ke-20. Data perbandingan SAPF-PI yang ditala dengan GWO dan PSO ditampilkan pada Tabel 5.

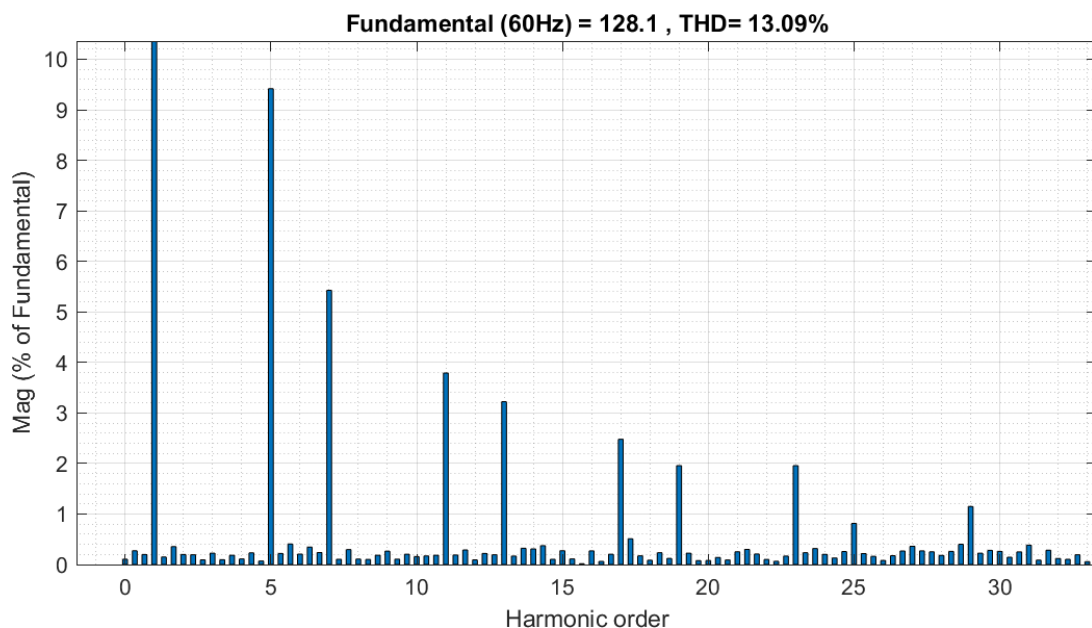


Gambar 6. Kurva Konvergensi SAPF PI-GWO untuk Bus 12 pada Sistem 14

Bus IEEE Tabel 5. Parameter Hasil Simulasi SAPF

Parameter	GWO	PSO	Error (%)
Kp	6,6781	6,621	0,8550
Ki	200	199,7774	0,1113
ITAE	109,0172	108,5821	3,3991
Waktu Komputasi (detik)	4379,461	4255,097	2,8397

Pada pengujian kedua ini, PSO sebagai metode pembandingan masih memperoleh nilai ITAE yang lebih kecil disbanding GWO sekaligus dengan waktu komputasi yang lebih cepat. Dengan hasil tersebut SAPF PI-GWO memperoleh nilai THD arus pada bus 12 sebesar 13,09% yang ditampilkan pada Gambar 7. Sementara itu, SAPF PI-PSO yang memperoleh ITAE yang lebih baik justru hanya memperoleh THD 13,11%. Penambahan beban non linier pada bus 12 menyebabkan hampir semua busmerasakan efek harmonisa. Efek harmonisa tertinggi terdapat pada bus 12 yang tepat ditambahkan beban non linier pada bus tersebut. Harmonisa total dari setiap bus disajikan di Tabel 6.



