

Minimalisasi Losses Jaringan Distribusi Dengan Pemilihan Konfigurasi Susunan Fasa Menggunakan PSO

Muhammad Aris Risnandar*

Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Indonesia.

*Email: aris_elektro@umtas.ac.id

Abstract. *One of the efforts made in reducing power losses in an unbalanced load distribution network is by changing the loading phase arrangement on single phase loads at low voltage networks. But in choosing the phase arrangement configuration has its own complexity because of the selection of an improper configuration, the power losses on the network become larger both in the low voltage network and the medium voltage network. Particle Swarm Optimization (PSO) is one method that is often used in solving optimization problems, where the PSO method is used in selecting configuration phase loading at each load point so that the total power losses on the network can be minimized. Based on the simulation carried out on the IEEE 12 point load network that has been modified, the power losses in the distribution network have decreased by 3.1%. Even though the reduction in power losses is not too significant, this is a cheap solution because it does not require adding components to the network which has an impact on increasing investment costs. In addition, the condition of the load current at the base of the medium voltage network can be said to be more balanced than before the optimization process.*

Keywords. *Unbalanced Load, Distribution Network, Power Losses, Phase Arrangement, Particle Swarm Optimization (PSO)*

Abstrak. Salah satu upaya yang dilakukan dalam mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dengan beban tidak seimbang yaitu dengan merubah susunan fasa pembebanan pada beban-beban satu fasa di jaringan tegangan rendah. Namun dalam memilih konfigurasi susunan fasa memiliki kerumitan tersendiri karena pemilihan konfigurasi yang tidak tepat, rugi-rugi daya pada jaringan menjadi lebih besar baik pada jaringan tegangan rendah maupun jaringan tegangan menengah. *Particle Swarm Optimization* (PSO) merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam pemecahan masalah optimasi, dimana metode PSO ini digunakan dalam pemilihan konfigurasi susunan fasa pembebanan pada masing-masing titik beban sehingga total rugi-rugi daya pada jaringan dapat diminimalisir. Berdasarkan simulasi yang dilakukan pada jaringan IEEE 12 titik beban yang telah dimodifikasi, maka rugi-rugi daya dalam jaringan distribusi mengalami penurunan sebesar 3,1%. Meskipun penurunan rugi-rugi daya tidak terlalu signifikan, hal ini merupakan suatu solusi yang murah karena tidak memerlukan penambahan komponen pada jaringan yang berdampak pada peningkatan biaya investasi. Selain itu kondisi arus beban pada pangkal jaringan tegangan menengah dapat dikatakan lebih seimbang dibanding sebelum proses optimasi.

Kata Kunci. *Beban Tidak Seimbang, Jaringan Distribusi, Rugi-Rugi Daya, Susunan Fasa, Particle Swarm Optimization (PSO)*

1. Pendahuluan

Rugi-rugi daya merupakan suatu permasalahan yang tidak dapat dihindari dalam sebuah operasi jaringan distribusi tenaga listrik. Hal tersebut diakibatkan oleh adanya resistansi dari penghantar itu sendiri [1]. Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi meliputi rugi-rugi pada jaringan tegangan menengah, jaringan tegangan rendah, serta trafo-trafo distribusi. Secara ideal, beban-beban satu fasa pada jaringan tegangan rendah haruslah seimbang sehingga tidak menimbulkan arus pada penghantar netral. Namun kondisi tersebut merupakan suatu hal yang dapat dikatakan tidak mungkin terjadi dalam sebuah operasi jaringan

distribusi tenaga listrik. Dengan adanya arus pada penghantar netral tersebut, maka menimbulkan rugi-rugi daya tambahan pada penghantar netral tersebut [2]. Sehingga total rugi-rugi daya pada jaringan tersebut menjadi lebih besar dibandingkan dengan kondisi beban seimbang.

Kondisi seperti ini berpengaruh pada kualitas daya yang sampai ke titik-titik beban karena kondisi tersebut memicu ketidakseimbangan tegangan dan drop tegangan yang berbeda pada setiap fasa, dan memungkinkan munculnya kelebihan beban pada salah satu penghantarnya [3]. Solusi yang dilakukan dalam mengatasi masalah tersebut diantaranya menyeimbangkan beban-beban satu fasa pada jaringan, penggantian penghantar saluran, merubah struktur jaringan dan mengubah letak trafo distribusi [4].