Gambar 7. THD Arus Bus 12 setelah Penambahan SAPF PI-GWO



Tabel 6. Nilai THD Arus setiap Bus Sistem

Parameter	GWO	PSO	Error (%)
Kp	6,6781	6,621	0,8550
Ki	200	199,7774	0,1113
ITAE	109,0172	108,5821	3,3991
Waktu Komputasi (detik)	4379,461	4255,097	2,8397

Bus 12 merupakan bus dengan efek terdistorsi setelah penambahan beban non linier. Jika dilihat secara orde harmonisanya, orde ke-5 pada bus 12 memiliki nilai harmonisa tertinggi yaitu 21,61%. Sementara itu, tidak terdapat harmonisa pada orde ke-3, 9, dan 15. Setelah dilakukan penambahan SAPF-PI baik yang ditala dengan GWO maupun PSO hampir seluruh orde harmonisa dapat direduksi nilainya. Namun, dari beberapa harmonisa ganjil tersebut hanya harmonisa orde ke-3, 9, dan 15 yang nilainya masih memenuhi standar IEEE 519 tahun 2014. Untuk harmonisa di orde yang lain nilainya belum mampu diturunkan sesuai standar yang digunakan. Oleh karena itu, sebaiknya dilakukan percobaan dengan kombinasi nilai UB dan LB untuk memperluas *search space* algoritma optimasi untuk memperoleh parameter terbaiknya.

Tabel 7. Harmonisa Orde Ganjil pada Bus 12

Orde	Bus 12			Standar IEEE 519 2014
	Kondisi Awal	GWO	PSO	
3	0%	0,11%	0,08%	4%
5	21,61%	9,36%	9,61%	4%
7	10,61%	5,33%	5,40%	4%
9	0%	0,12%	0,08%	4%
11	7,29%	3,65%	3,88%	2%
13	5,07%	3,16%	2,91%	2%
15	0%	0,20%	0,16%	2%
17	3,33%	2,20%	2,58%	1,5%
19	2,59%	1,98%	1,85%	1,5%

#### 4. PENUTUP

Setelah dilakukan penelitian maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. *Total harmonic distortion* arus sistem uji 2 bus adalah 30,75% adalah kondisi sebelum ditambahkan dengan SAPF.
2. Nilai kapasitor dan induktor yang dibutuhkan SAPF untuk sistem uji 2 bus secara berturut-turut adalah 1,5 mF, 1100 V dan 1 mH.
3. Dengan nilai error ITAE 0,1982 dan waktu komputasi 2035,447 s, PSO mampu mereduksi THD arus lebih optimal dibandingkan GWO sebesar 15,07%, sedangkan GWO dengan nilai ITAE 0,1998 dan waktu komputasi 1926,221812 s hanya mampu menurunkan THD arus sebesar 14,56%.
4. THD arus bus 12 pada sistem 14 bus IEEE 26,09% sebelum ditambahkan dengan SAPF.
5. Nilai kapasitor dan induktor yang dibutuhkan SAPF untuk sistem uji 14 bus IEEE secara berturut-turut adalah 37 uF, 8500 V dan 26 mH.
6. Dengan nilai error ITAE 109,0172 dan waktu komputasi 4379,461 s, GWO mampu mereduksi THD arus pada bus 12 lebih optimal dibandingkan PSO sebesar 13%, sedangkan PSO dengan nilai ITAE 108,5821 dan waktu komputasi 4255,097 s hanya mampu menurunkan THD arus sebesar 12,98%.

### Acknowledgments

Penelitian ini didukung oleh Institut Teknologi Kalimantan, Karang Joang, Balikpapan. Terimakasih kepada Ibu Happy Aprillia, S.ST., M.T., M.Eng., Ph.D. dan Bapak Yun Tonce Kusuma Priyanto, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing utama dan dosen pembimbing pendamping.