Menyeimbangkan beban-beban fasa pada jaringan dapat dilakukan dengan cara mengubah susunan fasa pembebanan sehingga diharapkan dapat menekan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi. Hal tersebut dipilih dengan alasan tidak perlu adanya penggantian atau penambahan komponen jaringan sehingga solusi tersebut dinilai efektif dalam mengurangi *rugi-rugi daya* akibat beban tidak seimbang. Proses perubahan susunan fasa tersebut biasanya dilakukan selama periode pemeliharaan atau pemulihan [5]. Dengan banyaknya kemungkinan susunan fasa, yaitu 6^N kemungkinan pada jaringan dengan N titik beban maka kondisi ini menimbulkan masalah baru.

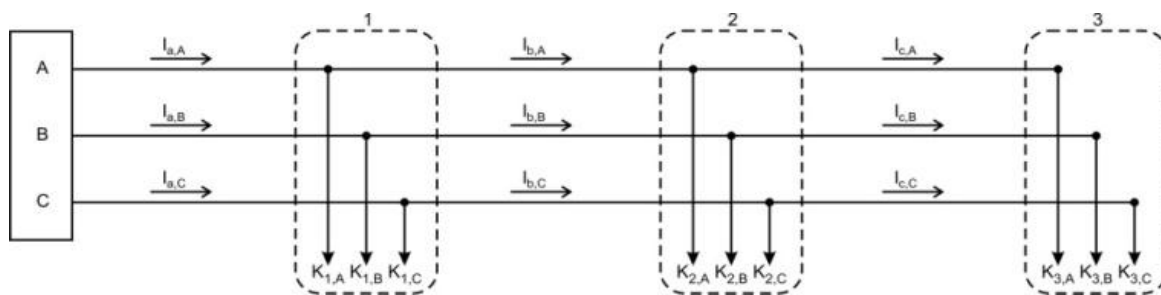
Perubahan susunan fasa pada salah satu titik beban berpengaruh pada kondisi jaringan secara keseluruhan, sehingga diperlukan metode yang tepat dalam pemilihan susunan fasa pada seluruh titik beban [6]. Salah satu metode optimasi yang sering digunakan dalam pemilihan susunan fasa adalah *particle swarm optimization* (PSO) seperti Tuppadung dkk. yang mengaplikasikan PSO tersebut dalam menyeimbangkan beban trafo satu fasa yang terhubung pada sistem tiga fasa [3]. Hal yang sama juga dilakukan oleh Yuh- Sheng Su dkk. dalam mengurangi biaya *losses* akibat penggunaan trafo OYOD [7].

Adapun kelebihan dari algoritma PSO yaitu mempunyai konsep yang sederhana, mudah diimplementasikan, dan efisien dalam perhitungan jika dibandingkan dengan algoritma matematika dan teknik optimasi lainnya [8]. Namun dalam pengoperasian PSO pun diperlukan pemilihan parameter PSO yang tepat agar pencarian solusi menjadi lebih efektif dan efisien [9], [10].

2. Rekonfigurasi Susunan Fasa

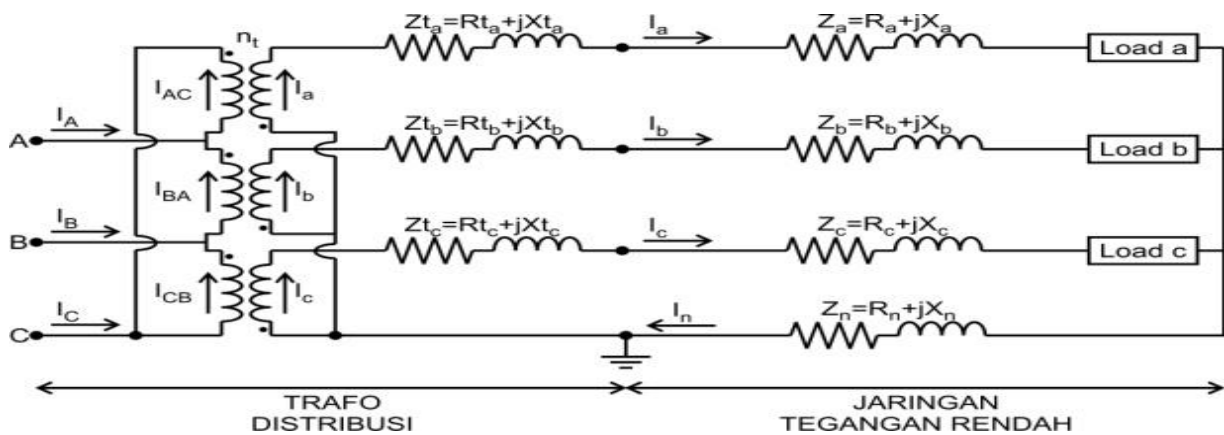
2.1 Susunan Fasa Pembebanan

Solusi yang paling sederhana dalam menyeimbangkan beban yaitu dengan mengubah susunan fasa pembebanan pada masing-masing titik beban. Berdasarkan **Gambar 1**, maka terdapat kecenderungan adanya arus beban yang lebih besar pada salah satu penghantar fasa sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya yang lebih besar pada jaringan tersebut.



Gambar 1 Model Jaringan 3 Fasa dengan 3 Titik Beban [9]

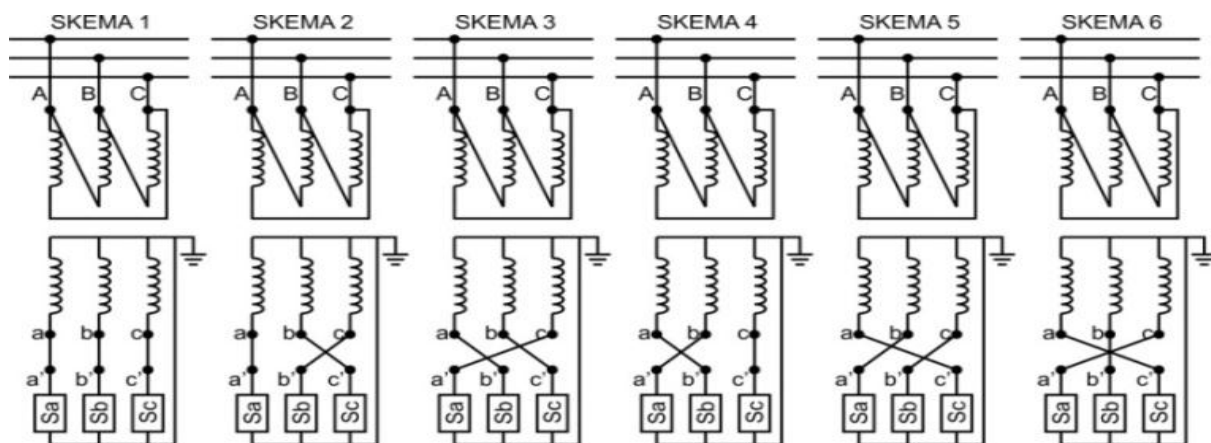
Arus beban masing-masing fasa pada masing-masing cabang (I_j, ϕ) dipengaruhi oleh beban masing-masing fasa pada masing-masing node (K_i, ϕ). Dimana representasi masing-masing titik beban ditunjukkan **Gambar 2**.



Gambar 2 Model Titik Beban Jaringan Distribusi [9]

Arus beban masing-masing fasa pada sisi primer trafo (I_ϕ) dipengaruhi oleh besarnya beban masing-masing fasa (Load ω). Dengan adanya ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa tersebut mengakibatkan munculnya arus netral (I_n) pada penghantar netral di sisi sekunder trafo.

Berdasarkan uraian tersebut, maka terdapat enam kemungkinan susunan fasa pada masing-masing titik beban **Gambar 3**. Dengan adanya N titik beban dalam jaringan tersebut, maka diperoleh 6^N kemungkinan kombinasi susunan fasa dalam sebuah sistem distribusi [6]. Salah satu kombinasi susunan fasa merupakan solusi yang memberikan total rugi-rugi daya minimum. Pemilihan kombinasi susunan fasa terbaik dalam sistem tersebut hampir tidak mungkin dilakukan dengan hanya melakukan percobaan-percobaan secara manual.