### REFERENSI

- [1] Imam, A. A., Sreerama Kumar, R., & Al-Turki, Y. A. (2020). Modeling and simulation of a pi-controlled shunt active power filter for power quality enhancement based on p-q theory. *Electronics (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/electronics9040637>.
- [2] Kumar, S., & Gupta, A. (2016). *Power Quality improvement with Shunt Active Power filter using p-q control technique*. 2937–2941.
- [3] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>.
- [4] Srivastava, A., & Das, D. K. (2018). A Whale Optimization Algorithm Based Shunt Active Power Filter for Power Quality Improvement. *International Journal of Electrical Energy*, 6(1), 7–12. <https://doi.org/10.18178/ijoe.6.1.7-12>.
- [5] Sankaran, C. (2002). *Power Quality*. CRC Press LLC, New York.
- [6] Standar PT. PLN (Persero). (2012). *SPLN D5.004-1: 2012 Tentang Power Quality*. 563, 6, 6–7, 14, 16, 17.
- [7] Vasuniya, M., & Sahajwani, M. (2020). Design and Implementation of Active Power Filter for Harmonics Elimination using Intelligent Control Controller. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(5), 5161–5164. <https://doi.org/10.35940/ijrte.e6416.018520>.
- [8] Cao W., Liu K., Wu M., Xu S., and Zhao J., "An Improved Current Control Strategy Based on Particle Swarm Optimization and Steady-State Error Correction for SAPF," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 55, no. 4, pp. 4268-4274, July-Aug. 2019, doi: 10.1109/TIA.2019.2908609.
- [9] Rao B. C., Sahu P. and Jhapt R., "Comparative analysis of SRF based Shunt Active Filter using Grey Wolf and Eagle Perching Optimization," 2022 Second International Conference on Advances in Electrical, Computing, Communication and Sustainable Technologies (ICAECT), Bhilai, India, 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICAECT54875.2022.9807876.3.
- [10] Mishra A. K., Das S. R., Ray P. K., Mallick R. K., Mohanty A. and Mishra D. K., "PSO-GWO Optimized Fractional Order PID Based Hybrid Shunt Active Power Filter for Power Quality Improvements," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 74497-74512, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988611.5.
- [11] A. Zafari, M. Mehra, M. Sharifzadeh, S. Bacha, K. Al-Haddad and N. Hosseinzadeh, "A Novel Reference Current Detection Algorithm (RCDA) in 9-Level PEC Converter-based Shunt Active Power Filter," 2021 22nd IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Valencia, Spain, 2021, pp. 272-277, doi: 10.1109/ICIT46573.2021.9453502.7.
- [12] A. Rath and G. Srungavarapu, "New Model Predictive & Algorithm DPC based Shunt Active Power Filters (SAPFs)," 2021 1st International Conference on Power Electronics and Energy (ICPEE), Bhubaneswar, India, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICPEE50452.2021.9358550.9.
- [13] K. Sharma and V. K. Sharma, "Single Phase Modeling and Harmonics Compensation of Standalone PV+SOFC System with SAPF," 2020 International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems (ICESC), Coimbatore, India, 2020, pp. 979-983, doi: 10.1109/ICESC48915.2020.9155669.11.
- [14] N. Debouché, A. Chebabhi, S. Ouchen and L. Zarour, "Direct Power Control of three- Level SAPF with Space Vector Modulation for Power Quality improvement," 2022 19th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), Sétif, Algeria, 2022, pp. 103-108, doi: 10.1109/SSD54932.2022.9955653.3.

- 
- [15] H. F. Hashim, R. Omar and M. Rasheed, "Design and analysis of a three phase series active power filter (SAPF) based on hysteresis controller," 4th IET Clean Energy and Technology Conference (CEAT 2016), Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1049/cp.2016.1310.5.
- [16] S. Sahadev and Manju B, "Performance analysis of SRF based SAPF with PI and FUZZY controllers," 2015 International Conference on Control Communication & Computing India (ICCC), Trivandrum, India, 2015, pp. 260-264, doi: 10.1109/ICCC.2015.7432902.7
- [17] N. M. Chamat, V. S. Bhandare, S. P. Diwan and S. Jamadade, "Instantaneous reactive power theory for real time control of three-phase shunt Active Power Filter (SAPF)," 2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014], Nagercoil, India, 2014, pp. 792-796, doi: 10.1109/ICCPCT.2014.7054981.9.
- [18] R. S. Rani, G. P. Reddy and S. S. Prasad, "Performance Analysis of ANFIS based Five-level SAPF for Power Quality Improvement," 2021 IEEE International Women in Engineering (WIE) Conference on Electrical and Computer Engineering (WIECON-ECE), Dhaka, Bangladesh, 2021, pp. 176-179, doi: 10.1109/WIECON-ECE54711.2021.9829709.