Gambar 3 Skema Susunan Fasa pada Masing-Masing Node [9]

Perubahan susunan fasa dilakukan pada titik sambung sisi sekunder trafo dengan penghantar tegangan rendah, dimana sebagai contoh fasa b sisi sekunder trafo disambungkan dengan fasa c penghantar tegangan rendah dan fasa c sisi sekunder trafo disambungkan dengan fasa b penghantar tegangan rendah (skema 2).

2.2 Formulasi Matematis

2.2.1 *Rugi-Rugi Daya Jaringan Tegangan Rendah (JTR)*. Rugi-rugi daya pada jaringan tegangan rendah (JTR) [9] dapat ditulis :

$$P_{lossJTR(i)} = \sum_{\omega=a}^c |I_{i,\omega}|^2 R_{i,\omega} + |I_{i,n}|^2 R_{i,n}. \quad (1)$$

Dimana $|I_{i,\omega}|$ adalah magnitudo arus masing-masing fasa JTR pada node i , $R_{i,\omega}$ adalah tahanan penghantar masing-masing fasa JTR pada node i , $|I_{i,n}|$ adalah magnitudo arus pada penghantar netral JTR di node i , dan $R_{i,n}$ adalah tahanan penghantar netral JTR di node i .

Arus pada penghantar netral disebabkan oleh adanya beban tidak seimbang, dimana arus pada penghantar netral dapat ditulis :

$$I_{i,n} = \sum_{\omega=a}^c I_{i,\omega} \cdot \quad (2)$$

Dimana $I_{i,\omega}$ adalah arus pada masing-masing penghantar JTR.

2.2.2 *Rugi-Rugi Daya Trafo Distribusi*. Perbedaan arus beban pada JTR mempengaruhi rugi-rugi daya pada trafo distribusi. Rugi-rugi daya pada trafo distribusi dapat ditulis :

$$P_{lossTrafo(i)} = |I_{i,\omega}|^2 R_{t,i,\omega} \quad (3)$$

Dimana $R_{t,i,\omega}$ adalah tahanan trafo masing-masing fasa dilihat dari sisi sekunder di node i .

2.2.3 *Rugi-Rugi Daya Jaringan Tegangan Menengah (JTM)*. Perbedaan arus beban pada masing-masing fasa JTR, mempengaruhi pula kondisi arus beban pada masing-masing fasa JTM. Sehingga, rugi-rugi daya pada jaringan tegangan menengah (JTM) dapat ditulis :

$$P_{lossJTM(j)} = \sum_{\phi=A}^c |I_{j,\phi}|^2 R_{j,\phi} \cdot \quad (4)$$

Dimana $|I_{j,\phi}|$ adalah magnitudo arus masing-masing penghantar fasa JTM pada cabang j dan $R_{j,\phi}$ adalah tahanan penghantar masing-masing fasa JTM di cabang j .

2.2.4 Fungsi Objektif

Penggunaan daya selalu berubah setiap waktu, sehingga kondisi ini semakin memperumit proses optimasi pemilihan susunan fasa pada masing-masing titik beban. Berangkat dari hal tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk memilih susunan fasa pembebanan pada masing-masing titik beban untuk meminimalkan total rugi-rugi daya pada jaringan distribusi selama periode tertentu. Adapun fungsi objektif dalam penelitian ini dapat ditulis :

$$\min E = \sum_{t=1}^T \sum_{j=a}^L P_{lossJTM(j,t)} + \sum_{i=1}^N P_{lossTrafo(i,t)} + \sum_{i=1}^N P_{lossJTR(i,t)} \cdot \quad (5)$$

Dimana E adalah total rugi-rugi daya jaringan selama 1 periode, t adalah waktu (jam), L adalah jumlah cabang pada jaringan tegangan menengah, dan N adalah jumlah titik beban.

2.3 Pengkodean

Dalam penggunaan metode PSO diperlukan adanya pengkodean susunan fasa pembebanan untuk masing-masing titik beban. Adapun pengkodean susunan fasa pada masing-masing partikel tersebut dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks berikut :

$$x_i = [x_{i1} \quad x_{i2} \quad \cdots \quad x_{iN}] \quad . \quad (6)$$

Dimana $1 \leq x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN} \leq 6$ dan $1, 2, \dots, N$ adalah nomor titik beban. Sehingga bentuk matriks populasi PSO dapat direpresentasikan sebagai berikut :

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1N} \\ \vdots & x_{hi} & \vdots \\ x_{H1} & \cdots & x_{HN} \end{bmatrix} . \quad (7)$$

2.4 Aliran Daya

Studi aliran daya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu studi aliran daya dengan metode topologi jaringan radial pada kondisi tidak seimbang [9], dimana :

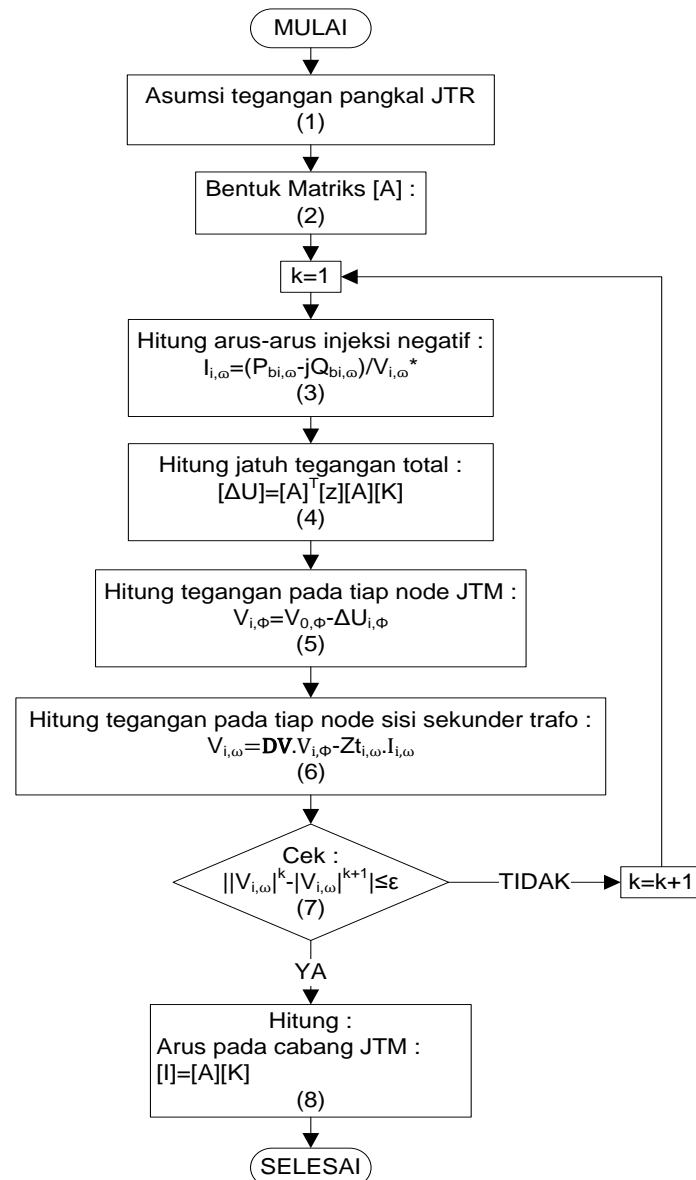
$$V_{i,\phi} = V_{0,\phi} - \Delta U_{i,\phi} . \quad (8)$$

Dimana :

$$\Delta U_{i,\phi} = f(K_{i,\phi}) = f(P_{bi,\omega}, Q_{bi,\omega}, V_{i,\omega}, V_{i,\phi}) . \quad (9)$$

Dimana $V_{i,\phi}$ adalah tegangan masing-masing fasa JTM pada titik beban i , $V_{0,\phi}$ adalah tegangan referensi masing-masing fasa di gardu induk, $\Delta U_{i,\phi}$ adalah total jatuh tegangan masing-masing fasa JTM pada titik beban i , $K_{i,\phi}$ adalah arus injeksi negatif JTM pada titik beban i , $P_{bi,\omega}$ adalah daya aktif JTR pada titik beban i , $Q_{bi,\omega}$ adalah daya reaktif JTR pada titik beban i , dan $V_{i,\omega}$ adalah tegangan masing-masing fasa JTR pada titik beban i .

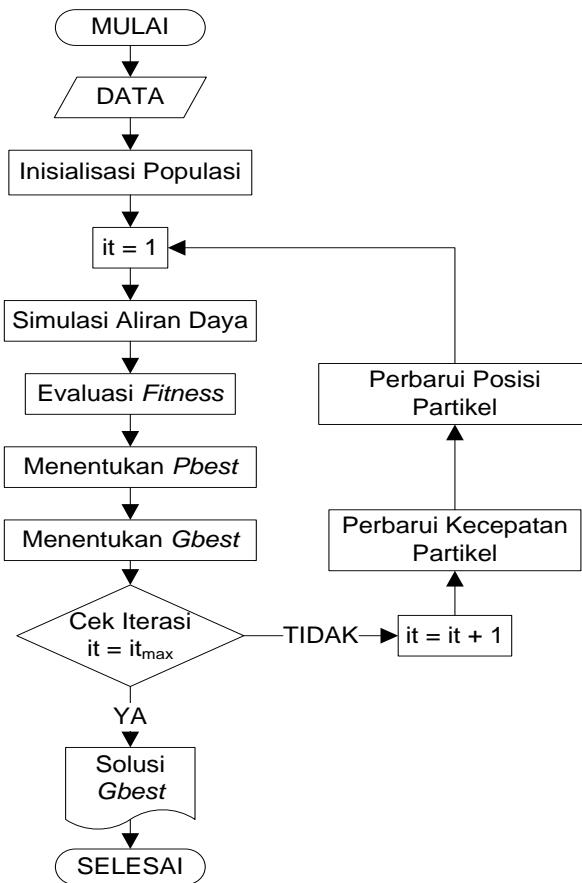
Aliran daya yang digunakan dalam penelitian menggunakan metode *backward-forward sweep* (BFS) yang telah dimodifikasi [9] (lihat **Gambar 4**).



Gambar 4 Diagram Alir Aliran Daya Beban Tidak Seimbang

2.5 Metode Optimasi

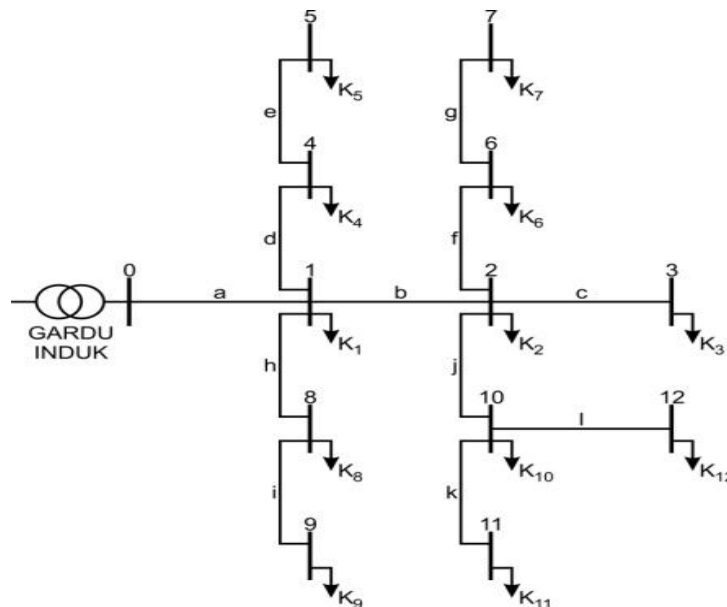
Saat memperbarui posisi, partikel tidak boleh melebihi batasan yang telah ditentukan dimana batasan tersebut merupakan jumlah kemungkinan konfigurasi susunan fasa [10] (**Gambar 5**)



Gambar 5 Diagram Alur Metode Optimasi

2.6 Model Jaringan

Model jaringan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jaringan 12 titik beban radial (**Gambar 6**). Dimana rata-rata panjang saluran JTM sekitar 1,6 km (**Tabel 1**).



Gambar 6 Model Jaringan 12 Titik Beban

Tabel 1 Data Saluran JTM

Saluran	R (Ω/km)	X (Ω/km)	Jarak (km)
a	0.820	0.132	1.2
b	1.540	0.148	2.6
c	1.540	0.148	2.2
d	1.540	0.148	1.4
e	1.540	0.148	1.3
f	1.540	0.148	1.5
g	1.540	0.148	0.8
h	1.540	0.148	2.4
i	1.540	0.148	1.9
j	1.540	0.148	1.8
k	1.540	0.148	0.7
l	1.540	0.148	1.6

Spesifikasi penghantar fasa JTR pada seluruh titik beban yaitu $R=0.0503 \Omega/\text{km}$ dan $X=0.0770 \Omega/\text{km}$. Selanjutnya penghantar netral JTR yaitu $R=0.0759 \Omega/\text{km}$ dan $X=0.0459 \Omega/\text{km}$. Jarak antara trafo distribusi dengan beban konsumen ditentukan sebesar 200 m.

Trafo distribusi yang digunakan pada seluruh titik beban yaitu trafo Dyn 400 kVA 20kV/380 V dengan $R=0.01 \text{ pu}$ dan $X=0.04 \text{ pu}$.

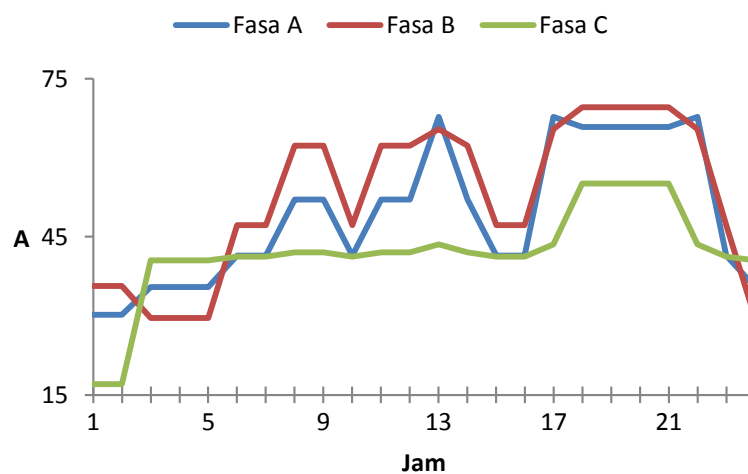
2.4 Parameter PSO

Jumlah partikel yang digunakan sebanyak 20 dengan $c1, c2$ sebesar 1 dan toleransi kecepatan partikel sebesar ± 2 . Iterasi maksimum yang diijinkan sebanyak 100 kali iterasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Sebelum Optimasi

Kondisi arus pada pangkal JTM sebelum dilakukan perubahan fasa tidak seimbang untuk masing-masing fasa. Hal tersebut terjadi terus-menerus selama 24 jam (**Gambar 7**).

**Gambar 7** Arus Pangkal JTM Sebelum Optimasi

3.2 Setelah Optimasi

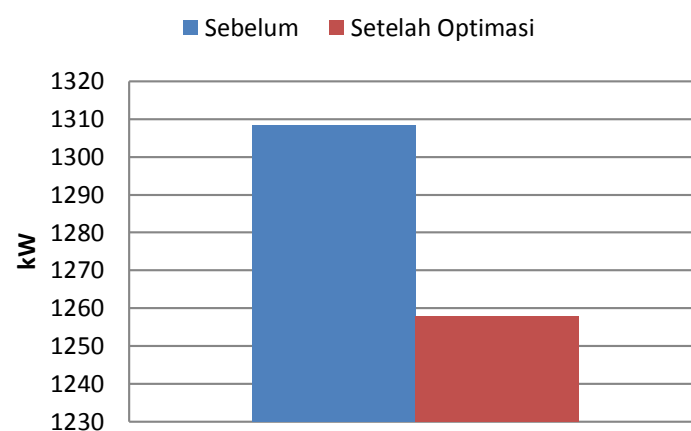
Berdasarkan simulasi yang dilakukan maka diperoleh hasil sebagai berikut :

3.2.1 *Skema Susunan Fasa*. Skema susunan fasa terbaik yang diperoleh ditunjukkan pada **Tabel 2**:

Tabel 2 Skema Susunan Fasa Terbaik

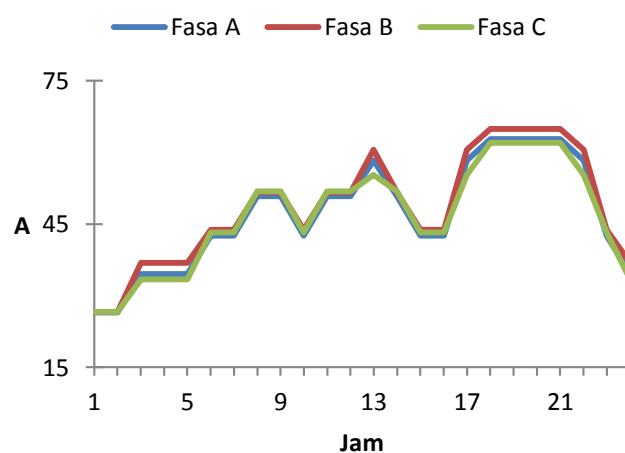
BUS	
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
SKEMA	5 4 5 1 3 3 1 5 6 4 1 6

3.2.2 *Total Rugi-Rugi Daya*. Total rugi-rugi daya pada seluruh jaringan selama 24 jam dapat dikatakan lebih baik dibandingkan sebelum optimasi (**Gambar 8**).



Gambar 8 Total Rugi-Rugi Daya Jaringan Selama 24 Jam

3.2.3 *Arus Pangkal JTM*. Kondisi arus pada pangkal JTM selama 24 jam setelah dilakukan optimasi lebih seimbang dibandingkan sebelum dilakukan optimasi (**Gambar 9**).



Gambar 9 Arus pada Pangkal JTM Setelah Optimasi

4. Kesimpulan

Berdasarkan diagram alur proses optimasi yang digunakan, total rugi-rugi daya jaringan selama 24 jam mengalami penurunan sebesar 3,1%. Meskipun penurunan rugi-rugi daya tidak terlalu signifikan, tetapi hal ini merupakan suatu solusi yang murah karena tidak memerlukan penambahan komponen pada

jaringan yang berdampak pada peningkatan biaya investasi. Selain itu kondisi arus beban pada pangkal jaringan tegangan menengah dapat dikatakan lebih seimbang dibanding sebelum proses optimasi.

Daftar Pustaka

- [1] Waluyo W, Soenarjo S dan Akbar A A 2012 Perhitungan Susut Daya pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara dan Kabel *Jurnal Sains dan Teknologi EMAS* **17** 3
- [2] Setiadji J S, Machmudsyah T dan Isnanto Y 2006 Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi *Jurnal Teknik Elektro* **6** 1 68-73
- [3] Tuppadung Y dan Kurutach W 2006 The Modified Particle Swarm Optimization for Phase Balancing *IEEE* 2006
- [4] Budiastra I N, Penangsang O dan Purnomo M H 2006 *Optimasi Jaringan Distribusi Sekunder Untuk Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Algoritma Genetika* (Yogyakarta: Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi)
- [5] Gandomkar M Phase Balancing Using Genetic Algorithm *IEEE* 377-379
- [6] Chen T -H dan Cherg J -T 2000 Optimal Phase Arrangement of Distribution Transformers Connected to a Primary Feeder for System Unbalance Improvement and Loss Reduction Using a Genetic Algorithm *IEEE Transactions on Power Systems* **15** 3 994-1000
- [7] Su Y -S, Chin H -C dan Chang S -C Application of the PSO for Transformer Rearrangement *IEEE*
- [8] Wantoro B S, Hermawan dan Handoko S 2012 *Particle Swarm Optimization untuk Optimasi Penjadwalan Pembebanan pada Unit Pembangkit PLTG di PLTGU Tambak Lorok* (Semarang: Universitas Diponegoro)
- [9] Risnandar M A 2015 *Optimasi Susunan Fasa Pembebanan Jaringan Distribusi dalam Mengurangi Rugi Daya Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)* (Bandung:)
- [10] Risnandar M A 2017 Minimalisasi Biaya Sistem Dengan Pemilihan Penghantar Jaringan Distribusi Menggunakan PSO *Jurnal Sains dan Teknologi* **6** 1 158-167